

SUSTITUTOS DE LA FERTILIZACION

Por: Jairo A. Gómez L.
Ingeniero Agrónomo, M. Sc.*

GENERALIDADES

El consumo de fertilizantes va en aumento en Colombia, y en el mundo. Es posible que a corto plazo, la humanidad se enfrente a una escasez de los mismos, lo que obligaría a usarlos con mayor eficiencia, o a buscarles sustitutos. La lejanía de los centros de distribución de los insumos agrícolas, o las dificultades del transporte, hacen que ya de por sí, la presencia de los fertilizantes sea escasa o nula, en extensas zonas de nuestra geografía. Como razones adicionales que hacen necesaria la búsqueda de sustitutos, en nuestro país, están la existencia de problemas como la pobreza, la ignorancia, y la resistencia a la tecnología moderna.

De todos modos, AUN EN LOS CASOS EN QUE LOS SUSTITUTOS SE MUESTREN MUY PROMISORIOS, EL AUTOR OPINA QUE LA FERTILIZACION ES MEJOR, AL MENOS EN EL MOMENTO ACTUAL.

La fertilización busca, principalmente, aumentar la producción agrícola e igual objetivo tienen otras técnicas agronómicas. Esto indica que son varios los caminos para el aumento de esta producción. Muchos aumentos que se atribuyen al abonamiento, se de-

ben a éste y a otros factores. Cuando se asegura que producciones como 40 o más toneladas de papa, 10 de maíz, 12 de arroz, por hectárea, son debido al empleo de determinadas cantidades de fertilizantes, en realidad se está olvidando al aporte a esas producciones de todo el resto de la tecnología que se emplea para obtenerlas. Pero es muy importante que no se olvide, que los fertilizantes contribuyen en promedio, a un 50% de éste aumento.

No es exagerado afirmar que, en varias regiones de Colombia, es posible al menos duplicar la baja producción promedio de cultivos importantes, como el maíz, sin recurrir a la fertilización, la cual sí será necesaria para aumentos mayores. Sin embargo es común que el agricultor recurra a la fertilización antes de haber logrado los aumentos de producción que se pueden obtener sin su uso, y lo que tal vez es peor, que aplique fertilizantes para suplir deficiencias en el control de malezas y de plagas, y excesos o defectos de población y de agua, lo cual resta eficiencia al abonamiento. En estos casos los abonos estarían sustituyendo, a un mayor costo, algunas prácticas culturales cuando sería más barato y lógico hacer lo contrario.

Pero los casos de sustitución de los abonos por prácticas culturales que conducen igualmente a aumentos de la producción, que se pueden deducir de los párrafos ante-

* Profesor Asociado, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional, Bogotá.

rios, no son del interés de este artículo. Los casos de sustitución a que se hará referencia son los obtenidos por los siguientes caminos:

- a) El empleo de medios que conviertan en accesibles para las plantas, las grandes reservas de nutrientes que existen en el suelo y el ambiente.
- b) La adaptación de la planta al suelo pobre.

A. METODOS QUE HACEN ACCESIBLES PARA LAS PLANTAS LAS GRANDES RESERVAS DEL MEDIO.

1. Las reservas del medio: En el suelo y la atmósfera existen grandes reservas de nutrientes que sólo en una mínima parte son utilizados por las plantas. Algunos pocos datos bastarían para ilustrar este punto.

En la atmósfera que existe sobre una hectárea de suelo hay alrededor de 78.000 toneladas de N (10). La gran mayoría de las plantas no pueden utilizar ese nitrógeno.

En los primeros 20 cms. del suelo de una hectárea, en el Valle del río Cauca, existen alrededor de 5,6 toneladas de N. El dato equivalente para la sabana de Bogotá es alrededor de 3 veces mayor. Un cultivo de maíz, en el Valle citado, para producir 6 toneladas necesita alrededor de 200 kilos de N., y hay que aplicarle este elemento. Agreguemos a esto que el N es el elemento que más se aplica y necesita aplicarse a los cultivos.

Según Fassbender (5) el contenido promedio de P en la capa arable de los suelos tropicales es muy variable. Fluctúa entre 18 y 3300 ppm. Algunos estudios hechos en Colombia (5, 15, 16) indican también esta variabilidad de P en la capa arable de una hectárea, y que una cantidad promedio de 1.000 ppm. es aplicable a nuestro medio lo que equivale alrededor de 2.000 kilos en esa superficie. El maíz, para la producción citada

en el párrafo anterior, necesita alrededor de 60 kilos, y en muchos de nuestros suelos hay que aplicarle P.

Un dato equivalente para el K estaría entre 800 y 60.000 kilos en la capa arable de una hectárea (5, 18) y esta figura, para el caso del Fe podría llegar hasta 200.000 kilos (18).

Estos pocos datos nos indican que las reservas de nutrimentos para las plantas en el medio, son realmente grandes.

2. Métodos para hacer accesibles para las plantas las reservas del medio. Desde tiempos muy antiguos el hombre supo del efecto benéfico que la rotación tiene sobre los cultivos, y muy especialmente la rotación con leguminosas. Estas dejan al suelo abonado con nitrógeno.

2.1. La Fijación del Nitrógeno por microorganismos: El rendimiento de un cultivo de maíz que sigue a uno de soya, es igual al rendimiento de un maíz abonado con N, sin que haya habido necesidad de aplicarle este elemento (7). Las rotaciones y asociaciones con leguminosas disminuyen o anulan la necesidad de fertilización con N.

Los microorganismos que se asocian con las leguminosas para la fijación del N atmosférico, son bacterias del género *Rhizobium*. Esta fijación es frecuentemente del orden de cientos de kilogramos por hectárea y por año y se han registrado valores mayores de 1.000 kilogramos (5). Los datos promedios hacen variar la fijación simbiótica entre 200 kilos de N por hectárea y por año para la alfalfa y 40 para el frijol (18).

Para el agricultor, la necesidad y la importancia de las rotaciones han ido disminuyendo a medida que su control sobre las plagas y enfermedades es obtenido también por productos químicos: insecticidas y fungici-

das. A esto hay que añadir que la aparición de los fertilizantes nitrogenados la hizo desaparecer para muchos cultivos.

A medida que se ampliaron los estudios sobre la fijación del N, se descubrió que existen plantas también no leguminosas que se pueden asociar con microorganismos para llevarla a cabo. A este efecto se pueden citar plantas de los géneros *Alnus*, *Casuarina*, *Ceanothus*, *Cercocarpus*, *Comptonia*, *Coriaria*, *Discardia*, *Eleagnus*, *Hippophae*, *Myrica*, *Purschia*, *Shepherdia*, *Ceretozamia*, *Cycas*, *Encephalartus*, *Macrosamia*, *Podocarpus* y *Stangeria*. En el Brasil, últimamente se ha descubierto una asociación de este tipo, con maíz (4, 5, 18).

Ultimamente se está trabajando, y al parecer con muy buenos resultados en pasar la propiedad de fijar el N a bacterias y especies vegetales que no la tienen. También ocurre la fijación no simbiótica. La llevan a cabo bacterias de los géneros *Rhodospirillum*, *Clostridium*, *Azotobacter*, *Beijerinckia*, *Derrisia*, *Klebsiella*, *Bacillus*, *Chlorobium*, *Desulfovibrio*, *Methanobacterium*, *Pseudomonas*, *Rhodomiaobium*, *Rhodopseudomonas* y *Spirillum*; y algas de los géneros *Anabaena*, *Colothrix*, *Fisherella*, *Nostoc*, *Anabaenopsis*, *Chlorogloea*, *Cylindrospermum*, *Hapalosiphon*, *Mastigocladus*, *Scytonema*, *Tolypothrix* y *Westiellopsis* (4). Los datos sobre este tipo de fijación son de relativamente pocos kilos de N por hectárea y por año, y el más alto, según la revisión de la literatura efectuada, es de 73 kilos. La asociación de un alga *Anabaena* con el helecho *Azolla* parece ser muy promisoría para el arroz (4, 5, 18).

Hasta donde se puede llegar, por este camino, en la sustitución de la fertilización nitrogenada, nos lo indica el que, basado en sus trabajos de investigación, el ICA dice que no hay necesidad de fertilizar con N las praderas cuya población de leguminosas es su-

perior al 30% (9). Trabajos sobre cultivos asociados con leguminosas, parecen ser muy promisorios en la economía del N y de mayor rendimiento y provecho económico que las rotaciones.

2.1.1. Obstáculos: Por todo lo anterior es posible prever que el hombre cuenta en este momento, y con mayor razón en el futuro, con los medios para reducir, y si es el caso suprimir, la necesidad de aplicar N a los cultivos. Los dos problemas principales por resolver para que esta posibilidad sea una realidad son:

a) Una población microbiana abundante compite por nutrientes con las plantas. Un ejemplo de esto es la inmovilización del N cuando se incorpora al suelo material vegetal con relación C/N alta. Esto indicará que no se pueden sobrepasar ciertos niveles de población y, por consiguiente, de actividad microbial.

b) Los microorganismos proliferan muy bien y tienen una alta actividad en los suelos fértiles; o sea en aquellos con un buen abastecimiento de nutrientes. Por lo contrario, si el suelo es pobre en ellos, su actividad también lo será. Habría que encontrar los medios para obtener una población microbiana alta y activa en medios pobres, sin el perjuicio a las plantas por la inmovilización de nutrientes.

De todos modos, es indudable que el hombre cuenta, en el momento actual, con los métodos para reducir las cantidades, requeridas para la fertilización nitrogenada, y es de esperar que en el futuro contará con los necesarios para suprimirla en el caso de que las circunstancias lo requieran.

2.2. El P., el Fe., el Mn y otros elementos:

2.2.1. El Agua: ¿Qué se puede decir, en relación con este tema, respecto a otros ele-

mentos? Poco al respecto, pero indicativo de que existen medios para aumentar su accesibilidad a las plantas.

Una de las posibilidades parece residir en el uso del agua. Se sabe, por ejemplo, que en suelos inundados, se aumentan las formas asimilables de elementos como el P, el Fe, el Mn y muy posiblemente de todos aquellos cuya solubilidad es muy baja como el Ca y los elementos menores (1, 18, 19). Esto puede deberse tanto al paso de compuestos a formas reducidas más solubles, como al hecho de que al haber mayor cantidad de agua (de solvente), una mayor cantidad de los compuestos de bajas solubilidad entra en solución y, se aumenta la cantidad de elementos disponibles para la planta.

Investigadores japoneses han encontrado que, en algunos suelos, las concentraciones de Fe, se elevan hasta el punto de volverlas tóxicas para el arroz de inundación. Para el aumento de Mn disponible se ha reportado que mantener el suelo saturado con agua por una semana anterior a la siembra incrementa las formas asimilables de este elemento, en una cantidad equivalente a la aplicación de 560 kilogramos de $MnSO_4$ por hectárea (18).

En trabajos experimentales en suelos de países productores de arroz, se halló que la provisión de P aumenta cuando éste está inundado. Se cita como ejemplos específicos de estos trabajos que la cantidad de P en las partes aéreas de las plantas de arroz aumentó en un 200% por efecto de la inundación (18). Estos aumentos en las cantidades disponibles para las plantas de los tres elementos citados, están relacionadas con procesos de reducción llevados a cabo por microorganismos del suelo.

2.2.2. Las micorrizas: En la posibilidad de convertir en accesibles para las plantas las grandes reservas del medio, juegan un papel muy importante los microorganismos del

suelo. Varias especies de hongos, asociados con algunas especies de vegetales, ponen a disposición de estas mayores cantidades de P, K y tal vez otros elementos, entre los que se encuentra también el N. Los hongos son principalmente Himenomicetos, Gasteromicetos y Ascomicetos que incluyen miembros de las especies *Boletus*, *Amanita*, *Lactarius*, *Rhizopogon*, y *Flaphomyces* y algunos tuberales (3).

Entre las especies forestales parece que está más establecido el fenómeno de las micorrizas, asociación simbiótica similar a la que ocurre entre el *Rhizobium* y las leguminosas. Los árboles que se conocen que portan estas micorrizas comprenden varios géneros de coníferas como los abetos (*Abies* sp.), pinos (*Pinus* sp.), de fagaceae como hayas (*Fagus* sp.), robles (*Quercus* sp.), castaños (*Castanea* sp.); y de Silanaceae como chepos (*Poulios* sp) y Sauces (*Salix* sp.). En especies no arbóreas como tabaco, maíz y yuca también se han reportado formaciones de micorrizas y es muy posible que a medida que se amplíen los estudios sobre éstas se alarguen las listas de especies de hongos y de vegetales que se asocian para formarlas (3).

Cuando esta asociación se establece, la planta absorbe fácilmente los nutrientes minerales. Estudios comparativos han demostrado que plántulas con micorrizas contienen un 80% más de P y 75% de K que otras siembras testigo sin micorrizas (1, 3).

La intensidad de la estimulación de esta asociación parece depender de dos factores principales: de la fertilidad del suelo y del grado de infección del sistema radicular. Un estímulo marcado se ha reportado bajo condiciones de escasez de P y muy alta infección de las raíces (1, 3).

2.2.3. Bacterias: Gran parte del P del suelo existe en forma de apatitas prácticamente insolubles y por consiguiente inasimilables

para las plantas. Por lo tanto es de gran interés que existen bacterias que las pueden transformar en polifosfatos de mayor solubilidad (11, 17).

B. LA ADAPTACION GENETICA DE LA PLANTA AL SUELO POBRE

Es una solución que, aún en el actualidad, servirá para aquellos que además de su baja fertilidad, presentan en el elemento humano, problemas de orden social y económico, como son la pobreza, la escasa instrucción, la resistencia a la tecnología moderna, la lejanía de los centros de distribución de los insumos y la ausencia de asistencia técnica.

Es un camino distinto al de la llamada revolución verde. Esta busca plantas capaces de usar aplicaciones altas de fertilizantes, para obtener así producciones altas. En cultivos como el trigo y la cebada, para dar un ejemplo, el I.C.A. (9) recomienda aplicar, en nuestro medio no más de 75 kilos de N por hectárea y por cosecha, porque dosis superiores, entre otras cosas pueden causar volcamientos. Estos cultivos no resisten altas fertilizaciones nitrogenadas y sus producciones, por lo tanto, no pueden elevarse notoriamente por la fertilización sobre los niveles actuales. Si se tuvieran variedades capaces de resistir aplicaciones altas de nitrógeno (N) sin volcarse, es muy posible que los rendimientos del trigo y de la cebada fueran muy superiores a los actuales, en Colombia.

La revolución verde busca adaptar el suelo, enriqueciéndolo, a la planta exigente y de alta producción. La planta adaptada al suelo pobre, es el camino opuesto: busca adaptar la planta a su medio.

Tanto los fitomejoradores como los especialistas en suelos saben que entre las diversas especies cultivadas, existen variedades capaces de tolerar factores adversos como alta acidez, alta alcalinidad, salinidad, alto o bajo

contenido de algunos elementos, etc. Así como hay plantas que requieren altos contenidos de nutrientes tanto en el suelo como en sus tejidos, las hay también que estos requerimientos los tienen bajos.

Las explicaciones que se encuentran en la literatura del por qué existen diferencias entre las variedades y entre especies en cuanto a tolerancia a bajos niveles de nutrimentos, son:

1. Extensión radicular (1,14,19)
2. Exudación radicular (J,14,19)
3. Presencia de micorrizas (17)
4. Ajuste de los elementos a los ritmos de absorción, translocación y crecimiento de las plantas (1)
5. Efectos de las plantas sobre constituyentes del medio iónico (1, 17, 19).

Las explicaciones de la extensión radicular indican que las plantas con mayor superficie de raíces se defienden mejor en suelos pobres, que aquellas que la tienen menor. Es posible que junto con lo anterior, haya que considerar el volumen de suelo que explotan las raíces, o sea que tanto se extienden lateral y verticalmente. Plantas con un sistema muy superficial de raíces, disponen de menos nutrientes del suelo que aquellas con uno de mayor profundidad. Las plantas difieren en la cantidad de materiales orgánicos que exudan por sus raíces, y la actividad microbiológica al rededor de las raíces es superior en las plantas de mayor exudación. Viviendo de estos exudados se han hallado bacterias capaces de disolver el fosfato de calcio.

En relación con el punto 5, se sabe que las especies de crecimiento lento y bajo contenido de P pueden adaptarse y crecer mejor en condiciones de deficiencia del mismo que las especies de crecimiento rápido y alto contenido de P. Caso similar se ha observado con el B y otros elementos.

La última explicación asegura que las plantas con alta capacidad de absorber calcio, como las leguminosas, tienen también mayor capacidad de absorber el P de fuentes de menor asimilabilidad para otras plantas, como los pastos. Es sabido que a menor concentración de Ca en la solución, mayor es la solubilidad del P. Similares relaciones existen para otros elementos. Esto hace pensar que en las asociaciones de pastos con leguminosas los primeros se benefician no solamente con la mayor disponibilidad de N, sino también por la de P.

Los genetistas tendrían, en este camino, un amplio plan de trabajo, tratando de producir plantas que reúnan las características que las adaptan a los suelos pobres.

C. RESUMEN

El consumo de fertilizantes va en aumento en Colombia y en el mundo.

Es posible que, a corto plazo, la humanidad amplíe la búsqueda de sustitutos de la fertilización y una mayor eficiencia en el uso de esta. Como razones adicionales en nuestro medio, podemos agregar la existencia de problemas como la pobreza, la escasa instrucción, la resistencia a la tecnología moderna y la lejanía de los centros de distribución de los insumos.

La sustitución de la fertilización puede lograrse por los siguientes caminos:

- a) El empleo de medios que conviertan en accesibles para las plantas las grandes reservas de nutrientes que existen en el ambiente.
- b) La adaptación de la planta al suelo pobre.

El uso 1.-) de microorganismos capaces de fijar N y de hacer más asimilable para las plantas el P, el K y otros elementos del suelo

y 2.-) del agua como agente reductor y solvente, son ejemplos del camino. a.-) El empleo de plantas capaces de tolerar factores adversos de suelos relacionados con una baja fertilidad, con mayor capacidad de extracción del P de las rocas fosfóricas, con una mayor superficie y volumen radicular y una exudación radicular abundante, serían ejemplos del camino. b.-) Para trabajar fructíferamente en la sustitución de la fertilización es indispensable un buen conocimiento de la microflora del suelo, y de la genética de la adaptación de la planta a los suelos pobres.

BIBLIOGRAFIA

1. BLACK, C.A. Relaciones Suelo-Planta. 1975. Centro Regional de Ayuda Técnica Agencia para el desarrollo internacional. México, Buenos Aires.
2. COREY, R. 1968. Química de suelos. Escuela Nacional de Agricultura Colegio de Post-graduados. Chapingo, México. 165 p. (mimeografiado).
3. DAFT, M. J. y T. H. NICOLSON. 1966. Effect of endogone mycorrhiza on plant growth. New Phytol. 65, 343-350.
4. DE ROZO, E. 1972. Fijación biológica del Nitrógeno. Suelos Ecuatoriales 4 (1): 93-118.
5. FASSBENDER, H. W. 1975. Química de suelos con énfasis en suelo de América Latina. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, Turrialba, Costa Rica.
6. FLOR, C. A 1965. Respuesta del maíz a la aplicación de fertilizantes en los suelos de las Regiones Sur y Central del Valle del Río Cauca. Trabajo de Tesis Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia. Palmira.

Sustitutos de la fertilización

7. GOMEZ, L. J. 1972. El N en el cultivo de climas cálidos. Suelos Ecuatoriales (4): 241-266.
8. HANKE, F. 1974. La utilización de la fosforita colombiana por medio de procesos microbiológicos. Suelos Ecuatoriales VI (1): 301-328.
9. I.C.A. 1981. Fertilización en diversos cultivos aproximación Manual de asistencia técnica No. 25, Ministerio de Agricultura, Colombia.
10. IGNATIEFF, V. 1959. El uso eficaz de los fertilizantes. Colección FAO, Roma.
11. KOSLOVA, E. I. y N. NOVAK. 1966. Study on metabolismo of Flavobacterium isolated from the rhizosphere plant. Microbiologiya. 35, 496-502.
12. LOTERO, J. 1974. Absorción del fósforo y sus funciones en la planta Suelos Ecuatoriales. VI (1): 67-96.
13. OLSEN, S. y M. FRIED. Soil Phosphorus and fertility. The year book of Agriculture. 1975. U.S.A.
14. RUSELL, E. Y. y E. W. RUSSELL. 1959. Las condiciones del suelo y el desarrollo de las plantas. Traducción de la 8a. Ed. inglesa.
15. TAFUR, N. 1969. Fraccionamiento del fósforo en algunos suelos del Valle del Sinú. Revista ICA. 4 (2): 59-71.
16. TAFUR, N. y M. BLASCO. 1969. Fósforo en los suelos de Valledupar. Agricultura Tropical 3: 153-161.
17. TARDIEUX-ROCHE, A. y OTROS. 1964. Study of polyphosphates formed by two soil bacterias on appetite enriched medium. Bull Soc. Chim. biol. 46: 917-926.
18. TISDALE, S. L. and W. L. NELSON. 1966. Soil Fertility and fertilizers. Second. ed. The Macmillan Company, N.Y.
19. UNITED STATE DEPARTAMENTO OF AGRICULTURE. 1957. SOil, The yearbook of agriculture. Washington, D. C.