

25152

25152

INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO
I.C.A.

Reg. 60971-60975;
60978-60981

INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO
I.C.A.

COLECCION AGROPECUARIA DE COLOMBIA

28 ENE. 2014

INTERPRETACION DEL ANALISIS DE SUELOS Y
RECOMENDACIONES DE FERTILIZANTES

ALBERTO CARDENAS M., I.A.
Coordinador Nacional de Cursos
Proyecto de Educación Continuada

I N D I C E

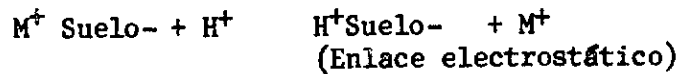
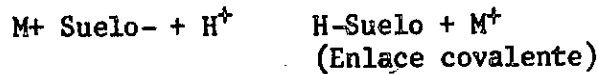
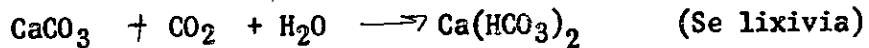
	Pág.
LA ACIDEZ DEL SUELO Y EL ENCALAMIENTO.	1
LA MATERIA ORGANICA Y EL NITROGENO DEL SUELO	22
EL FOSFORO DEL SUELO.	52
LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO Y LAS BASES INTER- CAMBIABLES.	75
FERTILIZANTES ORGANICOS E INORGANICOS Y ENMIENDAS.	94
PRINCIPIOS GENERALES EN LA APLICACION DE FERTILIZANTES.	132
LA SALINIDAD Y ALCALINIDAD EN LOS SUELOS.	155
EL ANALISIS DE SUELOS COMO GUIA PARA HACER RECOMENDACIONES DE FERTILIZANTES Y ENMIENDAS.	180

LA ACIDEZ DEL SUELO Y EL ENCALAMIENTO

Luis Alfredo León S.*

La acidez del suelo ha sido considerada seriamente por los científicos de suelos por más de 50 años, y se han lanzado numerosos conceptos con el fin de explicar su comportamiento, origen y naturaleza.

1. ORIGEN DE LA ACIDEZ DEL SUELO.- La acidez de los suelos puede ser producida por la percolación continua del agua a través de estos, el intercambio iónico entre las raíces de las plantas y los coloides del suelo; el uso prolongado de algunos fertilizantes que dejan residuos ácidos, la descomposición de la materia orgánica y la meteorización mineral. Se indican a continuación algunas de las reacciones que pueden tener lugar durante el proceso de acidificación:



Siendo M⁺ cualquier ión metálico como Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺, K⁺, etc.

De acuerdo con numerosas opiniones generales, la acidez de los

* Ing. Químico III-25 Programa Suelos del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias "Palmira", Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).

suelos tiene varias fuentes: el humus o la materia orgánica, las arcillas aluminosilicatadas, los óxidos hidratados de hierro y aluminio, las sales solubles y el dióxido de carbono (2,9).

2. NATURALEZA DE LA ACIDEZ DEL SUELO.- Los suelos ácidos pueden ser producidos artificialmente mediante un lavado con un ácido mineral diluido o por electrodiálisis. En cualquiera de estos procesos los cationes básicos se intercambian y se forma un sistema H-Al. Si una suspensión de arcilla se lava rápidamente con un ácido diluido frío o se pasa por una columna de una resina intercambiadora saturada con H^+ , se formará una verdadera arcilla saturada con H^+ (8). Sin embargo, al dejarla envejecer, los iones H^+ del sistema reaccionan rápidamente con la arcilla liberando iones Al^{+++} los cuales, a su turno, se transforman en intercambiables. Tales sistemas son, por lo tanto, sistemas H-Al y se dice que son no saturados con respecto a las bases. Cuando un sistema como éste se titula con una base, el pH aumenta y los iones básicos se intercambian en las superficies coloidales por la "Acidez intercambiable".

El porcentaje de la capacidad de intercambio total (CIC) que se encuentra satisfecho con iones básicos se llama porcentaje de saturación de bases y se define como:

$$\% S.B. = S/T \times 100$$

donde S = me. de cationes básicos/100 g. de suelo y

T = CIC total.

En ciertos casos se considera por separado el % SB de la CIC permanente y el %SB de la CIC dependiente del pH.

La acidez asociada con los sitios de intercambio permanentes (arcillas minerales y algunas fracciones orgánicas) es la llamada acidez intercambiable y es debida principalmente a los iones H, Al, Fe y Mn.

Sin embargo se le ha concedido mayor importancia al Al intercambiable. La saturación de bases de los coloides aumenta a expensas de la acidez intercambiable.

La acidez no intercambiable es la causada por productos solubles o compuestos asociados a la estructura de las arcillas que bloquean sus sitios adsorbentes, pero que en ciertas ocasiones (por ejemplo aumento de pH) pueden hidrolizarse produciendo acidez (óxidos hidratados de Fe y Al y polímeros de Al precipitados sobre la superficie de las arcillas y Al complejado por la materia orgánica).

La extracción de la acidez del suelo se hace a menudo con soluciones amortiguadas a cierto pH. Esas soluciones no solo extraen Al e H intercambiables, sino también H no intercambiable (5).

Lin y Coleman (6), reportaron que una solución neutra de una sal como KCl N reemplaza el Al⁺⁺⁺ de los suelos, pero no los iones hidroxialuminio. El Al intercambiable se puede estimar titulando la solución con NaOH. El Al es aproximadamente igual a la cantidad de base gastada entre los puntos finales del metil naranja y la fenolfta-

Se puede obtener una medida de la acidez total extrayendo un suelo con una solución de BaCl_2 -Trietanolamina a pH 8.2, tal como lo indica Mehlich (7). Al restar la acidez intercambiable extraída por una sal neutra no amortiguada, de la acidez total, se puede obtener una medida de la acidez no intercambiable. También se puede estimar la acidez total de un suelo por medio de titulaciones potenciométricas con una base en una solución salina.

3. CAUSAS DEL CRECIMIENTO POBRE DE LAS PLANTAS EN SUELOS ACIDOS. -

Los intentos para especificar las razones para un comportamiento alterado de las plantas cuando los suelos son sometidos a cambio en acidez deben tener en cuenta el gran número de características del suelo que se alteran simultáneamente. Por otra parte, la sensibilidad de las especies y variedades a estos cambios es muy diversa. En suelos fuertemente ácidos los excesos de Mn y Al solubles o intercambiables produce toxicidad en muchos cultivos. Otras causas posibles del crecimiento deficiente de las plantas en los suelos ácidos parecen ser las deficiencias de Ca y/o Mg, P y Mo. En adición a los efectos directos en el contenido aprovechable de los elementos inorgánicos en el suelo, la acidez altera las poblaciones y las actividades de los microorganismos responsables de las transformaciones del N, S y P en el suelo, afectando así indirectamente la aprovechabilidad de estos elementos para las plantas superiores. Las relaciones simbióticas y parasíticas entre microbios y plantas superiores pueden ser

alteradas directa o indirectamente con los cambios de acidez. Es importante reconocer que todos los efectos pueden ocurrir al mismo tiempo; el que tanto uno cambie con relación a los otros es característico del suelo en sí (4).

4. PROBLEMAS DE ACIDEZ EN LOS SUELOS COLOMBIANOS.- Un estimativo aproximado, basado en datos presentados por Guerrero (3), indica que cerca de un 90% de los suelos de Colombia se pueden incluir en la categoría de suelos ácidos, y que más del 80% del área usada para agricultura, incluyendo los pastos naturales, están compuestas por suelos de carácter ácido.

Uno de los factores más limitantes para una agricultura exitosa en muchas regiones ahora explotadas, parece ser el de la acidez del suelo, siendo además un factor que ha inhibido la extensión de la agricultura en estas áreas. Se puede presentar un ejemplo sobresaliente en el caso de los Llanos Orientales. Esta área, que representa alrededor del 27% del total de la superficie terrestre de Colombia (3), es muy poco lo que contribuye a la economía del país.

En la Tabla 1 se presenta la distribución en porcentaje de los valores de pH para cada región natural del país. El más alto porcentaje de muestras analizadas con un pH menor de 5.5 corresponde a los Llanos Orientales con un 71%; le siguen la Sabana de Bogotá, las Cordilleras Andinas y la Costa del Pacífico, con 24,1, 23,6 y 13,5%

respectivamente. En los Valles del Alto y Bajo Magdalena, Valle del Cauca y la Costa Atlántica el porcentaje de muestras con un pH menor de 5.5 no sobrepasa el 7.3%. En la Costa Atlántica el porcentaje de muestras analizadas con pH inferior a 5.5 apenas alcanza el 1.7%, mientras que el porcentaje de muestras analizadas con un pH superior a 7.3 es de 36.3%. En todas las regiones naturales del país a excepción de los Llanos Orientales el mayor porcentaje de muestras analizadas corresponde a un valor de pH entre 5.5 y 7.3.

Bajo condiciones naturales los suelos de la Sabana de Bogotá son fuertemente ácidos, sin embargo, debido a su intensiva explotación agropecuaria mediante el uso de cantidades altas de fertilizantes y cal, explica en parte que, el 75.1% de las muestras analizadas dieron un pH entre 5.5 y 7.3.

TABLA 1. Distribución de los valores de pH según el número de muestras analizadas.

Región Natural	Porcentaje de muestras analizadas			Total de muestras
	Menor de 5.5	Valores de pH 5.5 a 7.3	Mayor de 7.3	
Cordilleras Andinas	23.6	72.7	3.7	3.210
Sabana de Bogotá	24.1	75.1	0.8	501
Valle Alto Magdalena	7.3	83.6	9.1	995
Valle del Cauca	6.5	79.7	13.8	2.582
Costa del Pacífico	13.5	82.6	3.9	386
Costa Atlántica	1.7	62.0	36.3	1.964
Valle Bajo Magdalena	5.5	84.7	9.8	633
Desierto Guajiro				
Llanos Orientales	71.0	29.0	0	307
Selva Amazónica				

En la Tabla 2 se presentan promedios de pH y Al intercambiable determinados en muestras con un pH igual o menor a 5.5.

TABLA 2. Promedios de los valores de pH en muestras de suelos cuyo pH es inferior a 5.5 y aluminio intercambiable, en varias regiones naturales del país.

Región Natural	pH	Aluminio m.e./100 gr. de suelo	No. de muestras
Cordilleras Andinas	5.15	2.54	493
Sabana de Bogotá	5.24	1.62	81
Valle del Alto Magdalena	5.25	1.43	36
Valle del Cauca	5.24	1.26	23
Costa del Pacífico	5.32	2.23	7
Costa Atlántica	5.47	0.49	15
Valle del Bajo Magdalena	5.40	1.57	11
Llanos Orientales	4.97	2.65	162

Los promedios de pH varían de 4.97 en los Llanos Orientales a 5.47 en la Costa Atlántica y el Al intercambiable de 2.65 m.e./100 gr. a 0.49 m.e./100 gr. en las mismas regiones, respectivamente. En general, se puede decir que a medida que aumentó el pH disminuye el contenido de Al intercambiable. Cervantes y otros (1), encontraron que en los suelos de los Llanos Orientales, a un pH superior a 5.2 el Al intercambiable generalmente es menor de 0.5 m.e./100 gr. y en la Sabana de Bogotá y Cordilleras Andinas el Al intercambiable es menor de 0.5 m.e./100 gr. cuando el pH es superior a 5.4.

En todas aquellas regiones del país donde el pH del suelo es inferior a 5.5 se puede esperar, con alguna certeza, que se presenten en los cultivos problemas relacionados con la acidez, principalmen-

te debidos a toxicidad de aluminio o deficiencias de P y Mg (Ver referencias del país).

5. MATERIALES PARA CORREGIR LA ACIDEZ DEL SUELO.- Los suelos se en-
calan con el pro-
pósito de:

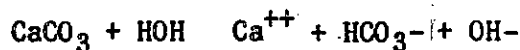
- a) Neutralizar el Al intercambiable y el H y/o Mn intercambia-
bles cuando estos se encuentran presentes, y
- b) Suministrar Ca y Mg.

Cuando el Al intercambiable se reemplaza del suelo, éste se hi-
droliza en solución para dar hidrox-Al y iones H^+ tal como se indi-
ca en la siguiente reacción:

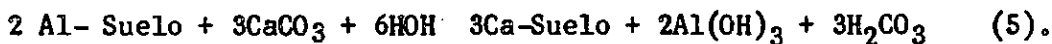


A medida que el pH de la solución se aumenta la hidrólisis con-
tinúa con la formación de $Al(OH)_3$.

La adición de $CaCO_3$ al agua da como resultado la siguiente reac-
ción:

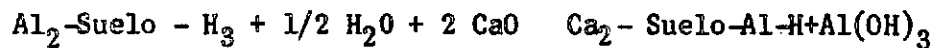


Cuando la cal se añade a un suelo ácido el H^+ resultante de la
hidrólisis del Al reacciona con el OH^- para formar agua. La neutra-
lización del suelo ácido con cal se puede escribir así:



Los materiales que se usan comúnmente para encalar los suelos son: óxidos, hidróxidos, carbonatos y silicatos de Ca ó Ca y Mg. La presencia de estos elementos por sí solos no califica a un material como un compuesto encalante. En adición a estos cationes, el anión acompañante debe ser tal que reduzca la actividad del ión H^+ (9).

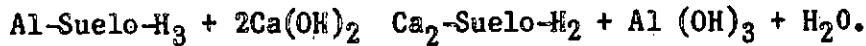
OXIDO DE CALCIO. Este es el único material para el cual se puede aplicar correctamente el término de cal. El óxido de calcio (CaO), conocido también como cal viva, es un polvo blanco, muy difícil de manejar. Se fabrica quemando calcita (piedra caliza) en un horno. El CO_2 se elimina dejando CaO . Su pureza depende de la pureza de la materia prima. Este producto tiene propiedades caústicas y reacciona inmediatamente con el suelo de acuerdo a la siguiente ecuación:



Este material y el hidróxido de calcio ($Ca(OH)_2$) se deben seleccionar cuando se requieren resultados rápidos, pero una mezcla completa se puede dificultar pues este absorbe agua rápidamente formando gránulos u hojuelas que se endurecen por la formación de carbonato de calcio ($CaCO_3$) en su superficie. Así puede permanecer en el suelo por largos períodos de tiempo. En este caso hay que mezclar muy bien el material con el suelo para prevenir el problema.

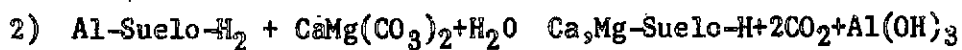
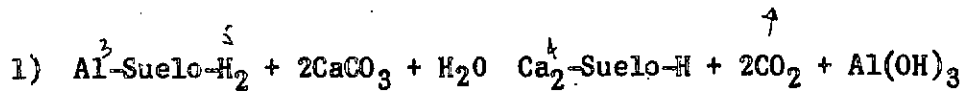
El CaO es uno de los materiales más efectivos de todos los empleados comúnmente, pues el material puro tiene un ^{poder} calor neutralizante de 179% comparado con el $CaCO_3$ puro.

HIDROXIDO DE CALCIO. El hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), llamado generalmente, cal apagada, cal hidratada o cal para constructores, tal como el óxido es un polvo blanco, difícil de manejar. Al añadirlo al suelo reacciona así:



La cal apagada se prepara hidratando el CaO . Su pureza varía, pero el producto químicamente puro tiene un valor neutralizante de 136, haciéndolo ocupar el segundo lugar en eficiencia entre los materiales encalantes.

CARBONATOS DE CALCIO Y DE CALCIO MAGNESIO. Estos carbonatos se encuentran en muchas formas en estado natural. La reacción general al añadirlo a los suelos es:



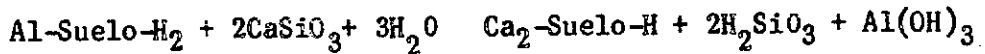
La ecuación 1 es la reacción de la calcita, y la ecuación 2 es la reacción de la cal dolomítica en suelos ácidos. Los valores de neutralización se encuentran generalmente entre 65 y 70% hasta un poco más del 100%. El valor neutralizante del CaCO_3 puro se ha establecido arbitrariamente en 100% y teóricamente la dolomita químicamente pura puede llegar al 109%. Debido a impurezas, las calces agrícolas tienen generalmente un valor neutralizante entre 90 y 98%.

MARGAS. Son depósitos no consolidados y suates de CaCO_3 . Están generalmente mezclados con suelo y bastante húmedos. Generalmente bajos en Mg y su valor neutralizante está entre 70 y 90%.

ESCORIAS. Hay muchos tipos, tres de los cuales son importantes en agricultura:

a) Escorias del Horno de Fundición.- Este se comporta esencialmente como silicato de calcio. La

reacción en el suelo es:



Su valor neutralizante está entre 75 y 90%. Contienen cantidades apreciables de Mg.

b) Escorias Básicas.- Llamadas escorias Thomas o "Calfos". En adición a su contenido de P las escorias básicas tienen un poder neutralizante del 60 al 70%. Se aplica generalmente como fuente de P pero por su valor neutralizante, tiene gran uso en el caso de suelos ácidos.

c) Escorias de Horno Eléctrico.- Contiene 0.9 a 2.3% de P_2O_5 y su valor nutralizante es del 65 al 80%.

6. CANTIDAD DE CORRECTIVOS QUE SE DEBE APLICAR PARA CORREGIR LA ACIDEZ DEL SUELO. La evidencia que se posee actualmente sugiere que las recomendaciones de cal se deben basar en la cantidad de Al intercambiable que se reemplaza por medio de una

sal neutra no amortizada tal como KCl. En la mayoría de los suelos minerales el añadir suficiente cal para elevar el pH entre 5.5 y 6.0, resulta en una precipitación de casi todo el Al intercambiable. En la mayoría de los suelos donde la toxicidad del Mn es un problema, el aumentar el pH entre 5.5 y 6.0 decrece la solubilidad de los compuestos del Mn en forma suficiente para prevenir su toxicidad. Por lo tanto, con la mayoría de los cultivos, se espera muy poca respuesta al encalamiento cuando el pH de un suelo mineral se encuentra entre 5.5 y 6.0 (5).

Este rango no es aplicable a suelos altos en materia orgánica. Estos suelos tienen menos Al en la solución del suelo a cierto pH que suelos con bajo contenido en materia orgánica. El encalamiento de suelos altos en materia orgánica para llevar el pH hasta 4.8-5.1, es suficiente para reducir el Al intercambiable y para suministrar Ca para el buen crecimiento de las plantas. Sin embargo, en suelos de turba se pueden obtener buenos rendimientos a pHs más bajos.

Las recomendaciones de cal deben estar basadas en la cantidad de acidez intercambiable (H + Al) extraída con una solución de una sal no-amortiguada. En suelos minerales, la acidez intercambiable es en su mayoría Al, mientras en suelos altos en materia orgánica puede estar formada por algo de H en adición al Al.

La cantidad de cal necesitada depende no solo del Al intercambiable presente, sino también de la pureza y finura de la misma.

Para suelos minerales, las cantidades de cal basadas en el Al intercambiable multiplicado por un factor entre 1.5 y 2 deben neutralizar suficiente Al como para eliminar la causa del crecimiento pobre en los suelos ácidos. Probablemente se necesita un factor más alto para el caso de suelos de turba. Se puede usar un factor entre 2 y 3 para el caso de suelos de turba, muy altos en materia orgánica.

Haciendo los cálculos correspondientes tenemos que:

m.e./100 gr. de acidez intercambiable $(H+Al) \times 1.5 = \text{Ton./Ha. de cal agrícola}$, siempre y cuando la cal agrícola sea de una alta pureza. (Más del 80% de CaCO_3).

Si el correctivo que se consigue es diferente a la cal agrícola se tendrán que hacer los ajustes correspondientes de acuerdo a su valor de neutralización y su pureza.

BIBLIOGRAFIA

1. BAIRD, G.B. VEGA y A. WIECZORECK. 1960. Ensayos preliminares sobre respuesta del maíz de clima frío a la aplicación de fertilizantes. Agr. Trop. (Colombia) 16:233-240.
2. _____ y J. VANEGAS. 1961. Probable deficiencia de magnesio en los suelos de la granja "El Placer" Popayán. Agr. Trop. (Colombia) 17:278-284.
3. CERVANTES O., A. LEON y G. MARIN. 1970. Relación entre pH, aluminio y materia orgánica en algunos suelos de Colombia. Revista ICA. V(1):43-64.
4. CORREA, J. 1957. Estudio comparativo de la fertilidad de seis series de suelos de Colombia, bajo condiciones de invernadero. Suelos Ecuatoriales (Colombia) 1(2):61-98.
5. _____. 1959. Requerimientos de cal de los suelos orgánicos de la Selva. Rionegro (Ant.). Agr. Trop. (Colombia) 15:27-31.
6. FAJARDO, P.B., A.J. VIVES, S.R. GOMEZ y N.J. ORTEGA. 1963. Estudios de fertilidad en invernadero sobre algunos suelos del Llano. Boletín del Laboratorio Químico Nacional Nos. 6 y 7:81.
7. GUERRERO, M.R. 1965. Suelos de Colombia y su relación con la séptima aproximación. Nuevo sistema de clasificación. Bogotá Instituto Geográfico "Agustín Codazzi". Departamento Agroló-

- gico. V. I. No.3 Agric. Trop. (Colombia) 21:49-59.
8. _____. 1965. Trabajos de Suelos en Colombia. Agric. Trop. (Colombia) 21:777-785.
 9. LEON, S.A. 1964. Estudios químicos y mineralógicos de diez suelos colombianos. Agric. Trop. (Colombia) 20:442-451.
 10. _____. 1968. Relaciones de calcio, magnesio y potasio en suelos de "La Florida" Popayán. Agric. Trop. (Colombia) 24:335-345.
 11. _____ y C. SANCHEZ. 1963. Estudio de dos suelos de la Granja "El Placer" Popayán. Agric. Trop. (Colombia) 6:344-355.
 12. MARIN, M.G. 1960. La producción de alfalfa en Colombia. VIII. Encalamiento de los suelos en la Sabana de Bogotá para cultivar alfalfa. Agric. Trop. (Colombia) 16:149-160.
 13. _____, H. CHAVERRA, L.V. CROWDER Y G.B. BAIRD. 1960. Fertilización de la alfalfa en suelos de clima frío de Colombia. Bogotá. Ministerio de Agricultura. División de Investigaciones Agropecuarias DIA (Bol. Técnico No.7).
 14. _____ y J. GOMEZ. 1966. Algunos aspectos del análisis de suelos. IV. La interpretación del análisis. Agric. Trop. (Colombia) 22:368-379.
 15. _____. 1966. Algunos aspectos del análisis de suelos. V.

Factores que deben tenerse en cuenta al hacer recomendaciones de fertilizantes y cal. *Agric. Trop. (Colombia)* 22:426-432.

16. _____ . 1966. Algunos aspectos del análisis de suelos. *Agric. Trop. (Colombia)*. 22:175-182.
17. MARIN. M.G. 1966. Algunos aspectos del análisis de suelos. II. Tipo de análisis y procedimientos. *Agric. Trop. (Colombia)*. 22:255-262.
18. _____ . 1967. Algunas sugerencias sobre el uso de fertilizantes y cal. *Agric. Trop. (Colombia)*. 23:61-65.
19. _____ . 1968. Recomendaciones tentativas de fertilizantes y cal para diversos cultivos de acuerdo a los resultados de los análisis de suelos. Primera aproximación. *Rev. ICA*. VOL. III (2).
20. _____ y J.M. SPAIN. 1969. Necesidad de fertilizantes en los suelos colombianos. 31 p. (trabajo presentado en la IV Conferencia de la FAO sobre fertilidad del suelo y empleo de fertilizantes en América Latina).
21. _____ y L.A. LEON. 1970. El análisis de suelos como una guía para hacer recomendaciones de fertilizantes y enmiendas. *Agric. Trop.* 26 (Colombia) (1):24-33.
22. _____ . 1970. Informe preliminar sobre la fertilidad de los suelos del país. *Boletín Técnico ICA*.

23. _____, JAIME NAVAS y J.A. GOMEZ. 1970. Recomendaciones tentativas de fertilizantes y cal para diversos cultivos de acuerdo al análisis de suelos. 2a. aproximación (Mimeografiado).
24. OSPINA, O. 1967. Aluminum-organic matter complexes of the A horizons of some acid soils. Ph.D. Dissertation. University of California, Riverside.
25. PARA, J. 1952. Fertilidad de la serie de suelos "Chinchiná". Chinchiná (Col.) Centro Nal. de Investigaciones de Café. Bol. Inf. 3 (27): 30-38.
26. _____. 1954. Fertilidad de la zona cafetera de Caldas. Boletín Informativo, Centro Nal. de Investigaciones de Café (Chinchiná Colombia) 56:22-31.
27. _____. 1960. Los suelos del Quindío: Propiedades químicas y fertilidad. Boletín Informativo. Chinchiná, Colombia. Vol. 11:323-355.
28. RODRIGUEZ, J.M., G.B. BAIRD y J. CORREA. 1960. Fertilidad de la papa en Antioquia. Bogotá. Ministerio de Agricultura. División de Investigación Agropecuaria DIA. (Bol. Técn.No.5).
29. RODRIGUEZ, J.M. y J. CORREA. 1962. Investigaciones sobre la fertilidad de los suelos de tres regiones del Norte de Colombia. Medellín. Facultad de Agronomía. Rev.22(57):46-55.

30. _____ y G.B. BAIRD. 1963. Fertilización del maíz en el Centro Nal. Investigaciones Agrícolas "Tulio Ospina". Agric. Trop. (Colombia) 19: 138-148.
31. _____ y A.C. McCLUNG. 1964. Respuesta al molibdeno en los suelos rojos de Antioquia. Agr. Trop. (Colombia) 20: 504-512.
32. _____ y J. CORREA. 1966. Efectos de la aplicación de cal en el grado de acidez de tres suelos rojos de Antioquia. Agric. Trop. 22:47-54.
33. _____. 1968. Estudios sobre fertilidad y fertilización de cultivos en algunos suelos del Departamento de Antioquia. Bogotá. D.E. IV Congreso Nal. de Ing.Agr. Agric. Trop. (Colombia). 1:250.
34. ROJAS CRUZ, L.A. 1951a. Fósforo asimilable en suelos de Colombia. Suramérica. Rev. Colombiana de Química. 4(1):7-17.
35. _____. 1951b. Bases de cambio y posibles repercusiones en la fertilidad de doce suelos colombianos. Rev. Colombiana de Química. (Bogotá) 4:25-31.
36. _____. 1952. Suelos de la Sabana de Bogotá. I. Agric. Trop. (Colombia). 2:47-52.
37. _____. 1954. Nivel de fertilidad de los suelos de la Sabana de Bogotá. Lab. Químico Nal. (Bol.1), 54 p.

38. SANTAELLA, G.G. y M.A. GONZALEZ. 1965. Influencia del carbonato de calcio en las propiedades químicas de un suelo de la terraza de Villa-Rica (Cauca). Acta Agronómica Vol. 15, 1-4: 33-60.
39. SILVA, M.F. 1957. Estudio químico y biológico de los suelos de Santander (Colombia). Bogotá. Lab. Químico Nal. Bol.No.3.
40. SILVA, J.V. 1962. Fertilidad de dos tipos de suelos de la Granja "El Placer" (Popayán). Agric. Trop. (Colombia) 18: 252-264.
41. SUAREZ DE CASTRO, F. y G.A. RODRIGUEZ. 1956. Aplicación de cal en cafetos Jóvenes. Revista Cafetera de Colombia. 12 (129):4294-4301.
42. _____. 1958. Efectos de la cal y el fósforo sobre la producción de maíz en suelos de la serie Chinchiná. Federación Nal. de Cafeteros. Boletín Técnico. Vol.2, No.20.
43. VEGA, J.V., G.B. BAIRD y M. RODRIGUEZ. 1959. Algunos aspectos de la fertilización del trigo en suelos de la Sabana de Bogotá y alrededores. Bogotá. Min.Agr. División de Investigación Agropecuaria DIA (Bol. Téc. No.4).
44. _____, G. DIAZ y G.B. BAIRD. 1960. Fertilización de la papa en la Sabana de Bogotá y alrededores. Bogotá. Min. de Agric. División de Investigación Agropecuaria DIA (Bol.Tec.No.6).

45. _____, J. SANIN y A.C. McCLUNG. 1963. Influencia de la colocación de dos fertilizantes fosfatados en el cultivo de la cebada, usando el radiosotopo. p.32. Agricultura Tropical (Colombia) 19: 541-550.
46. WIECZORECK, P., G.B. BAIRD. 1959. Fertilización de la papa en Nariño. Bogotá. Ministerio de Agricultura. División de Investigación Agropecuaria DIA (Bol. Div. No.7).
47. _____ y J. BERNAL. 1968. Investigación de pastos y forrajes en Nariño. Agric.Trop. Vol 24(Colombia). (10). p.721.
48. CERVANTES, O., L.A. LEON y G. MARIN. 1970. Relaciones entre pH, Aluminio y materia orgánica en algunos suelos de Colombia. Revista ICA. Vol. V No.1.
49. COLEMAN, N.T. and G.W. THOMAS. 1967. The basic chemistry of soil acidity. p.22-41. In Pearson R.W. and F. Adams (Ed.). Soil acidity and Liming. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.
50. GUERRERO, R. 1965. Suelos de Colombia y su relación con la séptima aproximación. Nuevo sistema de clasificación, Bogotá. Instituto Geográfico "Agustín Codazzi". Departamento Agrícola. V. I No.3. Agr. Trop.(Colombia) 21:49-59.
51. JACKSON, W.A. 1957. Physiological effects of soil acidity p. 43-124. In Pearson R.W. and F. Adams (Ed.) soil acidity and Liming. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.

52. KAMPRATH, E.J. 1957. Soil acidity and response to liming, International Soil Testing series, N.C. State University Agric. Exp. Station. Tech. Bul. No.4. 20 p.
53. LIN, C. and COLEMAN, N.T. 1961. The measurement of exchangeable aluminum in soils and clays. Soil Sci. Soc. Amer. 25: 14-17.
54. MEHLICH, A. 1948. Determination of cation and anion exchange properties of soils. Soil Sci. 65:429-445.
55. SEATZ, L.F. and H.B. PETERSON. 1964. Acid, Alkaline, Saline, and sodic soils. p.292-319. In F.E. Bear (Ed.) Chemistry of the soil. Second Edition. Reinhold Publishing Corporation New York.
56. TISDALE, S.L. and W.L. NELSON. 1966. Soil fertility and fertilizers. The MacMillan Co. New York, 694 p.

MATERIA ORGANICA Y NITROGENO EN EL
SUELO

Rodrigo Lora Silva*

El carbono se encuentra en el suelo formando parte de cuatro tipos de materiales orgánicos y minerales:

1. Carbonatos minerales principalmente de calcio, magnesio o calcio y magnesio. En cantidades pequeñas puede haber CO_2 , HCO_3^- y $\text{CO}_3^{=}$.
2. Formas próximas al carbón elemental (carbón vegetal, carbón de hulla y grafito).
3. Residuos de plantas, animales y microorganismos, alterados y bastante resistentes, denominado a veces "humus" ó "ácido húmico" cuya composición química no está exactamente definida.
4. Residuos orgánicos poco alterados de origen animal y vegetal.

La materia orgánica químicamente activa que se encuentra relacionada con la génesis del suelo y su fertilidad, incluye las formas 3 y 4.

La casi totalidad de la materia orgánica presente en los suelos, proviene de la macroflora, mientras que la mayor parte de los

* Ing. Químico, M.S., Programa Suelos. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).

compuestos originados en su descomposición, se deben a la actividad de la microflora. La macro y microfauna tienen una participación menor.

Para que la síntesis y descomposición ocurran, es necesario que el CO_2 , mayormente atmosférico, sea convertido en carbón orgánico por los organismos fotosintéticos, siendo liberado de nuevo por medio de la respiración. El carbón no atmosférico (materiales calcáreos, volcanismo, etc.) es liberado a través de procesos geoquímicos. El carbono es asimilado a partir del CO_2 por los microorganismos autotróficos, mientras que los animales lo asimilan a partir de compuestos orgánicos previamente sintetizados.

Químicamente la materia orgánica consiste de compuestos complejos que incluyen:

1. Carbohidratos y sustancias afines como celulosa, hemicelulosa, pectinas, etc.
2. Proteínas y sus derivados.
3. Grasas y afines
4. Ligninas y sus derivados.
5. Sustancias tánicas, resinas, etc.
6. Ácidos orgánicos tales como ácidos húmico y fúlvico.
7. Otros componentes.

La materia orgánica en el suelo sigue dos caminos generales de transformación. Uno de ellos es el de su rápida mineralización. Otro es la formación de complejos coloidales húmicos estables y resistentes a la acción de los microorganismos, y que por tanto proporcionarán una mineralización lenta. La resistencia a la descomposición de los varios compuestos orgánicos, se cree que es como sigue:

- | | |
|--|-------------------------|
| 1. Azúcares, almidones y proteínas simples | Descomposición rápida |
| 2. Proteínas crudas | |
| 3. Hemicelulosas | |
| 4. Celulosas | |
| 5. Legninas, grasas, ceras, etc. | ↓ Descomposición lenta. |

La rata a la cual la descomposición ocurre, decrece a medida que se mueve del tope a la parte inferior de la lista anterior. Así, los azúcares y proteínas solubles en agua son ejemplos de fuentes de energía de utilización inmediata para los organismos del suelo. Por el contrario las ligninas son una fuente de alta resistencia a la acción de los organismos.

El papel de los microorganismos en la descomposición de la materia orgánica, se puede sintetizar como sigue:

- a) Descomposición de la materia original en compuestos simples, incluyendo los que sirven como unidades estructurales en las moléculas de las sustancias húmicas como las de taninas y lig-

ninas.

- b) Originando productos de resíntesis y metabolismo que forman parte de las moléculas de humus (aminoácidos, proteínas, amino-azúcares y compuestos de naturaleza aromática).
- c) Producir fenoloxidasas que oxidan los polifenoles a quinonas.

La velocidad de descomposición de la materia orgánica está condicionada por los siguientes factores:

1. Naturaleza de los compuestos que la integran.
2. Cantidad de agua y oxígeno disponibles en el proceso.
3. pH. En medio ácido, la descomposición se realiza principalmente por hongos, mientras que a pH alcalino es realizada en su mayor parte por bacterias y actinomicetos.
4. Relación carbono-nitrógeno.- Para que la materia orgánica logre una completa descomposición debe tener un mínimo de 1.5 - 2% de nitrógeno. Generalmente una relación C:N apropiada es de 15-20.
5. Estado físico de la materia orgánica incorporada.
6. Temperatura.- La temperatura óptima se encuentra entre 30° y 40°C.
7. Aireación. Este factor influye principalmente en el tipo de

descomposición. Así bajo condiciones anaeróbicas hay menor desprendimiento de CO_2 y por lo tanto mayor acumulación de humus.

8. Elementos nutricionales de los micro-organismos encargados de la descomposición. Igualmente se debe considerar la presencia de arcillas, inhibidores, etc.

Si el equilibrio dinámico de un medio ecológico dado no es alterado, el contenido y composición de la materia orgánica del suelo permanecen aproximadamente constantes.

Tanto en la zona templada como en la zona tropical, el porcentaje de materia orgánica, dentro de ciertos límites, tiende a aumentar con el incremento de la precipitación y disminuciones de la temperatura ambiental y aireación de los suelos. Considerando que en la zona tropical la temperatura es prácticamente uniforme dentro de cada faja ecológica, el aumento de contenido de materia orgánica está directamente relacionado con la altitud, hasta la transición de los bosques sub-alpino y alpino (4.500 mts.). A partir de los 1.000 mts. de altitud (terminación del bosque tropical) con 24°C ., la temperatura disminuye 1°C por cada 140-180 mts. de ascenso.

En los Andes Nariñenses se encontró una correlación positiva altamente significativa entre la altitud y el contenido de materia orgánica de los suelos (Fig. 1).

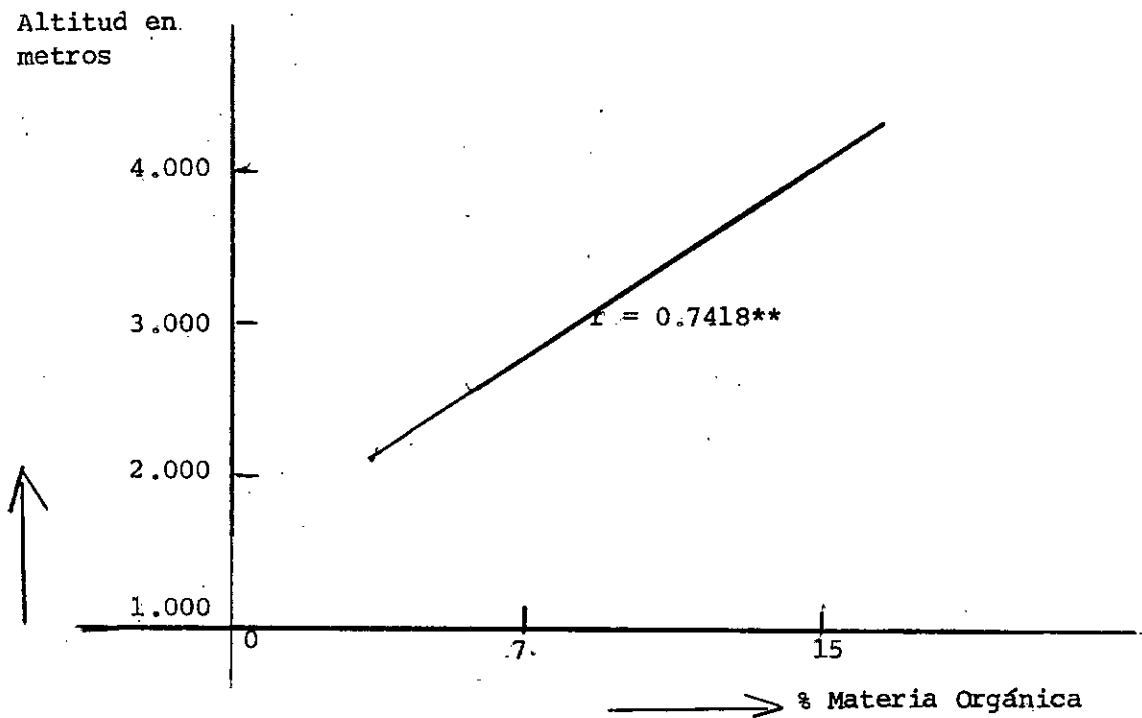


FIGURA 1. Relación entre altitud y contenido de materia orgánica de los suelos en los Andes Nariñenses (Mora, Legarda y Blasco).

Por otra parte, en la Tabla 1 se puede apreciar igualmente que el contenido de materia orgánica, en términos generales, aumenta con la altitud y disminuye con la temperatura.

En relación a la producción de materiales orgánicos se ha encontrado que es mayor a medida que la latitud es menor. Esto es debido a un aumento general de la temperatura, precipitación y radiación solar recibida por las plantas. Para el área de Leticia, Amazonas, se encontró una adición total de 10.300 Kg/Ha./año dentro del bosque húmedo tropical. Como regla general se establece que la producción to-

tal de residuos orgánicos es de dos a tres veces mayor en la selva tropical que en el bosque templado.

TABLA 1. Contenido promedio de Materia Orgánica en suelos de varias regiones colombianas.

Región	Temperatura media anual °C.	Altitud media metros	% M.O.
Páramo - Cundinamarca	10	3.400	24.00
Sabana de Bogotá	14	2.600	12.00
Zona Cafetera	19	1.400	8.00
Valle del Cauca	24	1.200	4.20
Llanos Orientales	27	300	3.40
Costa Atlántica	28	200	2.50

Por su parte la acumulación de materia orgánica en los suelos sigue casi el camino inverso, siendo los suelos de los bosques tropicales quienes menor porcentaje presentan.

El humus presenta el estado coloidal, con partículas menores a 0.002 milímetros de diámetro y por tanto se presentan fenómenos eléctricos de superficie, donde se acumula principalmente electricidad negativa, lo que da lugar a que retenga cationes y coloides de electricidad positiva. Sin embargo el intercambio iónico y la adsorción catiónica aparecen en el humus como fenómenos sumamente complejos, ya que las sustancias que lo integran se comportan a este respecto de modo muy diverso. Los grupos funcionales que están envueltos en el intercambio catiónico y en el desarrollo de la acidez son el carboxílico, el fenólico, y probablemente otros. Cuando el pH está por

debajo de siete, los grupos de más influencia son los carboxílicos. El número de grupos funcionales aumenta a medida que el proceso de descomposición de la materia orgánica avanza, con lo cual resulta igualmente un mayor valor de capacidad de intercambio catiónico. Se han reportado valores superiores a los 200 mili-equivalentes por 100 gr. de materia orgánica. Algunos investigadores han evaluado en promedio la influencia de la materia orgánica en la capacidad catiónica de un suelo en dos mili-equivalentes por 100 gr. de suelo por cada 1% de materia orgánica. Cuando se reporta el valor de capacidad catiónica de cambio de la materia orgánica o de un suelo altamente orgánico es necesario informar del pH al cual se hizo la determinación, pues esta propiedad es dependiente del pH para este caso.

A causa de la alta capacidad catiónica de cambio de la materia orgánica, la medida del pH representa solamente una pequeña porción de la acidez. Por consiguiente, la capacidad buffer, o resistencia a modificación del pH, es muy efectiva. Por tanto se necesita agregar al suelo orgánico grandes cantidades de material ácido o alcalino para modificar su pH. Por ejemplo en suelos de "La Selva", departamento de Antioquia, con un pH de 5.00 y un contenido promedio de materia orgánica del 20%, se necesitarán alrededor de 40 Tons. de CaCO_3 por hectárea para llevar el pH a 7.00. Sin embargo se debe recordar que además de la materia orgánica existen otros factores que pueden comunicarles propiedades buffer a un suelo.

La materia orgánica es fuente de nutrientes para las plantas, particularmente nitrógeno, fósforo, azufre y algunos micro-elementos.

Los principales efectos de la materia orgánica sobre las propiedades del suelo son los siguientes:

1. Reduce su densidad.
2. Favorece su estructura y agregación.
3. Eleva su capacidad de retención de humedad.
4. Eleva su capacidad amortiguadora (Buffer).
5. Eleva su capacidad de intercambio catiónico.
6. Reduce las pérdidas de material fino debidas a la erosión.
7. Aumenta la actividad biológica del suelo.
8. Conserva mejor el calor del suelo al obscurecerlo.

La materia orgánica de los suelos puede disminuirse debido a las siguientes causas.

1. La Erosión.- La materia orgánica es muy ligera y por lo tanto fácilmente sujeta a la acción erosiva del agua de escorrentía. Además se puede perder, junto con otras materias, bajo la acción de otros tipos de erosión.
2. La quema de los residuos de cosecha.- Aunque en un comienzo esta práctica no afecta mayormente los rendimientos de las cosechas, a medida que pasan

4. Utilización de cultivos para abono verde y cultivos de cobertura.

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA.

Uno de los métodos más empleados es el de combustión húmeda propuesto por Walkley y Black, o sea oxidación con dicromato de potasio al calentarlo espontáneamente con ácido sulfúrico concentrado. El procedimiento se basa en la determinación del carbono orgánico. Multiplicando el porcentaje de carbono orgánico por el factor 1,724 nos dá el porcentaje de materia orgánica del suelo. El anterior factor resulta de que se estima que la materia orgánica de los suelos contiene 58 por ciento de carbono.

En base al contenido de materia orgánica, se reconocen generalmente dos grupos de suelos: a) los suelos minerales en los cuales el contenido de materia orgánica está comprendido desde trazas hasta 15 o aún 20 por ciento. b) Suelos orgánicos en los que el contenido de materia orgánica está en el rango de 20 ó 25% hasta 90-95 por ciento. Para suelos orgánicos cultivados generalmente 80 por ciento es un buen promedio. Sin embargo, según Farnham y Finney un suelo orgánico debe satisfacer los siguientes requerimientos:

1. 30 centímetros o más de espesor si está drenado.
2. 20 por ciento de materia orgánica o más si la porción mineral no es arcilla; 30 por ciento de materia orgánica o más si la

los años se reduce el contenido de materia orgánica a niveles que en muchos suelos afectan los rendimientos. Por ello, a menos que existan verdaderos problemas de carácter entomológico o fitopatológico, la quema solamente produce consecuencias perjudiciales al mantenimiento de la fertilidad de un suelo.

3. La descomposición y el lavado.- La liberación de nutrientes vegetales por descomposición de la materia orgánica se verifica sea que se hallen o no cultivos que los aprovechen. Si no hay síntomas radiculares presentes que aprovechen los nutrientes, éstos se pierden por lavado en el agua de drenaje, la cual puede arrastrar otros compuestos orgánicos que generalmente la tiñen de color pardo oscuro.

4. Remoción de los residuos de cosecha y del producto cosechado.-

Los cultivos comerciales aprovechan los nutrientes provenientes de la descomposición de la materia orgánica, y al retirar del campo la cosecha y los residuos de ésta, el suelo vá perdiendo lentamente su contenido de materia orgánica.

A continuación se enumeran los principales métodos que pueden emplearse para mantener e incorporar materia orgánica al suelo.

1. Abonamiento de los cultivos y encalado cuando sea necesario.
2. Incorporación de residuos de cosecha al suelo.
3. Incorporación de estiércol.

de los elementos primarios.

El conjunto de reacciones químicas, transformaciones enzimáticas, aprovechamiento por plantas y animales, etc., dan lugar al llamado ciclo del nitrógeno, el cual se presenta en forma esquemática en la Figura 2.

El nitrógeno usualmente es tomado por las plantas en forma de NO_3^- ó NH_4^+ , pero también puede ser tomado como aminoácidos (glicina y alanina), úrea y ácidos nucleicos.

En cualquier forma que el nitrógeno sea absorbido, dentro de la planta es reducido a aminas (NH_2^-) por reacción enzimática. Por reacción entre estas aminas y ácidos orgánicos, se sintetizan aminoácidos y proteínas. Las proteínas forman parte del protoplasma, los cromosomas, los genes y las enzimas. Por otra parte el nitrógeno es componente de algunas hormonas, de la clorofila y de algunas vitaminas.

Los síntomas de deficiencia de nitrógeno en las plantas se caracterizan por reducción en tamaño y vigor, clorosis y floración prematura. Por su parte el exceso de este elemento puede ser perjudicial, favoreciendo un excesivo desarrollo vegetativo que en las gramíneas propicia el volcamiento, en otras favorece las pudriciones y ataque de insectos y en todas retrasa la floración y fructificación.

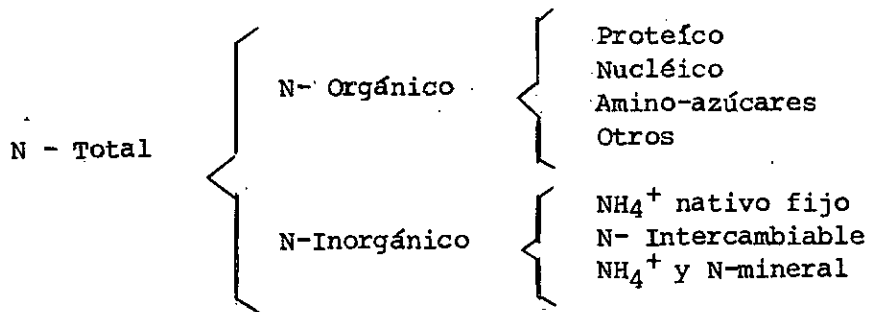
Formas de Nitrógeno en el Suelo.- La fuente principal de nitrógeno para las plantas es el N_2 , el cual constituye alrededor de 78 por ciento de la atmósfera terrestre. Esta forma elemental, sin embargo, no es utilizable por las plantas superiores. Los pasos por los cuales el nitrógeno es convertido a formas utilizables son los siguientes:

1. Fijación por Rhizobia y otros microorganismos que viven simbióticamente en las leguminosas principalmente.
2. Fijación por microorganismos que viven libres en el suelo y posiblemente por organismos que viven en las hojas de plantas tropicales.
3. Fijación como óxidos de nitrógeno por descargas eléctricas en la atmósfera.
4. Fijación como NH_3 , NH_4^+ , NO_3^- , etc. por cualquiera de los varios procesos industriales para la manufactura de fertilizantes nitrogenados sintéticos.

El contenido de nitrógeno total en los suelos presenta un amplio rango, pero es común el comprendido entre 0.2 y 0.7% para la denominada capa arable. El porcentaje tiende a disminuir al aumentar la profundidad del perfil. Dentro de los factores de formación del suelo, es el clima quien más directamente influye en el contenido total de nitrógeno, cuyo porcentaje tiende a incrementarse al

disminuir la temperatura y aumentar la precipitación, lógicamente dentro de ciertos límites.

El nitrógeno encontrado en el suelo puede clasificarse en inorgánico y orgánico. Esquemáticamente estas formas de nitrógeno podrían agruparse así:



El nitrógeno orgánico representa, comúnmente, entre el 85 y 95% del nitrógeno total. Su naturaleza química no es bien conocida.

El nitrógeno inorgánico tiene un rango, generalmente, comprendido entre 5 y 15%. Diversos estudios realizados por Blasco demuestran que los porcentajes de nitrógeno inorgánico son más altos en suelos de regiones áridas o semi-áridas, correspondiendo los porcentajes menores a suelos volcánicos. Por lo general el nitrógeno intercambiable (N-NH_4^+) no supera el 2% del nitrógeno total. El denominado amonio nativo fijo tiene un rango comprendido entre 3 y 13%. Por su parte el nitrógeno mineralizado (N-NH_3 , N-NO_2 , N-NO_3) no supera en la mayoría de los casos el 2%, si bien es cierto que el porcentaje puede aumentar considerablemente cuando las condiciones de

incubación son óptimas. La Tabla 2 muestra algunas cifras para las formas de nitrógeno descritas, para suelos volcánicos de Sibundoy y suelo mineral de Valledupar, transición de bosque muy seco tropical a bosque seco tropical.

TABLA 2. Contenido promedio en las secciones de nitrógeno de suelos volcánicos de Sibundoy, y suelos minerales de Valledupar (Blasco y colaboradores).

Fracciones	Sibundoy	Valledupar
N-Total	6759 (100)*	1320 (100)
N-Orgánico	6536 (97)	1031 (78)
N-NH ₄ ⁺ inorgánico fijo	223 (3.3)	227 (17)
N-NH ₄ ⁺ nativo fijo	149 (2.2)	-
N-NH ₄ ⁺ intercambiable	74 (1.1)	79 (6)
N-NH ₃	51 (0.75)	8 (0.60)
N-NO ₃ ⁻	19 (0.27)	

* Entre paréntesis porcentajes del nitrógeno total. Resultados en ppm.

Por su parte en la Tabla 3 se puede apreciar el contenido de varias fracciones de nitrógeno a distintas profundidades del perfil en un suelo de Valledupar. Se puede observar una disminución general de las distintas fracciones de nitrógeno con la profundidad del perfil.

Mineralización del Nitrógeno Orgánico.- La mineralización del nitrógeno orgánico del suelo

toma lugar en tres etapas esenciales que son: (a) Aminización; (b) Amonificación, y (c) Nitrificación. Por medio de esta secuencia de reacciones, el nitrógeno orgánico que realmente no está en

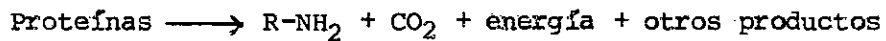
TABLA 3. Nitrógeno en suelos de Valledupar (Colombia), transición de bosque muy seco tropical a bosque seco tropical (Tafur y Blasco).

Prof. Perfil cms.		N Total	N Orgánico	N-NH ₄ ⁺ Inorgánico Total	N-NH ₄ ⁺ Fijo	N-NH ₄ ⁺ Intercambiable	N-NH ₃
<u>0- 25</u>	Promedio	1320	1031	306	227	79	8
	% N-Total	100	78	23	17	6	0.6
<u>25- 70</u>	Promedio	829	573	266	189	76	7
	% N-Total	100	69	32	23	9	0.8
<u>70-100</u>	Promedio	777	511	265	190	75	6.6
	% N-Total	100	66	34	25	10	0.9
100-120	Promedio	516	294	224	175	74	6.5
	% N-Total	100	57	43	29	14	1.30

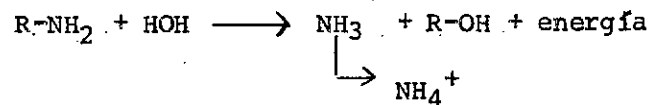
Resultados en ppm

forma disponible para la planta, pasa a formas disponibles para ésta.

- a) Aminización.- Una de las etapas finales en la descomposición de los materiales nitrogenados orgánicos, es la descomposición hidrolítica de protefnas y la liberación de amins y aminoácidos bajo la acción de enzimas hidrolíticas segregadas por organismos heterotróficos. Esquemáticamente se presenta así:



- b) Amonificación.- Las amins y aminoácidos liberados en el proceso de aminización son utilizados por microorganismos heterotróficos no especializados en la liberación de amoniaco o compuestos amoniacales. Esta etapa se denomina amonificación y se representa como sigue:



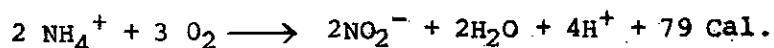
El amoniaco así liberado puede ser sometido en el suelo a lo siguiente:

1. Convertido a nitritos y nitratos por el proceso de nitrificación.
2. Absorbido directamente por las plantas superiores.
3. Utilizado por organismos heterotróficos en la descomposición

de residuos orgánicos de alto contenido de carbono.

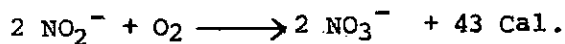
4. Fijado en el látice de ciertas arcillas minerales expandibles como la montmorillonita.

c) Nitrificación.- La oxidación biológica del amoniaco a nitrato se conoce como nitrificación. Se ha demostrado que la nitrificación ocurre en dos reacciones: la primera es el paso del amonio a nitritos, conocida como nitritación.



Los organismos encargados de la nitritación son principalmente las bacterias autotróficas conocidas como Nitrosomonas y Nitrosococcus.

La siguiente reacción es el paso de los nitritos a nitratos, reacción conocida como nitratación:



El organismo responsable de la nitratación es conocida como Nitrobacter.

Las condiciones necesarias para la nitrificación son las siguientes:

1. Presencia del amonio y de los organismos nitrificantes.
2. El pH óptimo parece ser de 8.0 a 8.5. Sin embargo la nitrifi-

ficación puede ocurrir desde pH 5.5 a 10.00

3. Aireación.- Los organismos nitrificantes requieren oxígeno. La concentración óptima de oxígeno es alrededor de 20%. Suelos permanentemente inundados o altamente humedecidos tienen baja producción de nitratos. La razón es la exigencia de oxígeno.
4. Humedad.- En general los organismos nitrificantes son más sensibles al exceso de humedad que a las condiciones de falta de agua. En general una buena nitrificación puede ocurrir cuando el contenido de la humedad del suelo es aproximadamente de 1/3 a 2/3 de la capacidad de campo.
5. Temperatura.- Para la amonificación la temperatura óptima varía entre 40° y 60°C, indicando la intervención de los micro-organismos termofílicos. Por su parte la nitrificación tiende a aumentar con la temperatura hasta, aproximadamente 35°C, aunque muchos autores dicen que la temperatura óptima está en el rango de 24° - 30°C.
6. Nutrientes.- Los distintos nutrientes deben estar bien balanceados, porque debido a la sensibilidad de los micro-organismos nitrificantes, cualquier desequilibrio se refleja en una disminución de la producción de nitratos. Nutrientes como calcio, fósforo, hierro, cobre y manganeso deben estar en forma fácilmente disponibles.

Ya que la aprovechabilidad del nitrógeno del suelo depende de su mineralización, la rata de mineralización es muy importante. Algunos autores han considerado la medida de la capacidad de producción de nitratos del suelo como un buen índice de la rata de mineralización.

Algunos estudios realizados en el Valle del Cauca indican que el promedio de la rata de mineralización para esa zona es alrededor de 1.78%. La Tabla 4 presenta algunos datos sobre la capacidad de varios suelos colombianos para producir nitratos.

TABLA 4. Capacidad de varios suelos colombianos para producir nitratos y algunas de las propiedades más importantes de esos suelos.

Suelo	Producción de NO ₃ ⁻ ppm	Proteína Orgánica %	pH	Al Intercambiables	P (ppm) B II
Turipaná, Córdoba	78	2.9	6.70	0.10	82
Serie Tibaitatá, Cund.	72	6.6	5.00	0.40	29
Codazzi, Magdalena	45	2.4	7.30	0.10	25
Serie Arroyo, Tolima	43	1.4	6.50	0.10	25
El Placer, Cauca	37	13.2	4.60	2.60	19
La Selva, Antioquia	18	27.6	5.00	2.10	3.70
Serie Río Bogotá, Cund.	4	3.6	4.40	3.20	17
La Libertad, Meta	3	3.1	4.50	3.30	5.50

Como se muestra en los resultados de la Tabla 4, la cantidad de materia orgánica no es el único factor determinante en la mineralización. Es importante el pH, aluminio intercambiable, y la cantidad de elementos nutritivos disponibles.

En términos generales el porcentaje de materia orgánica del suelo dividido por 20 es igual al porcentaje de nitrógeno total del suelo. Sin embargo, esto no es un índice de su disponibilidad para la planta. Se deben considerar otra serie de factores tales como propiedades del suelo, condiciones ecológicas, tipo de cultivo, etc.

Fuentes de Nitrógeno.-

El nitrógeno asimilable presente en el suelo proviene de las siguientes fuentes:

- a. Precipitación pluvial.- La cantidad de nitrógeno agregado al suelo con el agua de lluvia, se estima entre 2 y 20 Kgr. por hectárea por año.
- b. Fertilizantes orgánicos e inorgánicos.- El nitrógeno aprovechable del suelo proviene principalmente de la adición de fertilizantes sintéticos y de la descomposición de la materia orgánica. Una forma práctica de calcular las necesidades de nitrógeno para lograr la descomposición de un material incorporado al suelo puede lograrse a partir de la siguiente información:
 1. El material orgánico vegetal contiene aproximadamente 40% de carbono.
 2. El 35% del carbono se fija como humus.

3. El humus contiene aproximadamente una relación C:N de 10:1.

Ejemplo 1. Calcular la cantidad de nitrógeno que será mineralizado o sea aprovechable para el cultivo inmediato siguiente a la incorporación de una tonelada de follaje seco de trébol que contiene 3% de nitrógeno.

$$\begin{aligned} 1000 \times 0.4 &= 400 \text{ Kgr. de carbono en la materia orgánica} \\ 400 \times 0.35 &= 140 \text{ Kgr. de carbono fijado en humus.} \\ 140 \times 0.1 &= 14 \text{ Kgr. de nitrógeno fijado en el humus.} \\ 1000 \times 0.03 &= 30 \text{ Kgr. de nitrógeno total incorporado.} \\ 30 - 14 &= 16 \text{ Kgr. de nitrógeno mineralizado, que será aprovechado.} \end{aligned}$$

Ejemplo 2. Calcular la cantidad de nitrógeno que será mineralizado al enterrar 8 toneladas de paja de trigo del 0.7% de nitrógeno.

$$\begin{aligned} 8000 \times 0.4 &= 3200 \text{ Kgr. de carbono en la materia orgánica.} \\ 3200 \times 0.35 &= 1120 \text{ Kgr. de carbono fijado como humus.} \\ 1120 \times 0.1 &= 112 \text{ Kgr. de nitrógeno fijado en el humus.} \\ 8000 \times 0.007 &= 56 \text{ Kgr. de nitrógeno total incorporado.} \\ 56 - 112 &= -56 \text{ Kgr. de nitrógeno.} \end{aligned}$$

Conclusión: Será necesario agregar 56 Kgr. de nitrógeno para la completa descomposición de la paja.

c. Fijación de Nitrógeno atmosférico por Organismos no simbióticos.-

Los organismos más importantes de este tipo de fijación son *Clostridium* (anaeróbico) y *Azotobacter* (aeróbico). Se entiende por fijación de nitrógeno atmosférico al paso del nitrógeno elemental a una forma química que las plantas sean capaces de asimilar.

Se calcula que la cantidad de nitrógeno fijado por estos microorganismos es de 5 a 50 Kgr. por hectárea por año.

Los requisitos para la fijación de nitrógeno atmosférico por los organismos citados son los siguientes:

1. Presencia de una fuente de energía como azúcares ó ácidos orgánicos de bajo peso molecular en la cantidad de 50 - 100 Kgr. para fijar un Kgr. de nitrógeno.
2. Evitar competencia por nutrientes de otras bacterias.
3. Es necesario que no haya una alta concentración de amonio en el suelo.
4. El *clostridium* requiere un pH alrededor de 7. *Azotobacter* un pH entre 7 y 8.
5. *Clostridium* requiere anaerobiosis y *azotobacter* requiere aerobiosis.
6. Se requiere la presencia de molibdeno y otros elementos como calcio y fósforo.

d. Fijación de Nitrógeno Atmosférico por Organismos Simbióticos.-

El microorganismo responsable es la bacteria *Rhizobium* y la planta huésped es una leguminosa. El micro-organismo prospera en las raíces de la leguminosa formando nódulos, fija el nitrógeno atmosférico y lo cede a la planta en forma de ácido aspártico o tal vez amonio y a cambio recibe de la planta carbohidratos que le sirven de fuente de carbono y energía.

No todas las razas de *Rhizobium* son efectivas en todas las leguminosas, sino que hay razas específicas para ciertas especies de leguminosas.

Los requisitos para una buena nodulación son:

1. Compatibilidad entre el *Rhizobium* y la leguminosa huésped.
2. Presencia de molibdeno. También fósforo y calcio.
3. pH mayor de 6.0
4. Baja concentración de amonio y nitratos en el suelo.
5. Buena producción de carbohidratos por la planta. El *Rhizobium* requiere de unos 20 Kgr. de carbohidratos por cada kilogramo de nitrógeno fijado.

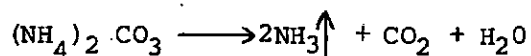
Pérdidas de Nitrógeno en el Suelo.-

El nitrógeno del suelo puede perderse por cualquiera de los siguientes fenómenos:

- a. Absorción por las plantas superiores.
- b. Erosión
- c. Lixiviación
- d. Volatilización de Nitrógeno.- En suelos ricos en nitrógeno y pobres en oxígeno, la pérdida puede llegar a ser del 50% del nitrógeno agregado como fertilizante.

Los mecanismos de volatilización de nitrógeno son los siguientes:

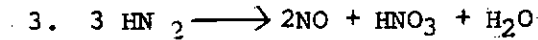
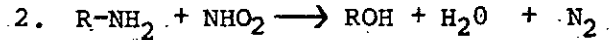
1. Formación y volatilización de amoníaco (NH₃). Esta reacción ocurre en suelos secos y calientes, de pH alcalino y baja capacidad de intercambio catiónico. Bajo estas condiciones se produce carbonato amónico que se descompone liberando amoníaco anhidro.



Las bajas temperaturas inhiben la reacción.

Se recomienda por tanto para suelos calcáreos incorporar la úrea y abonos amonoácidos, o aplicar riego.

2. Producción de nitrógeno y óxido nítrico por procesos químicos. En general esta pérdida ocurre a través de tres reacciones:



Estas pérdidas pueden ocurrir a pH menor de 5, por la formación del ácido nitroso (HNO_2) inestable.

3. Denitrificación Microbiológica.- Realizada por varias bacterias principalmente

Pseudomonas y *Micrococcus*. Consiste en la reducción de nitratos a nitritos y posteriormente a óxido nitroso en suelos ácidos o a nitrógeno elemental en suelos neutros.

La denitrificación bacteriana es considerable bajo condiciones de anaerobiosis y alto contenido de materia orgánica.

4. Reducción de la Disponibilidad debido a fijación del ión amónico.-

El amonio (NH_4^+) puede ser fijado por arcillas expandibles como montmorillonita, illita y vermiculita.

La fijación es mayor a pH neutro o alcalino que a pH ácido.

Por otra parte, la fijación se puede reducir considerablemen-

te por aplicaciones previas de potasio.

GENERALIDADES EN COLOMBIA.

En Colombia se ha encontrado que la respuesta al nitrógeno está principalmente concentrada en las regiones más bajas y cálidas. En las partes más frías el nitrógeno es alto pero la nitrificación es baja generalmente. Sin embargo, las respuestas a este elemento son menos comunes.

Del Espinal a Girardot, en el Tolima, los suelos responden a nitrógeno. Los suelos son, en general de textura gruesa, pobres en nitrógeno, altamente lixiviables.

El tipo de cultivo es muy importante. Por ejemplo se ha encontrado respuestas de los pastos a las aplicaciones de nitrógeno en casi todos los climas.

El contenido de nitrógeno del suelo sigue la misma tendencia que la materia orgánica. Tal como se dijo anteriormente, la materia orgánica se acumula en climas fríos y la cantidad de nitrógeno total en el suelo, aumenta igualmente al disminuir la temperatura.

La Tabla 5 muestra el contenido de nitrógeno de algunos suelos de Colombia.

TABLA 5. Contenido de nitrógeno en la capa arable, de algunas regiones de Colombia.

Región	Temperatura	% N-Total en el suelo
Páramo, Cundinamarca	10°C	1.20
La Selva, Antioquia	15°C	1.00
El Placer, Cauca	19°C	0.56
Valle del Cauca	24°C	0.21
Espinal, Tolima	28°C	0.12

No hay una relación directa entre la cantidad total y el nitrógeno aprovechable por las plantas. Solamente en el caso de que el contenido sea muy bajo, por ejemplo 0.05%, se puede esperar una casi segura respuesta al nitrógeno. Generalmente el dato de mineralización del nitrógeno bajo condiciones aeróbicas y NH_4^+ - N extraído después de la incubación bajo condiciones de inundación, ha dado buenas correlaciones con la toma de nitrógeno por la planta.

BIBLIOGRAFIA

1. BARTHOLOMEW, W.B. 1965. Mineralization and Immobilization of Nitrogen in the Decomposition of Plant and Animal Residues. In: Soil Nitrogen, pp. 287-302. Bartholomew, W.B. and F.E. Clark (Ed.).
2. BLACK, C.A. 1968. Soil-Plant Relationship.
3. BLASCO, M.L. 1970. Microbiología de Suelos, curso Turrialba, Costa Rica.
4. DOLMAN, J.D. and S.W. BUEL. 1967. A study of organic Soils in the Tidewater Region of North Carolina. Tech. Bul. No.131.
5. MARIN, G.M. 1968. Algunos Aspectos del Análisis de Suelos. Boletín de Divulgación No.16.
6. MARIN, G.M., y A. LEON. 1970. Estudio Preliminar sobre la Fertilidad General de los Suelos Colombianos. Boletín Téc.No.11. 1970.
7. MELA, P.M. 1963. Tratado de Edafología y sus Distintas Aplicaciones.
8. NUÑEZ, R. y R.J. LAIRD. Fertilidad de Suelos. Chapingo, México.
9. RYAN, J.A., J.L. SIMS, and D.E. PEASLEE. 1971. Laboratory. Methods for Estimating Plant Available Nitrogen in Soil. Agr. Jr. 63:48-51.
10. TISDALE, S.L., and W.L. NELSON 1966. Soil Fertility and Fertilizers.

EL FOSFORO DEL SUELO

Luis Alfredo León S.*

El fósforo se encuentra presente en los tejidos vegetales y en los suelos en cantidades más pequeñas que el nitrógeno y potasio. Las cantidades generalmente pequeñas del fósforo en los suelos y su tendencia a reaccionar con los componentes de los mismos para formar compuestos relativamente insolubles, y por tanto no aprovechables para las plantas, hacen de él un tópico de gran importancia respecto a la fertilidad de los suelos.

1. FORMAS DEL FOSFORO EN EL SUELO. El fósforo en el suelo se puede clasificar generalmente como orgánico o inorgánico, dependiendo de la naturaleza de los compuestos en los cuales aparece. La fracción orgánica se encuentra en el humus y otros materiales orgánicos que pueden o no estar asociados con él. La fracción inorgánica se presenta en numerosas combinaciones con Fe, Al, Ca, F y otros elementos. Estos compuestos son generalmente muy ligeramente solubles en agua. Los fosfatos también reaccionan con las arcillas para formar complejos arcillafosfatos, los cuales son generalmente insolubles (12).

* Ing. Químico III-25. Programa Suelos del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias "Palmira", Instituto Colombiano Agropecuario, (ICA).

El contenido de fósforo inorgánico en los suelos es generalmente mayor que el orgánico. Una excepción es, claro está el fósforo contenido en suelos predominantemente orgánicos como es el caso de muchos suelos de Colombia. Por otra parte, el contenido de fósforo orgánico en suelos minerales casi siempre es más alto en la superficie que en el sub-suelo, debido a la acumulación de materia orgánica en la porción superior del perfil del suelo.

Generalmente se considera que el fósforo orgánico que se ha identificado específicamente en suelos se presenta en tres formas principales: fosfolípidos, ácidos nucleicos y fosfatos de inositol.

Los compuestos inorgánicos de fósforo existen en el suelo en varias formas. Algunos de estos compuestos han sido preparados por científicos de la TVA y de otras instituciones, y también han sido evaluados en términos de su aprovechabilidad para las plantas.

Algunos de estos son: (5)

Producto	Fórmula	Captación relativa de P siendo el FMC-100*
Fosfato dicálcico dihidratado	$\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	123
Fosfato dicálcico anhidro...	CaHPO_4	110
Fosfato octocálcico.	$\text{Ca}_4\text{H}(\text{PO}_4)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	77
Hidroxiapatita.	$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6 (\text{OH})_2$	9
Fluorapatita	$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6 \text{F}_3$	2

Fosfato férrico cálcico.	$\text{CaFe}^2(\text{HPO}_4)_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	83
Taranaquita de potasio	$\text{K}_3\text{Al}_5\text{H}_6(\text{PO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$	79
Taranaquita de amonio.	$(\text{NH}_4)_3\text{Al}_5\text{H}_6(\text{PO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$	10
Fosfato ácido férrico potásico . . .	$\text{K Fe}_3\text{H}_3(\text{PO}_4)_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	6
Fosfato ácido férrico amónico. . . .	$(\text{NH}_4)\text{Fe}_2\text{H}_3(\text{PO}_4)_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	38
Fosfato de aluminio.	Coloidal	74
Fosfato de hierro.	Coloidal	71
Strenquita.	$\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	3
Struvita.	$\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	124
-----	$\text{K}_3\text{CaH}(\text{PO}_4)_3$	123
Fosfato básico de aluminio y potasio.	$\text{KAl}_2(\text{PO}_4)_2\text{OH} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	3
Fosfato básico de férrico potásico.	$\text{KFe}_2(\text{PO}_4)_2\text{OH} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0
-----	$\text{Ca}(\text{NH}_4)_3\text{P}_3\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$	108
-----	$\text{Ca}_3(\text{NH}_4)_3(\text{P}_3\text{O}_7)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	54
Pirofosfato de calcio	$\text{Ca}_2\text{P}_3\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	15

* FMC = Fosfato monocálcico.

Estos compuestos pueden haber sido formados en el suelo por las reacciones de las sales fertilizantes con ciertos componentes del mismo y muchos de ellos se denominan productos de reacción de los fosfatos. Los datos que muestran la aprovechabilidad de estos materiales para las plantas se obtuvieron comparando la captación del fósforo por las plantas que recibían este elemento como fosfato monocálcico o dicálcico con la captación del fósforo por aquellas que lo reci-

bían en la misma cantidad, en forma de todos esos compuestos. A la captación del fósforo por las primeras plantas se les dió un valor de 100. Se han identificado otros compuestos de fósforo en el suelo, que no están incluidos en la lista pero que no tienen tanta importancia como los presentados en ella (12):

2. APROVECHABILIDAD DEL FOSFORO POR LAS PLANTAS. El fósforo es absorbido por las plantas en su mayoría como iones ortofosfato primario y secundario ($H_2PO_4^-$ y HPO_4^{2-}), los cuales están presentes en la solución del suelo. Algunas pequeñas cantidades de fosfatos orgánicos solubles pueden ser absorbidas, pero generalmente no son tenidas en cuenta. La concentración de estos iones en la solución del suelo y el mantenimiento de esta concentración son de gran importancia para el crecimiento de las plantas (12).

El mantenimiento de una concentración apropiada de fósforo en la solución del suelo depende, entre otras cosas, de la rata relativa de formación y descomposición de la materia orgánica y de la habilidad de la fracción inorgánica del suelo para reaccionar con o fijar fosfatos solubles y tornarlos insolubles o ligeramente solubles. Este equilibrio se puede ilustrar así:

P en combinaciones orgánicas \longrightarrow P en la solución del suelo \longrightarrow P relativamente insoluble (compuestos de P con Fe, Al y arcillas)
 \longleftarrow \longleftarrow

Este equilibrio puede ser disturbado temporalmente por adición de fertilizantes fosfatados solubles, por inmovilización de fósforo soluble por microorganismos, y por mineralización rápida de la materia orgánica que puede ocurrir durante las labores de aradas y rastreadas.

La concentración de varios iones fosfato en solución se encuentra íntimamente ligados con el pH del medio. El ión H_2PO_4^- está favorecido en medios ácidos, mientras que el HPO_4^{2-} está favorecido a pH por encima de 7.0. Como una regla general, la aprovechabilidad máxima del fósforo para la mayoría de los cultivos se encuentra en suelos con pH entre 5.5 y 7.0.

En la tabla del capítulo anterior se dieron datos sobre la captación relativa del fósforo por las plantas dependiendo de los tipos de compuestos existentes en el suelo.

3. FIJACION DEL FOSFORO EN EL SUELO. Cuando se pasa a través de una columna de suelo una solución que contenga un fosfato soluble tal como $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, la solución efluente, contiene solamente una fracción o nada del fosfato presente originalmente. Además, extracciones repetidas con agua, soluciones débilmente ácidas o salinas remueven solamente una pequeña porción del fósforo retenido. Esta reducción de la solubilidad de los fosfatos añadidos se ha denominado retención o fijación de fosfatos. El término retención se refiere a la porción del fósforo que es sostenido en forma débil por el suelo y que puede ser

extraída con ácidos diluïdos. El término fijación se refiere a la porción que no es extractable con ácidos diluïdos y que generalmente no se consideran como verdaderamente aprovechables para las plantas.

La retención de los fosfatos por la fracción mineral de los suelos ácidos se cree generalmente que resulta de la reacción de los iones ortofosfato con el Fe, el Al y posiblemente con las arcillas silicatadas.

En el caso de suelos alcalinos la fijación puede presentarse por precipitación como fosfato dicálcico o por precipitación superficial en la fase sólida del CaCO_3 y por retención de los fosfatos por arcillas saturadas con Ca.

La retención del fósforo en los suelos se encuentra influenciada por varios factores:

- a) Tipo de arcilla.- Retiene más fosfatos aquellos suelos ricos en caolinita, óxidos hidratados de Fe y Al y materiales amorfos del tipo alófana que los ricos en arcillas de tipo 2:1.
- b) Tiempo de la reacción
- c) Reacción del suelo (pH)
- d) Temperatura
- e) Materia orgánica
- f) Contenido original de fósforo en el suelo.

4. CORRELACION ENTRE EL FOSFORO DEL SUELO Y LA RESPUESTA DE LOS

CULTIVOS A LA APLICACION DE FERTILIZANTES FOSFATADOS. Desde hace

muchos años

se han venido efectuando investigaciones en todo el mundo tendientes a encontrar una correlación entre el fósforo del suelo y la respuesta de los cultivos a la aplicación de fertilizantes fosfatados (1,9,11).

El análisis total del fósforo en el suelo nos indica la cantidad completa de este elemento presente en el mismo, independiente de su forma y su aprovechabilidad por las plantas. Para casos en los cuales se desea saber el contenido de fósforo aprovechable por las plantas, se utilizan los análisis parciales (6). Como su nombre lo indica, estos análisis solamente determinan una porción del elemento en estudio, que se supone es la más o la inmediatamente aprovechable por las plantas.

Siendo el fósforo uno de los elementos más limitantes de la producción agrícola en los suelos colombianos, se ha buscado el definir los métodos más apropiados de extracción, para correlacionar su contenido con las respuestas obtenidas en el campo a la aplicación de fertilizantes fosfatados. Desde 1961 hasta el presente, los investigadores del Programa de Suelos del ICA, han establecido ensayos regionales con varios cultivos y en diferentes suelos con el fin de alcanzar el objetivo arriba mencionado (10).

Como ejemplo se puede citar el caso de los ensayos efectuados

por Navas y otros (10), en Cundinamarca y Boyacá utilizando el trigo como cultivo indicador. Los autores estudiaron nueve métodos de extracción de fósforo y al comparar los resultados con los rendimientos del trigo llegaron a las siguientes conclusiones:

- a) Los métodos de extracción de fósforo ofrecen un buen índice para determinar las necesidades del suelo y aplicaciones de este elemento.
- b) De los 9 métodos estudiados, los que mostraron mayor efectividad para medir las necesidades del trigo al fósforo fueron: Bray II, Truog, Bray I y Carolina del Norte.
- c) El método de Bray II fue el que mostró el más alto índice de correlación, encontrándose límites apropiados para alta, mediana y muy baja respuesta del trigo a la aplicación de fósforo.

5. NIVELES CRITICOS DE FOSFORO EN EL SUELO. Los requerimientos de fertilizantes varían de acuerdo con las condiciones del suelo, la clase de cultivo, el manejo y el clima (8). Las recomendaciones de fertilizantes fosfatados están basadas en el análisis de suelos, en las prácticas de cultivo, en el tipo de planta y en las respuestas obtenidas en ensayos de campo, tal como se indicó antes.

Por estas razones, desde que el programa de suelos del ICA ini-

ció sus investigaciones en este campo, se han venido indicando niveles críticos para el fósforo en el suelo, los cuales han sido modificados a medida que los ensayos han evanzado y las técnicas se han refinado.

En el caso del fósforo, actualmente se están utilizando niveles críticos de Bajo y Alto para la mayoría de los cultivos y de Bajo, Medio y Alto para trigo, cebada, papa y yuca, tal como se muestra en las Tablas 1 y 2.

TABLA 1. Niveles críticos de fósforo en el suelo para la mayoría de cultivos (Bray II).

Categorías	Fósforo (P) ppm
Bajo (B)	Menos de 15
Alto (A)	Más de 15

TABLA 2. Niveles críticos de fósforo en el suelo para los cultivos de trigo, cebada, papa y yuca (Bray II).

Categorías	Fósforo (P) ppm
Bajo (B)	Menos de 15
Medio (M)	15 - 30
Alto (A)	Más de 30

6. SIGNIFICADO Y LIMITACION DE LOS NIVELES CRITICOS. La clasificación del fósforo de los suelos en bajo, medio y alto, está basada, tal como se

explicó antes, en la probabilidad de respuesta de la cosecha a la adición de fertilizantes fosfatados. Cuando el fósforo en el suelo está clasificado como bajo, la probabilidad de una respuesta significativa de la cosecha a la aplicación de dicho nutriente es mucho más alto que en otro suelo en el cual el mismo elemento está clasificado en la categoría alto.

Debido a las múltiples variables que influyen en los rendimientos de una cosecha (suelo, cultivo, manejo, clima, etc.), el análisis de suelos se debe considerar únicamente como una guía para la aplicación correcta de fertilizantes, pero no es la solución mágica para obtener mayores cosechas. Junto con las prácticas de fertilización, se debe usar semilla certificada, variedades apropiadas, preparar bien la tierra, sembrar a tiempo, aplicar riego suficiente y controlar plagas, enfermedades y malezas (8).

7. NECESIDAD DE FERTILIZANTES FOSFATADOS EN LOS SUELOS COLOMBIANOS.

Los suelos de Colombia varían desde los típicamente tropicales hasta los subtropicales. En general, sus condiciones físicas son adecuadas para la mayoría de los cultivos, pero los problemas químicos limitan seriamente la productividad en muchas áreas, particularmente en el caso del fósforo, el cual es quizás, el principal de estos problemas (7).

Las respuestas al fósforo en Colombia han estado principalmente

localizadas en las regiones altas e intermedias. Esta afirmación no es cierta en todos los casos, pues en los Llanos Orientales, cuya área es considerablemente grande, la mayoría de sus suelos son extremadamente deficientes en fósforo, tal como lo sugieren los experimentos hasta ahora efectuados.

En las partes más frías del país, el fósforo es el primer elemento claramente limitante. En la mayoría de los casos la producción de cereales y papa, sin aplicaciones altas de fósforo, es extremadamente baja, y no es posible lograr algún beneficio económico apreciable con el uso de nuevas variedades sin ninguna fertilización adecuada. Al revisar las respuestas a fertilizantes de los cultivos en el país parece que el suministro de fósforo a los cultivos de clima frío produce las respuestas más sobresalientes en comparación con los otros nutrimentos. Por esta razón, en las regiones frías se ha dado prioridad a los estudios con fósforo.

Otros factores tales como la clase de material parental (frecuentemente cenizas volcánicas ácidas), acidez del suelo, naturaleza de los productos de meteorización, así como la temperatura, pueden estar envueltos en la frecuencia de deficiencia de fósforo en aquellas áreas. Quizás es poco práctico comparar el estado del fósforo con la altitud, porque las reacciones pueden ser principalmente coincidentes. En el caso del fósforo, hay relaciones mucho menos precisas que aquellas encontradas para el nitrógeno y por el momento debía ser considerado como una agrupación para estudios de

campo y para aconsejar a los agricultores.

En la Tabla 3 se presentan los promedios de los resultados de fósforo para suelos provenientes de 8 de las 10 regiones naturales en las cuales se ha dividido el país de acuerdo al criterio de Guerrero (2).

TABLA 3. Promedio de fósforo para 8 regiones naturales de Colombia.

Región Natural	Fósforo ppm. P (Bray II)
Cordilleras Andinas	28.33
Sabana de Bogotá	66.16
Valle del Alto Magdalena	55.76
Valle del Cauca	43.88
Costa del Pacífico	14.33
Costa Atlántica	98.71
Valle del Bajo Magdalena	34.25
Llanos Orientales	24.96

En muchos casos los datos de la Tabla 3 pueden llevar a conclusiones erróneas, puesto que esos promedios fueron obtenidos en cada región a partir de un número diferente de muestras, además de que dentro de cada región el resultado puede estar fuertemente afectado por un pequeño porcentaje de suelos que presentan valores muy diferentes a aquellos obtenidos en la mayoría de los casos.

Estos resultados de los promedios de fósforo, aparentemente no están mostrando en realidad el estado de este elemento en los suelos del país, aunque sí indican una tendencia a presentarse relativamente bajos en regiones como la Costa del Pacífico, los Llanos

Orientales y las Cordilleras Andinas.

TABLA 4. Distribución en porcentaje de los niveles críticos de fósforo en 8 regiones naturales del país.

Región Natural	Porcentaje de las muestras			No. de muestras analizadas
	FOSFORO			
	Bajo	Medio	Alto	
Cordilleras Andinas	64.33	14.89	20.78	3.210
Sabana de Bogotá	25.14	22.36	52.50	501
Valle del Alto Magdalena	39.82	17.04	43.14	996
Valle del Cauca	41.05	24.17	34.78	2.582
Costa del Pacífico	73.05	15.03	11.92	386
Costa Atlántica	17.77	11.71	70.52	1.964
Valle del Bajo Magdalena	49.92	20.38	29.70	633
Llanos Orientales	72.96	9.45	17.59	307

En la Tabla 4 se puede observar que el nivel de fósforo aprovechable varía enormemente en las diferentes regiones naturales del país. De acuerdo a estos porcentajes, se puede considerar que los requerimientos de fertilizantes fosfatados son bajos para los suelos de la Costa Atlántica, ya que menos del 20% de las muestras analizadas en esa región dieron contenidos bajos de fósforo. Se pueden considerar con requerimientos medianos los suelos de las regiones de la Sabana de Bogotá y de los Valles del Cauca y Alto y Bajo Magdalena, ya que entre un 20 y un 50% de las muestras analizadas de esas zonas dieron resultados bajos en fósforo. Finalmente se considera que los suelos de las Cordilleras Andinas, de la Costa del Pacífico, y de los Llanos Orientales presentan altos requerimientos de fertilizantes fosfatados, ya que entre el 50 y 75% de las muestras analizadas de esas regiones, dieron resultados bajos en fósforo. Debe tenerse en cuenta además, que los suelos de las Cordilleras Andinas presentan una alta capacidad de fijación de fósforo (3,4).

BIBLIOGRAFIA

1. ARISTIZABAL, A. y G.B. BAIRD. 1957. Fertilidad de algunos suelos típicos del Valle del Cauca. Colombia. Bogotá. Ministerio de Agricultura. División de Investigación Agropecuaria DIA (Bol. Técnico No.1).
2. BAIRD, G.B., VEGA, V.M. y RODRIGUEZ M. 1954. El Programa de Suelos de las Oficinas de Investigaciones Especiales de Colombia. Agric. Trop. (Colombia). 10(4):7-16. Bogotá.
3. _____. 1955. El Programa de Suelos de la Oficina de Investigaciones Especiales de Colombia. México, D.F. Secretaría de Agricultura y Ganadería. Primera Asamblea Latinoamericana de la Ciencia del Suelo. 318 p. (Folleto Misceláneo No.5).
4. _____ y A. ARISTIZABAL. 1957. The fertility status of soils in important agricultural areas of Colombia. Soil Science Society America Proc. 21:405-408.
5. BAIRD, G.B., A. MICHELIN, B. MARTINEZ y L.V. CROWDER. 1958. La producción de alfalfa en Colombia. IV. Respuesta de la alfalfa a la fertilización en el Valle del Cauca. Agric. Trop. (Colombia). 14:645-652.
6. _____, M. RODRIGUEZ y C. SANCHEZ. 1959. Algunos estudios de campo sobre la fertilización de maíz en Colombia. En reu-

nión Interamericana de Fitogenetistas. Fitopatólogos, Entomólogos y Edafólogos, III. Bogotá, Colombia. 1955. Ministerio de Agricultura, Oficina de Investigaciones Especiales. 459 p.

7. _____, B. VEGA y A. WEIOZORECK. 1960. Ensayos preliminares sobre respuesta del maíz de clima frío a la aplicación de fertilizantes. *Agríc. Trop. (Colombia)* 16: 233-240.
8. BENAVIDES, S.T. 1963. Distribución of native phosphorus and phosphorus sorption capacity of some tropical soils of Colombia, S.A. M.S. Thesis. Oklahoma State University.
9. CORREA, V.J. 1957. Estudio comparativo de la fertilidad de seis series de suelos de Colombia, bajo condiciones de invernadero. *Suelos Ecuatoriales (Colombia)* 1 (2): 61-98.
10. CROWDER, L.V., J. LOTERO, A. MICHELIN, R. RAMÍREZ, A. WIECZORECK y A. BASTIDAS. 1963. Fertilización de gramíneas tropicales y subtropicales en Colombia. Ministerio de Agricultura, División de Investigación Agropecuaria DIA. Bol. No.12.
11. ESCOBAR, L., G.B. BAIRD y L.V. CROWDER. 1962. Fertilización de los pastos elefante, sorgo forrajero y sudán en un suelo del Departamento de Córdoba. *Agríc. Trop. (Colombia)* 18: 547 - 554.

12. _____ y C. SANCHEZ. 1960. Respuestas del maíz a la aplicación de nitrógeno, fósforo y potasio en el departamento del Valle del Cauca (Colombia). Agric. Trop. (Colombia) 16:17-29.
13. FAJARDO, P.B., A.J. VIVES, S.R. GOMEZ Y N.J. ORTEGA. 1963. Estudios de fertilidad en invernadero sobre algunos suelos del Llano. Boletín del Laboratorio Químico Nacional Nos.6 y 7.
14. FRANCO, A.U. 1946. Characteristics and relationships of soils from volcanic tuffaceous materials in Colombia, South America. Soil Sci. Soc. Amer. Pro. 11:431-437.
15. GOMEZ, J. 1966. Manejo de suelos arroceros. Agric. Trop. (Colombia) 22: 382-385.
16. _____. 1967. Cómo aumentar la producción del maíz en el Valle del Río Cauca. (Departamento del Valle). Agric. Trop. (Colombia) 23:133-140.
17. _____. 1968. Respuesta de un monocultivo del maíz a la fertilización con N.P.K. Agric. Trop. (Colombia) 24 (3).
18. GUERRERO, M.R. 1955. Suelos de Colombia y su relación con la séptima aproximación. Nuevo sistema de clasificación, Bogotá. Instituto Geográfico "Agustín Codazzi". Departamento Agronómico. V. I. No.3. Agric. Trop. (Colombia) 21:49-59.

19. _____. 1965. Trabajos de Suelos en Colombia. Agric.Trop. (Colombia) 21:777-785.
20. LEON, S.A. 1964. Estudios químicos y mineralógicos de diez suelos colombianos. Agric. Trop. (Colombia) 20:442-451.
21. LEON, L.A. y C. SANCHEZ. 1963. Estudio de dos suelos de la Granja "El Placer", Popayán. Agric.Trop. (Colombia) 6:344-355.
22. MARIN, M.G. 1959. El alimento de las plantas. Agric. Trop. (Colombia) 15:855-857.
23. _____, L.V. CROWDER, G.B. BAIRD y R. RAMIREZ. 1969. Respuesta de la avena forajera a nitrógeno y fósforo en dos tiempos de corte, en la Sabana de Bogotá. Agric.Trop. (Colombia) 15:307-321.
24. _____. 1960. La producción de alfalfa en Colombia. VIII. Encalamiento de los suelos en la Sabana de Bogotá para cultivar alfalfa. Agric. Trop. (Colombia) 16:149-160.
25. _____, L.V. CROWDER, G.B. BAIRD y R. RAMIREZ. 1960. Reservas de elementos nutritivos con dos mezclas de gramíneas y leguminosas. Agric. Trop. (Colombia) 16:359-372.
26. _____, H. CHAVERRA, L.V. CROWDER y G.B. BAIRD. 1960. Fertilización de la alfalfa en suelos de clima frío de Colombia.

Bogotá. Ministerio de Agricultura. División de Investigaciones Agropecuarias DIA (Bol. Técnico No.7).

27. _____ y J. GOMEZ. 1966. Algunos aspectos del análisis de suelos. IV. La Interpretación del análisis. Agric. Trop. (Colombia) 22: 368-379.
28. _____. 1966. Algunos aspectos del análisis de suelos. V. Factores que deben tenerse en cuenta al hacer recomendaciones de Fertilizantes y Cal. Agric. Trop. (Colombia) 22:426-432.
29. _____. 1966. Algunos aspectos del análisis de suelos. Agric. Trop. (Colombia) 22:175-182.
30. _____. 1966. Algunos aspectos del análisis de suelos. II Tipo de análisis y procedimientos. Agric.Trop. (Colombia) 22: 255-262.
31. _____. 1967. Algunas sugerencias sobre el uso de fertilizantes y cal. Agric. Trop. (Colombia) 24:404-406.
33. _____. 1968. Recomendaciones tentativas de fertilizantes y cal para diversos cultivos, de acuerdo a los resultados de los análisis de suelos. Primera aproximación. Rev. ICA Vol. III (2).
34. MARIN, M.G. 1968. El análisis de suelos. Plegable No.26 Noviembre.

35. _____ y J.M. SPAIN. 1969. Necesidad de fertilizantes en los suelos colombianos. 31 p. (trabajo presentado en la IV Conferencia de la FAO sobre fertilidad del suelo y empleo de fertilizantes en América Latina).
36. _____ y A. LEON. 1970. El análisis de suelos como una guía para hacer recomendaciones de fertilizantes y enmiendas. *Agric. Trop. (Colombia)* 26:(1):24-33.
37. _____. 1970. Informe preliminar sobre la fertilidad de los suelos del país. *Boletín Técnico ICA*.
38. _____, JAIME NAVAS y J.A. GOMEZ. 1970. Recomendaciones tentativas de fertilizantes y cal para diversos cultivos de acuerdo al análisis de suelos. 2a. aproximación (mimeografiado).
39. NAVAS, A.J., A.H. MANZANO y A.C. McCLUNG. 1966. Algunos aspectos del análisis de suelos. III. Calibración del análisis. *Agric. Trop.* 22:285-294.
40. PARRA, J. 1952. Fertilidad de la serie de suelos "Chinchiná" Chinchiná (Col.) Centro Nal. de Investigaciones de Café *Bol. Inf.* 3 (27):30-38.
41. _____. 1954. Fertilidad de la zona cafetera de Caldas. *Boletín Informativo. Centro Nal. de Investigaciones de Café (Chinchiná, Colombia)* 56:22-31.

42. _____ . 1960. Los suelos del Quindío: Propiedades físicas, Químicas y Fertilidad. Boletín Informativo. Chinchiná, Colombia 11:323-355.
43. RODRIGUEZ, J.M., G.B. BAIRD y J. CORREA. 1960. Fertilización de la papa en Antioquia. Bogotá. Min. de Agricultura. División de Investigación Agropecuaria DIA (Bol. Técn. No.5).
44. _____ y J. CORREA. 1962. Investigaciones sobre la fertilidad de los suelos de tres regiones del norte de Colombia. Medellín. Facultad de Agronomía. Rev. 22 (57):46-55.
45. _____ y G.B. BAIRD. 1963. Fertilización del maíz en el Centro Nal. Investigaciones Agrícolas "Tulio Ospina". Agric. Trop. (Colombia) 19:138-148.
46. _____ . 1968. Estudios sobre fertilidad y fertilización de cultivos en algunos suelos del departamento de Antioquia. Bogotá. D.E. IV Congreso Nal. de Ing. Agr. Agric. Trop. 1:250.
47. ROJAS CRUZ, L.A. 1951. Fósforo asimilable en suelos de Colombia Suramérica. Rev. Colombiana de Química 4 (1):7-17.
48. _____ . 1952. Suelos de la Sabana de Bogotá. I. Agric. Trop. (Colombia) 2:47-52.
49. _____ . 1954. Nivel de fertilidad de los suelos de la Sabana de Bogotá. Lab. Químico Nal. (Bol.1), 54 p.

50. SANGUINO, L.E. 1961. Influencia del pH sobre la fijación de fósforo y su relación con la respuesta del maíz a la fertilización fosfatada. Acta Agronómica. 11(3-4):187-209.
51. SILVA, M.F. 1957. Estudio Químico y Biológico de los suelos de Santander (Colombia). Bogotá. Lab. Químico Nal., Bol. No.3.
52. SILVA, J.V. 1962. Fertilidad de dos tipos de suelos de la Granja "El Placer" (Popayán). Agric.Trop. (Colombia) 18: 252-264.
53. SUAREZ DE CASTRO y G.A. RODRIGUEZ. 1958. Efectos de la cal y el fósforo sobre la producción de maíz en suelos de la serie Chinchiná. Federación Nal. de Cafeteros. Bol. Técnico Vol. 2. No. 20.
54. VEGA, J.V., y L.A. ROJAS C. 1951. Serie de suelos de "La Cabrera" y su fertilidad. Agric. Trop. (Colombia) 7:(11):51-54; 7 (12):31-36.
55. VEGA J.V., G.B. MAIRD y M. RODRIGUEZ. 1959. Algunos aspectos de la fertilización del trigo en suelos de la Sabana de Bogotá y alrededores. Bogotá. Min.Agr. División de Investigación Agropecuaria DIA (Bol. Técn. No.4).
56. _____ G. DIAZ y G.B. BAIRD. 1960. Fertilización de la papa en la Sabana de Bogotá y alrededores. Bogotá. Min. de Agric. Div. de Invest. Agropecuaria DIA (Bol.Técn. No.6).

57. _____ J. SANIN y A.C. McCLUNG. 1963. Influencia de la colocación de dos fertilizantes fosfatados en el cultivo de la cebada, usando el radiosotopo. D.32.Agric. Trop. (Colombia) 19: 541-550.
58. WIECZORECK P., G.B. BAIRD. 1959. Fertilización de la papa en Nariño. Bog. Min. de Agr. División de Investigación Agropecuaria DIA (Bol. Div. No.7).
59. _____ J. BERNAL. 1968. Investigación de pastos y forrajes en Nariño. Agric. Trop. (Colombia) 24 (10) p.721.
60. CATE, B.R. y L.A. NELSON. 1965. Un método rápido para correlación de análisis de suelo con ensayos de fertilizantes. International Soil Testing. Boletín No.1. Carolina del Norte.
61. GUERRERO, R. 1965. Suelos de Colombia y su relación con la séptima aproximación. Nuevo sistema de clasificación. Bogotá. Instituto Geográfico "Agustín Codazzi". Departamento Agrológico. V.I. No.3. Agric. Trop. (Colombia) 21: 49-59.
62. LEON, A. 1964. Estudios químicos y mineralógicos de 10 suelos colombianos. Agric.Trop. (Colombia) 20:442-451.
63. _____. 1967. Chemistry of some tropical acid soils of Colombia, S.A. Ph.D. Dissertation. University of California, Riverside.

64. LINDSAY et al., 1960. Trnas. 7th Intern. Congr. Spil Sci. 3: 580.
65. MARIN, G. 1966. Algunos aspectos del análisis de suelos II tipo de análisis y procedimientos. Agric. Trop.(Colombia) 22: 255-262.
66. _____ y L.A. LEON. 1970. Informe preliminar sobre la fertilidad de los suelos del país. Boletín Técnico ICA.
67. _____ J. NAVAS y J.A. GOMEZ. 1970. El análisis de suelos como guía para hacer recomendaciones de fertilizantes y enmiendas. 2a. Aproximación (mimeografiado).
68. MARTIN, W. Y. D.S.M. KKElsen. 1960. Fertilización de granos en California, Estación Experimental de Agricultura. Servicio de Extensión, Boletín No.775. 39 pp.
69. NAVAS, R.A., A.H. MANZANO y A. C. McCLUNG. 1966. Algunos aspectos del análisis de suelos. III. Calibración del análisis Agr. Trop. (Colombia) 22: 285-294.
70. ORTEGA, E. 1961. Estudio de correlación entre métodos de análisis químico para fósforo aprovechable en los suelos y rendimientos relativos del maíz obtenidos en el campo. Acta de la 5a. Reunión Latinoamericana de Fitotecnia. Tomo II p. 116-118. Buenos Aires.

LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO DE LAS
BASES INTERCAMBIABLES DEL SUELO

Gildardo Marín Morales**

1. LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (C.I.C.).

1.1 Definición.

La capacidad de intercambio catiónico representa el número total de posiciones intercambiables o cargas negativas de la fracción coloidal del suelo expresados en miliequivalentes (meq.) por 100 gramos de suelo. Esta convención tiene la ventaja de que las cantidades efectivas de los diferentes cationes son aditivas.

1.2 La C.I.C. en varios suelos colombianos.

En Colombia la C.I.C. de los suelos es muy variable, aún dentro de una misma región. La C.I.C. más alta se ha encontrado en los climas fríos donde predomina el coloide orgánico (Tabla 1).

TABLA 1. La capacidad de intercambio catiónico en relación con el contenido de materia orgánica y de arcilla en varios suelos de Colombia.

Nombre del Suelo	C.I.C.	Porcentaje de M.O.*	Porcentaje de arcilla	Altitud metros
Serie Tibaitatá	27,0	6,6	19,7	2.640
Serie 130C-5 Tolima	8,3	1,4	7,4	438
La Selva Rionegro (Ant.)	55,4	27,6	11,4	2.200
Turipaná, Montería	23,9	2,9	24,5	20
Llanos Orientales	11,2	3,1	22,9	450
El Placer, Popayán	27,3	13,2	18,5	1.760

* M.O. = Materia Orgánica.

** I.A., M.S. Centro Nacional de Investigaciones Agrícolas "Tibaitatá" ICA.

1.3. La C.I.C. y su relación con el coloide orgánico y mineral.

La C.I.C. del coloide orgánico y de las arcillas montmorillonita, micas, caolinita e hidróxidos son más o menos de 200, 100, 30, 8 y 4 meq/100 gr. la C.I.C. es mayor en suelos de textura más fina. Los suelos arenosos y los suelos franco-arenosos son bajos en arcilla coloidal y generalmente en humus, por tanto, la C.I.C. es menor que en los suelos arcillosos. Sin embargo, en algunos casos, la materia orgánica puede compensar las diferencias en la C.I.C. en dos suelos de diferente textura.

2. LAS BASES INTERCAMBIABLES DEL SUELO (Ca-Mg-K-Na).

2.1. Definición.

El término "bases intercambiables" o "total de bases intercambiables" se refiere a la suma de las bases (Ca^{++} , Mg^{++} , y Na^{+}) en forma intercambiable expresadas en meq/100 gr. de suelo. Se extraen con una solución normal y neutra de acetato de amonio ($\text{CH}_3\text{COO NH}_4$).

2.2. Cálculo del porcentaje de las bases intercambiables.

Una evaluación más detallada del estado de los cationes en el suelo incluye una determinación separada del porcentaje de saturación de cada uno de los diferentes cationes. La cantidad de cada catión metálico intercambiable puede calcularse como un porcentaje del total de la C.I.C.

$$\text{Porcentaje de saturación} = \frac{T}{\text{C.I.C.}} \times 100$$

en la cual T es el total de los cationes metálicos intercambiables expresados en meq/100 gr. de suelo y C.I.C. en la capacidad de intercambio catiónico, también expresada en meq/100 gr. de suelo.

Ejemplo para el Na:

$$\% \text{ de saturación de Na} = \frac{\text{Na meq/100 gr. de suelo} \times 100}{\text{C.I.C. en meq/100 gr. de suelo}}$$

La C.I.C. de los Suelos y el porcentaje de saturación de bases han desarrollado un aspecto bastante importante en la química de suelos. Muchos investigadores han tratado de determinar el porcentaje de saturación de bases óptimo para el crecimiento de un cultivo específico. Así, por ejemplo, algunos investigadores han postulado que la condición ideal para el buen crecimiento de la alfalfa, es cuando el suelo tenga: 65% de saturación con Ca, 10% de saturación con Mg, 5% de saturación con K y 20% de saturación con H.

2.3. Relación entre porcentaje de saturación de bases y pH.

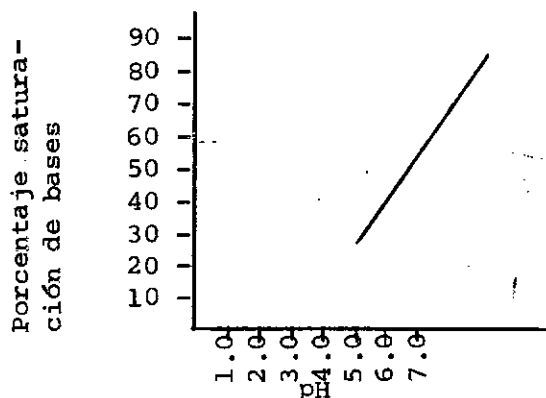


FIGURA 1. Efecto del porcentaje de saturación de bases en el pH de los suelos de las Sabanas de Boyacá y Cundinamarca en donde los contenidos de M.O. se encuentran por debajo del 10% (Datos de Gil y Navas).

La Figura 1 muestra la variación del pH con respecto al porcentaje de saturación de bases. A medida que aumenta el porcentaje de saturación de bases aumenta el pH del suelo; sin embargo se puede observar que la variación en el pH es muy pequeña cuando aumenta el porcentaje de saturación de bases, debido quizás a la capacidad amortiguadora de la materia orgánica. Con suelos bajos en materia orgánica y arcilla las variaciones de pH pueden ser más pronunciadas al aumentar el porcentaje de saturación de bases.

2.4. Conversión de meq de los análisis de suelos a kilogramos por hectárea.

En reacciones de oxidación y reducción el peso equivalente es el número de gramos de reactivo necesario para oxidar o reducir un gramo átomo de hidrógeno. En términos más simples: el equivalente químico de un elemento, es su peso atómico dividido por su valencia. Si se expresa en gramos se denominará entonces equivalente gramo.

Ejemplos:

- a) Peso atómico de calcio. (Ca) = 40
Valencia de calcio. = 2
Equivalente/gramo = $40 \div 2 = 20$ gr.
- b) Peso atómico del magnesio (Mg) = 24
Valencia. = 2
Equivalente/gramo. = $24 \div 2 = 12$ gr.

c) . Peso atómico del potasio (K) = 39
Valencia = 1
Equivalente/gramo = $39 \frac{1}{1} = 39$ gr.

d) . Peso atómico del sodio (Na) = 23
Valencia = 1
Equivalencia/gramo = $23 \frac{1}{1} = 23$ gr.

Se denomina miliequivalente al equivalente dividido por 1.000.

Ejemplos:

- a) Miliequivalente del calcio = $20 \div 1.000 = 0,020$ gr.
- b) Miliequivalente del magnesio . . . = $12 \div 1.000 = 0,012$ gr.
- c) Miliequivalente del potasio . . . = $39 \div 1.000 = 0,039$ gr.
- d) Miliequivalente del sodio = $23 \div 1.000 = 0,023$ gr.

La abreviatura de miliequivalente es: meq.

En promedio una hectárea de suelo, capa arable, pesa 2.000.000 kilogramos.

Supongamos que un análisis de suelos dió 1 meq de calcio por 100 gramos de suelo. Según la definición de meq, 1 meq de calcio por 100 gramos de suelo = 0,020 gramos de calcio por 100 gramos de suelo.

$0,020$ gr. de calcio/100 gr. de suelo = $0,2$ gr. de Ca/1 Kg. de suelo = $0,0002$ Kg. de Ca/Kg. de suelo.

Ahora solo basta calcular los Kg. de Ca por hectárea teniendo en cuenta que la hectárea, capa arable, pesa 2.000.000 kilogramos.

$$X \text{ (Kg. Ca/Ha.)} = 0,0002 \text{ Kg. de Ca} \times 2.000.000 \text{ Kg. por hectárea} = 400 \text{ Kg. de Ca/Ha.}$$

Por tanto:

$$1 \text{ meq de Ca/100 gr. de suelo} = 400 \text{ Kg. de Ca/Ha.}$$

A cuántos kilogramos de CaCO_3 por hectárea equivalen 400 Kg. de Ca/Ha.?

$$\text{Peso molecular del } \text{CaCO}_3 = 40 + 12 + 48 = 100 \text{ gr.}$$

$$40 \text{ Kg. de Ca corresponden a } 100 \text{ Kg. de } \text{CaCO}_3$$

$$400 \text{ Kg. de Ca corresponden a } X \text{ Kg. de } \text{CaCO}_3$$

$$X \text{ (Kg. de } \text{CaCO}_3) = \frac{100 \times 400}{40} = 2,5 \times 400 = 1.000 \text{ Kg. de } \text{CaCO}_3/\text{Ha.}$$

$$\text{Luego: } 2,5 \times \text{Kg. de Ca/Ha.} = \text{Kg. de } \text{CaCO}_3/\text{Ha.}$$

Resumiendo y aplicando los mismos razonamientos anteriores, tenemos que:

$$\begin{aligned} 1 \text{ meq de Ca/100 gr. de suelo} &= 400 \text{ Kg. de Ca/Ha.} \\ &= 560 \text{ Kg. de CaO/Ha.} \\ &= 1.000 \text{ Kg. de } \text{CaCO}_3/\text{Ha.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1 \text{ meq de Mg/100 gr. de suelo} &= 240 \text{ Kg. de Mg/Ha.} \\ &= 400 \text{ Kg. de MgO/Ha.} \\ &= 840 \text{ Kg. de } \text{MgCO}_3/\text{Ha.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1 \text{ meq de K/100 gr. de suelo} &= 780 \text{ Kg. de K/Ha.} \\ &= 940 \text{ Kg. de } \text{K}_2\text{O/Ha.} \end{aligned}$$

$$1 \text{ meq de Na/100 gr. de suelo} = 460 \text{ Kg. de Na/Ha.}$$

3. EL POTASIO DEL SUELO.

3.1. Formas de Potasio en los suelos.

El contenido de potasio aprovechable en los suelos se origina en la desintegración y descomposición de rocas que contienen minerales potásicos. Los minerales que generalmente se consideran como fuentes de potasio son: los feldspatos ($KAlSi_3O_8$), la muscovita $[H_2KAl_3(Si_4O_{12})_3]$ y la biotita $[(H,K)_2(Mg,Fe)_2Al_2(Si_4O_{12})_3]$. Los resultados experimentales indican que la aprovechabilidad del potasio por las plantas en esos minerales es del orden biotita > muscovita > feldspatos.

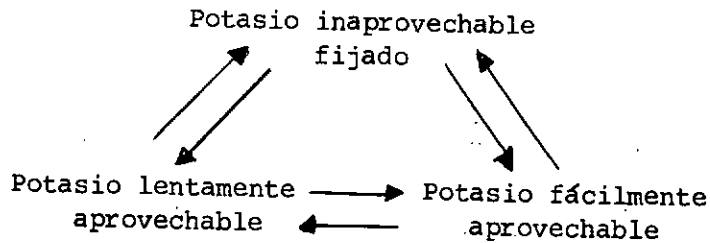
El potasio en los suelos también se encuentra en la forma de minerales secundarios o minerales de la fracción arcilla: ilitas ó micas hidratadas, vermiculita, clorita y minerales interestratificados en los cuales dos ó más de los tipos precedentes ocurren en más o menos un arreglo al azar en la misma partícula.

3.2. Formas aprovechables de potasio en los suelos.

Desde el punto de vista de la aprovechabilidad del potasio por las plantas, ésta se puede clasificar en tres categorías: (1) relativamente inaprovechable o fijado, (2) lentamente aprovechable y (3) fácilmente aprovechable.

Esas formas se considera que están en equilibrio y por tanto un cambio en una resulta en una modificación de las otras. Este equi-

librio se puede representar en la siguiente forma:



El potasio fijado o sea aquel que no es aprovechable por las plantas ocurre como una parte de la estructura cristalina de los minerales primarios no meteorizados o ligeramente meteorizados y minerales secundarios micáceos y feldespáticos (90-98% del total).

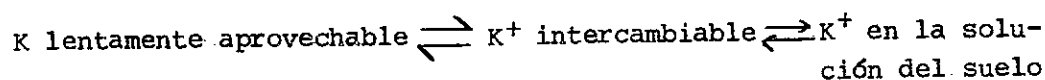
El potasio lentamente aprovechable es formado gradualmente por las plantas a través de reacciones de minerales como la illita que parece que alternadamente libera o fija potasio dependiendo de varios factores. Uno es la concentración de potasio aprovechable en la solución del suelo y la forma intercambiable (1 a 10% del total).

El potasio fácilmente aprovechable es la combinación del potasio en la solución del suelo y el potasio intercambiable retenido por la fracción de intercambio del suelo. El potasio fácilmente aprovechable es la fracción que puede ser absorbida fácilmente por las plantas (1 a 2% del total).

Las divisiones del potasio de acuerdo a su aprovechabilidad por las plantas son más bien arbitrarias pero sirven en una forma general para definir el potasio en el suelo y la relativa aprovecha-

bilidad por las plantas.

El potasio fácilmente aprovechable a su vez está en equilibrio con el potasio lentamente aprovechable como se indica en el siguiente esquema:



Cuando hay un alto suministro de potasio fácilmente aprovechable y otras condiciones de crecimiento son favorables, la absorción para las cosechas puede exceder sus requerimientos. Este fenómeno se ha denominado "consumo de lujo de potasio por las plantas".

3.3. Niveles críticos de potasio en los suelos.

Los resultados del análisis de suelos para potasio se han correlacionado con la respuesta de varios cultivos (maíz, trigo, cebada) a la aplicación de fertilizantes y se ha logrado establecer tentativamente niveles críticos en la forma siguiente:

TABLA 2. Niveles críticos tentativos de potasio (K) en suelos colombianos.

Potasio en el suelo meq/100 gr. de suelo	Kg de K ₂ O/Ha. (aproximadamente)	Clasificación
Menos de 0,15	Menos de 150	Bajo
De 0,15 a 0,30	De 150 a 300	Medio
Más de 0,30	Más de 300	Alto

Debe tenerse en cuenta que la cantidad de potasio encontrado en el análisis del suelo no es siempre una buena medida de la capacidad del suelo para suministrar potasio. Puede ocurrir que parte del potasio que no es determinado en el análisis del suelo sea utilizado por las plantas. De manera que al hacer recomendaciones sobre fertilizantes potásicos, sería importante conocer, además del nivel crítico de K^+ en el suelo y las necesidades de la cosecha, la capacidad del suelo para suministrar potasio de esas porciones no determinadas en el análisis de suelos. Es decir que en los suelos hay más potasio disponible para las plantas que el determinado por el análisis.

3.4. Necesidad de fertilizantes potásicos en los suelos colombianos.

Las respuestas de potasio en los cultivos en los cuales el ICA tiene la responsabilidad para investigación, han sido relativamente raras. En estudio de campo las únicas respuestas significativas han sido en las terrazas aluviales y en las altillanuras planas de los Llanos Orientales, en la Subestación "La Selva" en Antioquia y sobre un suelo latosolito en la Estación "Tulio Ospina", el cual había tenido pastos de corte fuertemente fertilizados con nitrógeno. En el caso de "La Selva", se sospecha que el material parental, bajo en potasio fue el factor principal para la respuesta. Sobre el suelo rojo, los factores claves parecen ser su nivel natural mas bien bajo de potasio acompañado con remoción extremadamente alta por el cultivo.

En general, los resultados con potasio son similares a aquellos encontrados en otras áreas agrícolas desarrolladas. Es bastante común encontrar para respuesta inicial de potasio. Cuando se continúa, el potasio del suelo disminuye y si la producción se aumenta a través del uso de otros fertilizantes la necesidad de potasio usualmente llega a ser más pronunciada, como es el caso de los suelos de los Llanos Orientales mencionados arriba.

4. EL CALCIO Y EL MAGNESIO DE LOS SUELOS.

4.1. Forma y cantidad en los suelos.

El calcio puede existir en muchas formas en los suelos. Puede estar presente en forma intercambiable en el complejo coloidal del suelo, haciendo parte de feldespatos como la anortita y la albita. También contienen calcio los piroxenos y anfíboles y en las apatitas; en regiones áridas se encuentra en gran proporción en la forma de carbonato de calcio y en forma de sulfato de calcio bajo algunas condiciones en suelos ácidos y semiácidos. En forma soluble en la solución del suelo se puede encontrar como nitrato, bicarbonato, cloruro o sulfato.

El magnesio en los suelos se origina en la descomposición de rocas que contienen minerales tales como la biotita, dolomita, serpentina y olivina.

Los suelos varían ampliamente en el contenido de calcio. En

suelos libres de carbonato de calcio se han reportado análisis de valores que varían desde 0,086% a un poco más de 2%. En suelos calcáreos varían desde menos de 1% a 25%. Los suelos arenosos de regiones húmedas son frecuentemente bajos en calcio total.

El magnesio constituye aproximadamente el 1.93% de la corteza terrestre. El rango es demasiado amplio, va desde menos del 1% en suelos arenosos de regiones húmedas a varios porcientos en suelos de textura fina de los suelos de regiones áridas semiáridas, formados a partir de material parental con alto contenido de magnesio.

En cuanto al contenido de calcio y magnesio intercambiable en los suelos colombianos se pueden hacer las siguientes consideraciones.

- a) El calcio y el magnesio intercambiable son muy bajos en suelos de la Costa del Pacífico, los Llanos Orientales y la región del Amazonas.
- b) Existe en cantidades medianas en las cordilleras Andinas y la Sabana de Bogotá.
- c) Cantidades relativamente altas en el Valle del Cauca y otros valles del alto y bajo Magdalena y en los valles del Sinú y Cesar.
- d) Cantidades muy altas en la costa Atlántica y desierto de la Guajira.

e) Se han encontrado cantidades más altas de Mg que de Ca (intercambiables) en muchos sitios del Valle del Cauca (C.N.I.A.P.), El Porvenir, Río Paila, San Carlos) y en muchos suelos rojos de Antioquia.

4.2. Factores que afectan la aprovechabilidad por las plantas.

4.2.1. Calcio: La cantidad de calcio intercambiable presente en los suelos no es tan importante para la nutrición de las plantas como la cantidad presente en relación a las cantidades y clases de otros cationes retenidos por la fracción arcilla o el grado de saturación con calcio. Por ejemplo un suelo que contiene solamente 2.000 Kg. de Ca intercambiable por hectárea pero con una baja C.I.C. puede proporcionar más a las plantas que en suelo que contiene 8.000 ó 9.000 Kg. pero con una C.I.C. alta. Pongamos el caso de la serie Tibaitatá y la serie 130C-5 de Tolima.

	Tibaitatá	Serie 130C-5
pH	5.0	6.5
Ca (m.e./100g)	9.65	4.20
C.I.C.	27.0	8.40
% saturación de Ca	<30%	50%

El grado de saturación de calcio es muy importante porque la cantidad de este elemento absorbido en forma intercambiable disminuye a medida que la C.I.C. aumenta y la cantidad de calcio absorbido por las plantas disminuye.

El tipo de arcilla influye en el grado de aprovechabilidad del calcio. Las arcillas del tipo 2:1 requieren mayor grado de saturación para ser utilizada por las plantas que las arcillas del tipo 1:1. La montmorillonita por ejemplo requiere una saturación del 70% o más con calcio para que este elemento sea liberado fácilmente para el crecimiento de las plantas. La caolinita por otra parte, es capaz de satisfacer los requerimientos de Ca de la mayoría de las plantas a valores de saturación de 40 a 50%.

La aprovechabilidad del calcio reemplazable de diferentes tipos de coloides fue estudiada por Allaway (1945). El encontró que el grado de aprovechabilidad del calcio para la zona fue del orden $\text{peat} > \text{caolinita} > \text{ilita} > \text{bentomita (montmorillonita)}$. En cada coloide la aprovechabilidad del Ca intercambiable se aumentó con el aumento de la saturación de Ca. Los resultados sugieren que los suelos con diferentes tipos de coloides pueden mostrar marcadas diferencias en la aprovechabilidad del Ca intercambiable y que la cantidad de Ca reemplazado del suelo por una pequeña cantidad de un ácido ofrece una medida promisoría de la medida de la fertilidad del suelo en cuanto a calcio (Ca).

Hay otros fenómenos que afectan la aprovechabilidad del calcio. Uno de ellos se conoce como "el efecto del ión implementario" y se define como la influencia de un ión adsorbido en la superficie coloidal sobre la liberación de otros también adsorbidos en la misma superficie. Se ha observado que altas concentraciones de potasio en el

suelo reducen la adsorción de calcio y magnesio por las plantas.

En relación con el ión complementario es importante anotar los siguientes hechos:

- a) Los coloides del suelo tienden a retener más fuertemente los cationes divalentes que los monovalentes.
- b) Si las bases intercambiables de un suelo consisten principalmente de cantidades altas de iones K^+ y NH_4^+ en proporción a los divalentes (Ca^{++} y Mg^{++}), los iones monovalentes serán reemplazados más fácilmente que los divalentes. De ahí que la absorción de los primeros será mayor que la absorción de los segundos. En casos extremos en los cuales la relación de monovalente a divalentes es muy amplia puede ocurrir deficiencias de éstos.
- c) La adición de grandes cantidades de K^+ y quizás también de NH_4^+ resulta en una disminución de la absorción de magnesio por las plantas. Los rumiantes que pastorean en tales suelos, sufren deficiencias de magnesio, conocida como "tetano de los pastos" ó "hipomagnesia".

4.2.2. Magnesio. Ya se mencionó que la adición de grandes cantidades de K^+ (y quizás de NH_4^+) resulta en una disminución de la absorción de magnesio por las plantas. Obviamente, la corrección consiste en aumentar el porcentaje de saturación

con magnesio aplicando al suelo cal dolomítica o fertilizantes que contengan magnesio.

4.2.3. Relaciones Ca: Mg. La deficiencia de calcio puede provocar una absorción anormalmente alta de magnesio. En tal caso pueden presentarse síntomas de toxicidad de Mg más que deficiencia de Ca en plantas que crecen en suelos de contenido en calcio muy escaso y de magnesio muy alto.

TABLA 3. Relación Ca: Mg en algunos suelos del Valle del Cauca.

Finca	Municipio	pH	$\frac{\text{Ca: Mg}}{\text{m.e./100g.}}$	Cultivo
Holanda	Buga	7.0	26,5-26,4	Pasto
Río Paila	Zarzal	6.3	17,5-19,0	Caña
C.N.I.A.P.	Palmira	6.9	15,5-20,1	Arroz
San Carlos	Tuluá	7.7	10,8-23,6	Caña
La Holanda	Jamundí	5.6	8,1-12,5	Maíz

Baird y Vanegas (1961), encontraron deficiencias de magnesio en los suelos de la Granja "El Placer" en Popayán. Los resultados mostraron que tanto la papa como el frijol respondieron significativamente a la aplicación de Mg y que hubo una fuerte tendencia del trigo a responder a ese elemento. El rendimiento del frijol fue esencialmente nulo cuando se omitió el Mg de los tratamientos que contenían otros elementos.

TABLA 4. Resultados de los análisis de suelos.

Profundidad	Textura	CIC	Ca	Mg	K	P ₂ O ₅	%
		m.e./100 g.					
0-20	Franco-arenoso	25.0	2.0	0,7	1.1	5.1	9.0
20-40	Arcillo-arenoso	20.7	2.5	1.2	0.5	2.2	3.6

Un mes antes de la siembra se aplicó cal agrícola a razón de 5 toneladas por hectárea y N-P₂O₅-K₂O.50- 200- 500 Kg/Ha.

Por otra parte León (1968) estudió varias relaciones Ca: Mg: K en un suelo franco de Floridablanca en Popayán. El más alto rendimiento con alfalfa lo obtuvo cuando se aplicaron 10 toneladas de CaCO₃, 3,32 toneladas de MgO y 200 Kg/Ha. de K₂O, lo cual dió una relación Ca: Mg: K de 2:1:0.27 y un pH de 6.2. Se indicó que la nutrición de Mg y K fueron factores críticos en el rendimiento de la alfalfa especialmente cuando se utilizaron altas cantidades de cal. La respuesta al potasio aumentó especialmente con el aumento de la saturación de Mg en el suelo.

BIBLIOGRAFIA

1. ALLAWAY, W.H. 1945. Availability of replaceable calcium from different types of colloids as effected by degree of calcium saturation Soil Sel. 59: 207-217.
2. BAIRD, G.B. y J. VANEGAS. 1961. Probable deficiencia de magnesio en los suelos de la Granja "El Placer" Popayán. Agric. Trop. (Colombia) 17:278-284.
3. GIL F. y J. NAVAS. 1971. Estimación de la capacidad de intercambio cationico de algunos suelos de las Sabanas de Boyacá y Cundinamarca, en base al contenido de materia orgánica, arcilla y pH del suelo. Instituto Colombiano Agropecuario ICA. Programa de Suelos (Datos sin publicar).
4. LEON, A. 1964. Estudios químicos y mineralógicos de diez suelos colombianos. Agric. Trop. (Colombia) 20:442-451.
5. LEON, A. 1968. Relaciones de calcio, magnesio y potasio en suelos de "La Florida" Popayán. Agric. Trop. (Colombia) 24:335-345.
6. MARIN, G. y J. GOMEZ. 1966. Algunos aspectos del Análisis de Suelos. IV. La interpretación del análisis. Agric. Trop. (Colombia) 22: 368-379.
7. MARIN, G. y A. LUENGAS. 1967. La capacidad de varios suelos colombianos para suministrar potasio. Agric. Trop. (Colombia) 23:89-102.

MARIN, G. y A. LEON. . 1971. Estudio preliminar sobre la fertilidad general de los suelos colombianos. Boletín Técnico ICA. No.11

TISDALE, S.L. y N.L. NELSON. 1956. Soil Fertility and fertilizer.

The McMillan Company. New York. 430 p.

FERTILIZANTES ORGANICOS E INORGANICOS Y ENMIENDAS

Rodrigo Lora Silva*

DEFINICION. Un fertilizante es cualquier material, orgánico o inorgánico, natural o sintético, que suministra a las plantas uno o más de los elementos químicos necesarios para su normal crecimiento..

ELEMENTO ESENCIAL. Generalmente tres condiciones deben ser satisfechas para que un elemento sea clasificado como esencial para las plantas:

1. El nutriente debe estar presente en formas disponibles para la planta para que ésta complete su ciclo normal de vida.
2. El elemento debe ser específico, esto es, ningún otro elemento puede sustituirlo completamente en sus funciones en la planta.
3. Sus beneficios deben contribuir directamente a la supervivencia de la planta, y no a la corrección de un problema relacionado con actividades microbiológicas o químicas en el suelo.

Ningún elemento esencial es de mayor o menor importancia que otro.

La lista de elementos reconocidos como esenciales para la planta

* Ingeniero Químico, M.S., Programa Suelos, ICA.

ha aumentado con los años; actualmente se reconocen 16, y se muestran en la Tabla 1. Los primeros nueve elementos son requeridos en cantidades relativamente grandes y son llamados MACRONUTRIENTES. De éstos el Carbono, Hidrógeno y Oxígeno son suministrados por el aire y el agua, y por lo tanto, no se consideran dentro de la industria de fertilizantes. Los demás macronutrientes se subdividen en elementos primarios (Nitrógeno, Fósforo y Potasio) y elementos secundarios (Calcio, Magnesio y Azufre). Los siete elementos restantes son requeridos en cantidades mucho más pequeñas y se conocen como micronutrientes, elementos menores, elementos traza u oligoelementos.

TABLA 1. Elementos esenciales para las plantas.

Macronutrientes (Elementos Mayores)	Nutrientes Primarios	Carbono (C)
		Hidrógeno (H)
		Oxígeno (O)
	Nutrientes Secundarios	Nitrógeno (N)
Fósforo (P)		
Potasio (K)		
Micronutrientes (Elementos Menores)	Calcio (Ca)	
	Magnesio (Mg)	
	Azufre (S)	
	Boro (B)	
	Cloro (Cl)	
	Cobre (Cu)	
	Hierro (Fe)	
Manganeso (Mn)		
Molibdeno (Mo)		
Zinc (Zn)		

FUNCIONES EN LA PLANTA DE LOS ELEMENTOS ESENCIALES. En forma general las funcio-

nes de los elementos esenciales para la planta son las siguientes:

NITROGENO. Usualmente tomado del suelo en la forma de iones amonio o nitrato, se combina en el complejo sistema bioquímico de la planta para formar aminoácidos y estos a su vez las proteínas. El nitrógeno es componente esencial de la clorofila, sin la cual la fotosíntesis no puede efectuarse. Después del carbono, hidrógeno y oxígeno es el elemento requerido en una mayor cantidad por la planta. La falta de este elemento nutritivo lo delata inmediatamente el cultivo por la coloración amarillenta que aparece en las hojas, al tiempo que se paraliza el crecimiento vegetativo. Un cuadro semejante a éste solo puede originarse debido a un exceso o deficiencia de agua (en ciertas plantas también a causa de deficiencia de azufre y hierro). El nitrógeno bien dosificado regula la cantidad de hojas y raíces y por consiguiente dá cosechas abundantes; aplicado en exceso retarda la formación de los frutos, aumenta la cantidad de follaje y disminuye la cantidad de raíces; así mismo hace a las plantas fácilmente atacables por las enfermedades y las plagas, así como también induce problemas de volcamiento principalmente en cereales.

FOSFORO. Es requerido en menor cantidad que el nitrógeno. Ocupa una posición central en el metabolismo vegetal. En el conjunto de fenómenos que lleva consigo la función clorofílica el ácido fosfoglicérico es uno de los primeros compuestos de la fotosíntesis, y a partir de aquí se generan los azúcares, grasas, proteínas, vitaminas y hormonas que integran las células. El fósforo es un consti-

tuyente de ácidos nucleicos, fitinas y fosfolípidos, y en la primera etapa de vida de la planta contribuye a la formación de las partes reproductivas. Es esencial para la formación de la semilla y se acumula en cantidades grandes en semillas y frutas. Una buena fertilización fosfórica aumenta la cantidad de raíces, acelera la maduración de los frutos, aumenta el grano con relación a la paja, y en general, se produce cosecha de buena calidad. Sin embargo un exceso de fósforo puede acelerar la madurez a expensas del crecimiento vegetativo. Además se pueden presentar deficiencias de algunos elementos menores particularmente hierro, zinc y cobre.

POTASIO. Sus funciones no son conocidas claramente, pero es requerido en grandes cantidades para el crecimiento y salud de las plantas. No forma parte de compuestos orgánicos celulares; en la planta se encuentra generalmente como sales inorgánicas. Dá dureza y fortaleza a los tallos; es indispensable para el crecimiento normal de las partes carnosas de ciertas frutas como: manzanos, duraznos, tomates, etc.; dá resistencia a las plantas contra las enfermedades y las plagas debido posiblemente a que comunica firmeza a los tejidos; tiene especial papel en la formación de los almidones y azúcares como es el caso de plantas tales como la papa, la yuca, la remolacha, la caña de azúcar, etc. El potasio produce antagonismo con calcio, magnesio, cobre, boro, nitrógeno, etc.; y de ahí la importancia de un balance apropiado entre los distintos elementos nutritivos.

CALCIO. Solo pequeñas cantidades de calcio son necesitados como nutrientes. Ayuda a proteger contra la toxicidad de metales pesados y del ión hidrógeno. Se acumula en grandes cantidades en la pared celular en forma de pectato de calcio. Los procesos enzimáticos relacionados con la degradación de carbohidratos y de ATP reducen su actividad bajo deficiencia de calcio. Los procesos de transporte en las membranas son afectadas; por otra parte existe una estrecha asociación entre aberraciones del cromosoma y deficiencia de calcio.

MAGNESIO. Es constituyente esencial de la clorofila. Es activador de varios sistemas enzimáticos de las diferentes rutas metabólicas incluyendo fotosíntesis, respiración, síntesis y degradación de lípidos y transformaciones del nitrógeno. Todas las reacciones que envuelven transferencias de fósforo son activadas por magnesio.

AZUFRE. Es un constituyente de muchas proteínas, especialmente en la forma de cistina y metionina. Es también constituyente del glutatión, substancia que interviene en la respiración. La deficiencia de azufre retarda marcadamente el crecimiento de la planta. Los cloruros antagonizan con el azufre, lo cual se traduce en clorosis al impedirse la nutrición azufrada.

BORO. Su presencia es necesaria en aquellos sitios donde se verifica una activa división celular. Además, tiene gran impor-

tancia en la germinación del polen, en la formación de frutas, flores y raíces, en la absorción de cationes, y en el transporte de las sustancias dentro de la planta. Por otra parte favorece la absorción de agua por el protoplasma vegetal, lo que explica que la escasez de boro produzca los mismos síntomas que la sequía en algunos casos. En general la deficiencia de boro produce necrosis en raíces, tallos, hojas, flores y frutas. El exceso o toxicidad por su parte produce muerte del sistema radicular y de las hojas adultas.

HIERRO. Es usado por la planta en algunos de los sistemas enzimáticos de la respiración, especialmente catalasa, peroxidasa y citocromo. La forma metabólicamente activa es la ferrosa. Es esencial en la formación de la clorofila, aunque no es un constituyente de su molécula.

ZINC. Tiene una fisiología compleja en las plantas, interviniendo en la formación de auxinas de crecimiento, y en los procesos de fotosíntesis. Existe antagonismo entre el zinc con fósforo, hierro, manganeso, y magnesio.

MANGANESO. Al igual que el hierro, el manganeso es necesario en la formación de la clorofila, en la respiración y en el metabolismo del nitrógeno. Actúa como agente oxidante del hierro. Por esto una cantidad excesiva de Mn en la planta puede causar deficiencias de hierro. Deficiencia de Mn ocurre generalmente en suelos orgánicos y en suelos alcalinos o también fuertemente ácidos.

FERTILIZANTES SIMPLES

FERTILIZANTES NITROGENADOS.

Existen tres grupos de fertilizantes nitrogenados según la forma en que se presente el nitrógeno.

- A. FERTILIZANTES NITRICOS. (Nitrato de calcio, nitrato de sodio, etc.).
- B. FERTILIZANTES AMONIACALES. (Sulfato de amonio, cloruro de amonio, amoniaco anhidro, soluciones amoniacales).
- C. FERTILIZANTES AMIDAS. (Cianamida de calcio, úrea, úrea formal, debido, etc.).

Además de éstos existen otros fertilizantes cuyo contenido de nitrógeno se presenta tanto en forma nítrica como amoniacal (Nitrato de amonio).

En 1913 alrededor del 50% de N de los fertilizantes mezclados procedía de fuentes orgánicas; para 1951 era menor del 4%. Actualmente casi todo el nitrógeno de los abonos mezclados procede de materiales inorgánicos.

- A. FERTILIZANTES NITRICOS: En general los fertilizantes nítricos gracias a la fácil traslocación y rápida absorción de los iones nitrato por la planta son apropiados para

BIBLIOTECA DE AGRICULTURA
ECONOMIA

el control rápido de las deficiencias de nitrógeno. Sin embargo, el principal problema es la lixiviación. Entre los principales fertilizantes nitrícos están los siguientes:

- a) Nitrato de Sodio.- Se obtiene en forma natural (Nitrato chileno o salitre) o sintético por la reacción del ácido nítrico en el cloruro de sodio. Las características están dadas en la Tabla 5.

TABLA 5. Propiedades del nitrato sódico.

Fórmula	NaNO ₃
Nitrogeno	16%
Sodio	26%
Solubilidad en el H ₂ O (30°C)	176 gr/100 gr. de H ₂ O
Humedad relativa crítica (30°C)	74%

- b) Nitrato de Calcio.- Es poco usado debido principalmente a su alta higroscopicidad. En general se obtiene por la reacción del carbonato de calcio y el ácido nítrico. La Tabla 6 muestra algunas propiedades de este producto.

TABLA 6. Propiedades del nitrato de calcio.

Fórmula	Ca (NO ₃) ²
Nitrógeno	15.5%
Calcio	36%
Solubilidad en H ₂ O160 gr/100 gr. de H ₂ O
Humedad relativa crítica (30°C)	4%

B. FERTILIZANTES AMONIACALES: Debido a la fijación del ión NH_4 en algunos suelos, los fertilizantes amoniacales son menos lixiviables que los nítricos. En general son de acción menos rápida que los nítricos.

a) Sulfato de Amonio.- Es el fertilizante amoniacal más importante. Algunas de las características más importantes se ven en la Tabla 7.

TABLA 7. Propiedades del sulfato de amonio.

Fórmula	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
Nitrógeno	20-21%
Solubilidad en el H_2O	100 gr/100 gr. de H_2O
Humedad relativa crítica	(30°C). 81%

b) Cloruro de Amonio.- Aunque su contenido de nitrógeno es del 26% su uso es restringido principalmente debido al alto contenido de cloro y la alta acidez que produce. Se lo usa para abonamiento de arroz en algunos países. La Tabla 8 muestra algunas propiedades.

TABLA 8. Propiedades del cloruro de amonio.

Fórmula	NH_4Cl
Nitrógeno	26%
Solubilidad	37/100
Humedad relativa crítica	(30°C). 77%

c) Amoniacó Anhidro.- La producción de amoniacó por la reacción del hidrógeno con nitrógeno atmosférico es la base de la industria de fertilizantes nitrógenados hoy día. En algunos países se usa como fertilizante inyectado a 6 pulgadas bajo la superficie del suelo y con equipo especial de aplicación. Es el fertilizante nitrógeno más barato. Su contenido de nitrógeno es del 82%. El principal problema es la aplicación y el hecho de que solo se puede usar en suelos sueltos y livianos.

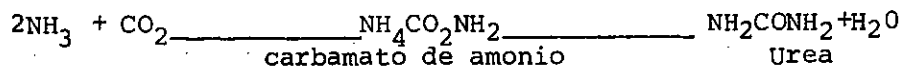
d) Agua Amoniacal.- De más fácil manejo que el amoniacó anhidro. Se prepara diluyendo NH_3 en H_2O . Generalmente el contenido de nitrógeno es del 20%. Se inyecta a dos pulgadas de profundidad para evitar pérdidas de amoniacó.

C. FERTILIZANTES AMIDOS: Dentro de este grupo las más importantes son: la úrea y la cianamida de calcio.

a) Cianamida de Calcio.- Producto con 21% de N se obtiene en horno eléctrico a partir del cal, coque y nitrogenado. La fórmula es CaCN_2 . Principalmente debido al alto costo de producción se usa muy poco como fertilizante.

b) Urea.- En general todos los procesos comerciales de obten-

ción de úrea están basados en la deshidratación, del carbomato de amonio. La reacción química es:



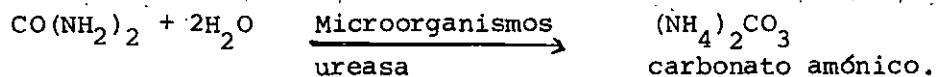
El Biuret ($\text{NH}_2\text{-CO-NH-CO-NH}_2$) se forma cuando la úrea o soluciones concentradas de úrea se exponen a temperaturas elevadas. Entre más baja temperatura en el proceso de prilado o cristalización de la úrea menos biuret se forma. Generalmente se garantiza menos del 0.3% de biuret para úrea cristalizada y 1% para úrea peletizada. Cantidades mayores del 0.25% de biuret son tóxicas para cítricos, cuando se aplica foliarmente. Para otros cultivos el mínimo contenido de biuret permisible está bien definido.

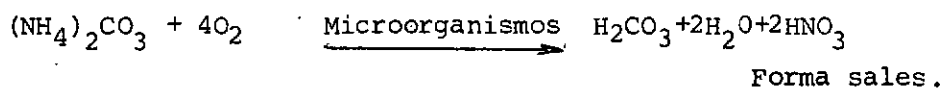
En la Tabla 9 aparece algunas de las propiedades más importantes de la úrea.

TABLA 9. Propiedades de la úrea, grado fertilizante.

Fórmula	NH_2CONH_2
% Nitrógeno	45-46
Solubilidad a 25°C	119 gr/100 ml de H_2O
Humedad relativa crítica (30°C)	72%

En el suelo la úrea sufre un proceso de hidrólisis antes de ser usada por las plantas:





Urea Formaldehído.- (38%N). Producto de lenta liberación de N.

Resulta de la reacción de la úrea con el formaldehído. Se usa en los U.S.A. principalmente para prados, ornamentales y en algunos cultivos de alto valor. Su precio es 3-4 veces mayor por unidad de nitrógeno que el procedente de nitrato de amonio o de úrea corriente.

Urea Recubierta.- Parece que ha dado buenos resultados la úrea recubierta de azufre; alrededor del 10-15% del peso total es usado, esto es, por tonelada de producto hay 100-150 Kgr. de azufre.

OTROS FERTILIZANTES NITROGENADOS :

A. NITRATO DE AMONIO.- Considerado por algunos como uno de los fertilizantes nitrogenados más importantes. Se puede usar para aplicación directa o para preparar soluciones nitrogenadas. Sin embargo, tiene problemas de riesgo de explosión y alta hidroscoicidad lo que induce compactación. El contenido de nitrógeno del nitrato amónico cristalizado es del 35%; sin embargo, el nitrato comercial es solo del 30-32% N. Comercialmente se obtiene por la reacción entre el ácido nítrico y el amoníaco. En el almacenamiento de este producto se deben tener cuidados especiales.

contra el fuego y los peligros de explosión. Igualmente se debe evitar problemas de compactación limitando la humedad libre a 0.3% o menos, y previniendo amplias fluctuaciones de temperatura y humedad en las bodegas. La Tabla 10 muestra algunas propiedades.

TABLA 10. Propiedades del Nitrato Amónico grado fertilizante.

Fórmula	NH_4NO_3
% Nitrógeno33%
Solubilidad en H_2O a 20°C187 gr/100 gr. de H_2O
Humedad relativa crítica a 30°C . . .	59%

B. SOLUCIONES NITROGENADAS.- Es una solución acuosa de amoniacal, nitrato de amonio, o úrea, separadamente o en combinación y usadas para aplicación directa o para manufactura de fertilizantes mezclados. Las soluciones nitrogenadas tienen ciertas ventajas sobre los fertilizantes sólidos. Muchas de las soluciones tienen un contenido más alto de nitrógeno y costo más bajo por unidad de nitrógeno que los sólidos; pueden aplicarse al suelo sin problema de compactación o polvo. La facilidad en el manejo es su principal ventaja. Se deben tener consideraciones respecto al clima principalmente con grandes bajas de temperatura que ocasiona precipitación de sales, o temperaturas elevadas que aumenta peligrosamente la presión.

Se clasificarán en:

- (1) Agua amoniacal.

- (2) Soluciones con amoniaco + nitrato amónico.
- (3) Soluciones que contienen amoniaco y úrea.
- (4) Soluciones que contienen amoniaco, nitrato de amonio y úrea.
- (5) Soluciones de nitrato de amonio solo o con úrea. En la Tabla 11 aparece la composición de algunas soluciones nitrogenadas. El sistema de designación muestra primero el % de N total multiplicado por diez, luego en paréntesis los respectivos porcentajes de amoniaco, nitrato de amonio y úrea.

TABLA 11. Composición de algunas soluciones nitrogenadas.

Designación de la solución	N-Total (%)	NH ₃	-NH ₄ NO ₃	- Urea (%)	H ₂ O (%)
370 (17-67-0)	37	17	-67	- 0	17
490 (34-60-0)	49	34	60	0	6
460 (37-0-33)	46	37	--	33	30
350 (20-0-41)	35	20	--	41	40
440 (28-40-15)	44	38	40	15	17
490 (33-45-13)	49	33	45	13	9
160 (0-46-0)	16	--	46	- 0	54
320 (0-44-35)	32	--	44	-35	20

FERTILIZANTES FOSFORICOS.

El fósforo es absorbido de la solución del suelo por las plantas como ión fosfato ($H_2PO_4^-$ o HPO_4^{2-}).

La cantidad total de fósforo en un fertilizante fosfatado es fá-

cilmente determinable. Sin embargo, la cantidad total de fósforo guarda a menudo poca relación con el verdaderamente disponible para la planta, el cual es más difícil de medir químicamente. Se ha aceptado como disponible para la planta al soluble en agua más el soluble en citrato.

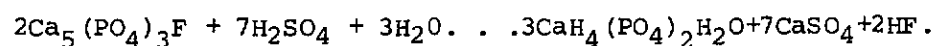
Sin embargo, debe entenderse que ningún método de laboratorio dará resultados de alta correlación para con la respuesta del cultivo para todos los fertilizantes fosforados bajo todas las condiciones de crecimiento de la planta. Por ejemplo características físicas como tamaño del gránulo y método de aplicación en el suelo pueden afectar la respuesta. Tales factores no pueden ser reflejados en el análisis de laboratorio de una muestra de fertilizante pulverizada por ejemplo.

Los fertilizantes fosfóricos pueden dividirse en tres grupos según sea su forma de combinación y grado de aprovechamiento que presenta su fósforo.

1. Fertilizantes Fosfóricos Solubles en H₂O.- Entre éstos encontramos:

a) Superfosfato simple (16-21% P₂O₅ de fósforo disponible).

Se obtiene tratando la roca fosfórica finamente molida con ácido sulfúrico con lo cual se obtiene fosfato monocálcico:



El producto contiene alrededor de 21% de P_2O_5 total, del cual 20% es disponible (Sol. agua + Sol. citrato) y 17.5 soluble en H_2O . Además contiene alrededor de 12% de S. La higroscopicidad es baja pues su humedad relativa crítica es de 94% a $30^{\circ}C$. Además la acidez libre de un superfosfato bien curado es de 1-2% de H_2SO_4 .

- b) Superfosfato Triple. Producto obtenido por el tratamiento de la roca fosfórica finamente pulverizada con suficiente ácido fosfórico para convertir el fósforo de la roca y del ácido en fosfato monocálcico. Normalmente contiene del 43-48% de P_2O_5 disponibles. Cuando se usa ácido superfosfórico (76% de P_2O_5) se puede obtener superfosfato hasta del 54% de P_2O_5 disponible. La reacción es:



- c) Fosfatos Amónicos. Obtenidos por la reacción de ácido fosfórico con amoníaco. Se obtiene el fosfato mono-amónico (11%N y 48% P_2O_5) y el fosfato diamónico (18-21% de N y 48-53% de P_2O_5).

2. Fertilizantes Fosfóricos Solubles en Citrato.- Entre estos encontramos los siguientes:

- a) Escorias Básicas Thomas (14-18% P_2O_5). El fósforo está presente principalmente

como fosfato tetracálcico cuya fórmula es $4CaOP_2O_5$. El fósforo es soluble en citrato de amonio o ácido cítrico.

b) Fosfato Bicálcico. Con 39% P_2O_5 obtenido tratando carbonato cálcico con ácido fosfórico, o por tratamiento de la roca fosfórica con ácido nítrico y amoniaco.

c) Fosfato de Rhenania. Con 23-26% de P_2O_5 se obtiene por la calcinación de una mezcla de carbonato de sodio, roca fosfórica y sílice.

d) Harinas de Huesos. Contiene alrededor de 28% de P_2O_5 total del cual alrededor del 50% es soluble en citrato.

3. Fosfato con P_2O_5 Insoluble en Agua y Citrato.- Bajo este grupo están las rocas fosfóricas con contenido total de P_2O_5 de 14-33%. Roca finamente molida puede dar respuestas en suelos fuertemente ácidos así como en aquellos suelos ácidos orgánicos especialmente a largo plazo. El aprovechamiento de su fósforo puede incrementarse si se las entierra con el arado en compañía de abonos verdes o materias orgánicas.

VENTAJAS DE LOS FERTILIZANTES FOSFORICOS SOLUBLES EN H_2O .- Rápida absorción. En suelos fijadores de fósforo existe problema, el cual se reduce en parte aplicando el fertilizante en banda.

VENTAJAS DE LOS SOLUBLES EN ACIDO CITRICO.- Apropriado para suelos ácidos fijadores de P por formación de fosfatos de hierro y aluminio. Además su reacción básica y contenido de cal producen efectos favorables en suelos ácidos. En suelos lateríticos son particularmente eficaces.

FERTILIZANTES POTASICOS.

En general el potasio de los fertilizantes potásicos se presenta en forma soluble en agua de fácil disponibilidad para la planta. Sin embargo, se les clasifica según su contenido de K_2O y clase de anión acompañante. Los tipos de mayor importancia son:

1. Cloruro de Potasio:

Fórmula KCl
% K_2O 60%
Soluble en H_2O a $30^{\circ}C$ 35 gr/100 gr. de H_2O
Humedad relativa crítica $30^{\circ}C$ 84%

2. Sulfato de Potasio:

Fórmula K_2SO_4
% K_2O 48-52%
Humedad relativa crítica * . . . $30^{\circ}C$ 96%

El sulfato de potasio se obtiene por reacción del KCl con H_2SO_4 ; o también por reacción de la Langbeinita ($K_2SO_4-2MgSO_4$) con cloruro de potasio.

* Humedad relativa crítica: Cuando es inferior a la humedad relativa de la atmósfera en contacto la substancia absorberá agua; cuando es superior la substancia perderá agua.

3. Sulfato Doble de K y Mg (26-30% de K_2O y 9-12% MgO) llamado Sulpomag se puede usar como fuente de Mg y K.

FERTILIZANTES COMPUESTOS

En general son fertilizantes que contienen simultáneamente los nutrientes N-P-K. Su elaboración puede realizarse siguiendo dos caminos:

- a) Mediante mezclado mecánico de los fertilizantes simples lo cual constituye lo que se llama "Fertilizantes Mezclados". Puede hacerse de materiales granulados o en polvo.
- b) Mediante reacciones químicas en equipo especial, lo cual constituye el llamado "Fertilizante Complejo" y en el cual un gránulo contiene los elementos garantizados. Dentro de estas dos categorías el fertilizante complejo generalmente viene granulado. Por su parte el fertilizante "mezclado" puede presentarse en polvo o granulado. El fertilizante en polvo generalmente presenta problemas de compactación. El granulado presenta problemas de segregación si los gránulos no son aproximadamente del mismo tamaño.

COMPATIBILIDAD: No todos los fertilizantes simples son compatibles entre sí, debiendo observarse las siguientes reglas generales:

1. Debe evitarse mezclar fertilizantes amoniacales con fertilizantes de reacción alcalina (cal, escorias básicas, cianamida de calcio) ya que pueden ocurrir pérdidas de N como NH_3 .
2. Ninguno de los fertilizantes fosfóricos solubles en H_2O (superfosfatos) deben mezclarse con fertilizantes que contengan cal libre, la cual puede insolubilizar el P.
3. Fertilizantes higroscópicos (Nitrógeno, úrea, algunas sales potásicas) se compactan después de mezclados. Solo se deben mezclar inmediatamente antes de usarlos.
4. El superfosfato de reacción ácida puede poner en libertad ciertos ácidos de determinados fertilizantes (nitratos y cloruros) lo cual perjudica el equipo o material en contacto con él.

SULFATO DOBLE
DE POTASIO Y
MAGNESIO

- Cloruro de Potasio
- 2 Sulfato de Potasio
- 3 Sulfato de Amonio
- 4 Nitrate de Amonio Cálcico
- 5 Nitrate de Potasio y Sodio
- 6 Nitrate de Calcio
- 7 Cianamida de Calcio
- 8 Urea
- 9 Superfosfato, fosfato Triple
- 10 Fosfato de Amonio
- 11 Escorias Básicas
- 12 Fosfatos Rhenania
- 13 Hiperfosfatos
- 14 Carbonato de Calcio

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1 Cloruro de Potasio
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2 Sulfato de Potasio
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	3 Sulfato de Amonio
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4 Nitrate de Amonio Cálcico
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5 Nitrate de Potasio y Sodio
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	6 Nitrate de Calcio
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7 Cianamida de Calcio
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	8 Urea
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	9 Superfosfato, fosfato triple
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	10 Fosfato de Amonio
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	11 Escorias Básicas
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	12 Fosfatos Rhenania
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	13 Hiperfosfatos
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	14 Carbonato de Calcio

SULFATO DOBLE
DE POTASIO Y
MAGNESIO



FERTILIZANTES FACTIBLES DE MEZCLARSE



FERTILIZANTES FACTIBLES DE MEZCLARSE CORTO TIEMPO ANTES DE USARSE



FERTILIZANTES INFECTIBLES DE MEZCLARSE (POR RAZONES QUIMICAS)

La harina de hueso, empleada frecuentemente como "sesecativo," puede mezclarse con todos los demás fertilizantes.

Por tanto la fórmula para preparar el abono 5-25-5 será:

25 Kg. de sulfato amónico (20% N)

62,5 Kg. de superfosfato (40% P_2O_5)

8,3 Kg. de KCl (60% K_2O).

95,8 _____ Total.

Los 4,2 Kg. restantes se completan con un material inerte llamado "relleno", se puede usar:

cascarilla de arroz

arena

cascarilla de café

caliza granulada.

Todo se mezcla bien para obtener una mezcla uniforme.

EJEMPLO 2.

Preparar 100 Kg. del abono 5-24-6 con los siguientes materiales:

Fosfato de amonio: 10% de N y 40% P_2O_5

Sulfato de potasio: 48% K_2O

La mezcla debe tener en 100 Kg. lo siguiente:

5 Kg. de N

24 Kg. de P_2O_5

6 Kg. de K_2O

Calculamos:

En 100 de fosfato _____ $48P_2O_5$
X 24 X = 50

Para N:

En 100 de fosfato hay 10 N
X 5 X = 50

Para K_2O :

En 100 de sulfato 48 de K_2O
X 6 X = 12,5

Por tanto la fórmula será:

50	kg de fosfato amónico	Los 50 kg de fosfato amónico
12,5	kg de Sulfato de potasio	suministran el nitrógeno y fósforo.
37,5	kg "relleno"	
Total.	100 kg

Recordar que es conveniente tratar de usar material del mismo tamaño de partículas para evitar el problema de la segregación.

DESVENTAJAS DE LOS FERTILIZANTES COMPUESTOS: No permite la aplicación de nutrientes individuales en diferentes épocas y métodos, lo cual frecuentemente

son factores limitantes de la eficacia del fertilizante.

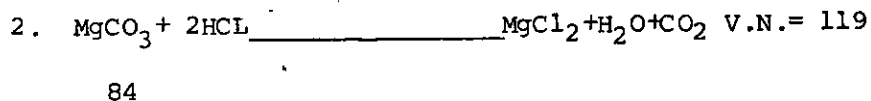
El costo por unidad de nutriente es generalmente mayor que el de los simples.

VENTAJAS:

1. La presencia de los tres elementos evita errores.
2. Bajos costos de aplicación.
3. Ahorro de espacio y costos de almacenamiento. Algunas veces buenas propiedades físicas.
4. Se pueden esparcir mejor y con mayor homogeneidad.

MATERIALES DE ENCALAMIENTO.

Se refieren principalmente a los carbonatos, óxidos e hidróxidos de calcio y de magnesio. Su valor de neutralización varía de un material a otro, así:



La Tabla 12 muestra el valor neutralizante de algunos materiales usados para enmiendas.

TABLA 12. Valor de neutralización (%) de algunos materiales.

Material	Valor de Neutralización (%)
CaO	179
Ca(OH) ₂	136
CaMg(CO ₃) ₂	109
CaCO ₃	100
MgCO ₃	119
CaSiO ₃	86

Por tanto 830 Kg. de MgCO₃ equivalen a 1000 Kg. de CaCO₃ en su efecto de modificar el pH; o también 560 Kg. de CaO equivalen a 1000 Kg. de CaCO₃ para el mismo fin.

FINURA DE LA CAL.

El tamaño de partícula de la cal tiene marcada influencia sobre la velocidad de reacción de éstos en el suelo, y por tanto sobre la modificación del pH y reducción del aluminio intercambiable del suelo. Materiales gruesos (4-8 mallas) casi no tienen ningún efecto. Por su parte material con tamaño de partícula inferior a 30 mallas reacciona rápidamente.

CONTENIDO DE CARBONATOS.

Es otro factor importante. Generalmente calizas con menos del 70% de carbonatos no son recomendables.

ACIDULACION DEL SUELO.

En ciertos casos es necesario aumentar la acidez del suelo, esto

es, disminuir el pH. Suelos con problemas de salinidad y alcalinidad (cuando existen sales insolubles de Mg, Ca y Na) requieren ser tratados con sustancias tales como azufre y sulfato de calcio. Generalmente se deben tener en cuenta las mismas consideraciones de tamaño de partícula que para la cal.

NICRONUTRIENTES.

Como fuente de elementos menores se utilizan sales inorgánicas como cloruros, sulfatos, nitratos, etc., o compuestos orgánicos metálicos llamados "quelatos". En ciertos casos el micro-elemento se puede mezclar con el fertilizante, para lo cual basta agregar a un peso determinado de un determinado fertilizante (Ej.; 10-30-10) una cantidad determinada del micro-elemento; se mezcla, se agrega un aceite derivado del petróleo, se mezcla nuevamente y se obtiene así una película a base del elemento menor para los gránulos de fertilizantes. Sin embargo, lo más común y seguro es emplear fuentes individuales del elemento o elementos cuya deficiencia se quiere corregir. Su uso debe ser muy cuidadoso para evitar problemas de toxicidades las cuales son más graves que las deficiencias.

CONCLUSIONES

Debido a escasez natural en el suelo, remoción del cultivo, aparición de nuevas variedades e híbridos de altos rendimientos, nuevas tecnologías en la fabricación de fertilizantes y ciertas prácticas de manejo del suelo, se ha aumentado cada día el consumo de fertili-

zantes para obtener buenas cosechas.

La industria suministra fertilizantes simples o compuestos mezclados o complejos en los grados más apropiados según el suelo y el cultivo. Por otra parte, como subproductos de las granjas se pueden emplear los estiércoles y el compost los cuales, en ciertos casos, dan excelentes resultados, principalmente debido a su efecto activo sobre la microbiología del suelo, suministro lento de nutrientes y mejoramiento de la estructura. Por otra parte, en la preparación de abonos mezclados, se debe tener en cuenta la compatibilidad de los componentes de la mezcla.

Los microelementos, cuando haya necesidad de aplicarlos, debe consultarse con un especialista para evitar problemas de toxicidad.

Las enmiendas (modificadoras del pH principalmente) deben llenar ciertas cualidades relacionadas especialmente con tamaño de partícula y concentración de material activo.

Los fertilizantes son una herramienta básica para la obtención de buenas cosechas cuando se usan correctamente. Sin embargo, su uso indebido, proporciona efectos deprimentes en los rendimientos lo cual se reflejará en pérdidas de dinero para el agricultor.

BIBLIOGRAFIA

1. BERGER, C.K. and P.F. PRATT. 1963. Advance in Secondary and micronutrient fertilization, pp 287-340. In: M.H. McVickar, G.L.Briger, and L.B. Nelson (Ed.), Fertilizer Technology and Usage. Braun-Brumfield, Inc., Ann Arbor, Michigan.
2. LORA, R.L. 1968. Availability and Distribution of zinc and other Micronutrient Cations in the corn plant as Influenced by Phosphorus Fertilization. North Carolina State University at Raleigh. Tesis de grado para Master of Science. 124 pgs.
3. SCOTT, W.C. 1968. Production of clear liquid fertilizers. C.D. -463. Tennessee Valley Authority, Muscle Shoals, Alabama.
4. SILVERBERG, J. 1967. Liquid and Suspensión Fertilizers Manufacturing Methods and Properties. CD-473. Tennessee Valley Authority, Muscle Shoals, Alabama.
5. SLACK, A.V. 1967. Chemistry and Technology of Fertilizers. Tennessee Valley Authority, Muscle Shoals, Alabama.
6. TISDALE, S. and W.L. NELSON. 1966. Soil Fertility and Fertilizers. The McMillan Company, New York.
7. United Nations Industrial Development Organization. 1967. Fertilizers Manual. United Nations publication Sales No. 67.II.B.1.

8. WHITE, W.C. 1964. Effects of fertilizer placement methods on crop yield and nutrient uptake, pp. 16-20. In: Soil Society of North Carolina. Vol. VII Proceedings.

PRINCIPIOS GENERALES SOBRE APLICACION DE FERTILIZANTES*

Gildardo Marín M. y
Rodrigo Lora S. **

INTRODUCCION.

Los fertilizantes se agregan al suelo para suplir los nutrientes que no están en cantidad adecuada para el normal desarrollo de las plantas.

Los factores que deben tenerse en cuenta al agregar fertilizantes son:

- 1. Sistema radicular de los diferentes cultivos.
- 2. Epoca de aplicación .
- 3. Método de aplicación.

1. SISTEMA RADICULAR.

Ya que las raíces son los órganos principales a través de los cuales la planta absorbe los nutrientes, es muy útil el conocimiento de los hábitos de crecimiento de éstas para desarrollar las prácticas sobre colocación de fertilizantes.

Si se desarrolla un sistema radicular vigoroso y superficial durante el período de crecimiento, los fertilizantes pueden aplicarse

* Contribución del Programa Nacional de Suelos del ICA

** Ingeniero Agrónomo M.S. Ingeniero Químico M.S. respectivamente del Programa Nacional de Suelos del ICA.

directamente debajo de la semilla. Si se forman muchas raíces laterales, durante el mismo período, es mejor colocar el fertilizante al lado y debajo de la semilla.

1.1. Diferencias entre especies.

El crecimiento y apariencia del sistema radicular de las plantas varía considerablemente de una especie a otra y aún dentro de especies, dependiendo del medio ambiente.

Por ejemplo, la papa tiene un sistema radicular mucho menos extenso que el maíz; por este motivo la papa utiliza los fertilizantes más eficientemente, cuando se colocan cerca de la semilla. El algodón y el tabaco, en las dos primeras semanas de su período vegetativo, poseen un sistema radicular muy poco extenso, por lo cual se recomienda colocar los fertilizantes debajo de la semilla. Luego cuando el sistema radicular se ha desarrollado más, en caso de necesidad, se puede hacer un sobreabonamiento en banda, especialmente con nitrógeno (16).

Los cereales de grano, como el trigo y la cebada, tienen un sistema radicular regularmente extenso, si se compara con el maíz. Por esa razón, responden a pequeñas cantidades de fósforo colocados cerca de la semilla, aún en suelos de contenido relativamente alto de este elemento (16).

En el café y el cacao existe, además de las raíces primarias y

secundarias, un finísimo sistema radicular superficial que alcanza su máximo desarrollo en un suelo con espesa cobertura orgánica vegetal. Este sistema tiene la función de absorber elementos nutritivos en el horizonte A. Se puede decir que más del 70 por ciento en peso de las raíces del cafeto está situado en los primeros 35 centímetros de suelo. La distribución horizontal de las raíces en árboles adultos es tal que a menos de 40 centímetros del tronco no hay raicillas, hecho que se debe tener en cuenta al abonar. (1,7,11).

En palma africana y algunos árboles frutales la mayor parte del sistema radicular activo se encuentra localizado en un estrato de suelo de 0 a 40 centímetros de profundidad (10).

En términos generales para cultivos con sistema radicular escaso, es decir, en que el volumen de suelo influido por las raíces es poco, se aconseja que el fertilizante se coloque lo más cerca a la semilla, dentro de los límites permisibles. Además debe tratarse de aplicar el fertilizante en el momento de la siembra, y en caso necesario, hacer un sobreabonamiento en el primer período de desarrollo.

2. EPOCA DE APLICACION.

El efecto total de una fertilización no depende solamente de su correcta aplicación y de su dosificación adecuada, sino también del suministro en el momento conveniente. Esto último es de particular importancia para los suelos con bajo contenido de nutrientes, así

como para aquellos cultivos cuya necesidad nutricional está limitada a un determinado período de tiempo. Sin embargo, debido al hecho de que los distintos nutrientes no son requeridos por la planta a un mismo tiempo, resulta imposible determinar una regla general al respecto.

La época de aplicación del fertilizante depende del suelo, el clima, la clase de nutrientes y la clase de cultivo. Con respecto al suelo, estos difieren enormemente en sus propiedades físicas; tales como textura, infiltración, permeabilidad y capacidad de retención del agua. Estos factores se deben tener en cuenta, principalmente en la lixiviación o lavado de nutrientes.

El clima es muy importante en cualquier consideración sobre aplicación de los fertilizantes. La cantidad de lluvia entre el tiempo de aplicación y el tiempo de utilización de los nutrientes por la planta afectará la eficiencia del fertilizante. La temperatura afecta la disponibilidad de ciertos elementos, principalmente en relación con su liberación de la materia orgánica. También afecta los procesos microbiológicos que están íntimamente relacionados con la disponibilidad y absorción de nutrientes.

La naturaleza del cultivo mismo determina la necesidad para aplicaciones fraccionadas del fertilizante. En pastos perennes es preferible hacer varias aplicaciones de nitrógeno durante el año. Por otra parte, en plantas de rápido crecimiento, como la mayoría de

las hortalizas, una sola aplicación en el momento de la siembra es adecuada. En el caso del arroz, se pueden hacer sobreabonamientos en cualquier época antes del período de máximo crecimiento, o sea, el espigamiento.

2.1. Fósforo.

Debido a que este elemento es relativamente inmóvil en el suelo, la cantidad total necesaria para la planta, puede aplicarse al tiempo de la siembra sin temor a pérdidas por lixiviación. Principalmente para cultivos anuales y de rápido crecimiento se debe considerar el contenido de fósforo disponible del suelo y la capacidad de fijación del mismo para la escogencia de los niveles de abono fosfórico que se deben aplicar.

2.2. Nitrógeno.

El nitrógeno, en forma mineral, es bastante móvil en el suelo; los nitratos son altamente solubles en agua, y además muy poco retenidos por el suelo. Por esta razón el fertilizante nitrogenado es conveniente aplicarlo fraccionado, principalmente al momento que más lo requiera la planta. El clima y el tipo de suelo tienen influencia en la época de aplicación. La cantidad y distribución de la lluvia es muy importante, desde el punto de vista de pérdidas por lixiviación. La temperatura es también importante ya que cuanto más elevada sea ésta, más rápida es la nitrificación de los fertilizantes amoniacales y orgánicos y por tanto las pérdidas por lixiviación pue-

den aumentar.

En suelos arenosos, con un horizonte B permeable, con la aplicación fraccionada de nitrógeno a maíz, se han obtenido los mayores rendimientos cuando la máxima dosis es aplicada en la época en que la planta alcanza una altura aproximada del alto de la rodilla. En suelos con un horizonte B más pesado, la aplicación al momento o después de la siembra puede ser igualmente efectiva. Sin embargo, el factor lluvia es importante. Colmenares y Millán (3) en experimentos realizados en un suelo franco-arcilloso de la serie Palmira no encontraron diferencias significativas en rendimientos de maíz cuando se aplicó nitrato de amonio en forma fraccionada a los 20 y 40 días después de la siembra, en comparación con la aplicación total a los 20 días de la siembra. Sin embargo, los rendimientos de la aplicación fraccionada se aumentaron apreciablemente cuando la lluvia en los primeros 30 días a partir de la siembra fue de 280 mm., lo cual se debe posiblemente a una mejor utilización del nitrógeno por la planta en las épocas de aplicación y a que la segunda aplicación fue eficientemente utilizada, pues no hubo efecto de lixiviación.

Actualmente en los Estados Unidos y otros países se está utilizando el amoniaco anhídrico, como fuente de nitrógeno. Puede aplicarse antes de la siembra, en el momento de sembrar (en banda, caso del maíz), o con ligeras modificaciones al momento de arar. Igualmente se están empleando las soluciones nitrogenadas que son mezclas de amoniaco y otras fuentes de nitrógeno, como nitrato de amonio, úrea

o sulfato de amonio en solución acuosa. Estas soluciones se aplican directamente al suelo o en el agua de riego por cualquiera de los sistemas de riego, con excepción del de aspersion para evitar daño a la planta (15)

2.3. Potasio.

Comúnmente este elemento se aplica en el momento de la siembra junto con el fósforo y una parte de nitrógeno. Aun cuando el potasio no es tan lixiviable como el nitrógeno, debido a que ciertas arcillas pueden fijarlo; sin embargo, para suelos arenosos y para suelos livianos que posean arcillas del tipo 1:1 principalmente, el problema de lixiviación es grave para zonas de prolongada e intensa lluvia. En estos casos es aconsejable fraccionar la cantidad total del fertilizante potásico requerida.

2.4. Elementos menores y secundarios.

Los llamados elementos secundarios, calcio, magnesio y azufre, son requeridos por la planta en menor cantidad que los elementos primarios (2).

El encalado de suelos ácidos puede suplir el calcio y el magnesio cuando se utiliza la cal dolomítica. En caso de usar la cal común o calcítica, se deben usar sales inorgánicas de magnesio para corregir deficiencias de este elemento y además para mantener una adecuada relación calcio-magnesio. El azufre es suministrado al sue-

lo como yeso, azufre elemental, o como sulfato de amonio o de potasio. Si el calcio y el magnesio se aplican como cal, es decir, como correctivo, es conveniente hacer la aplicación aproximadamente un mes antes de la siembra. Cuando se utiliza una sal inorgánica de magnesio para corregir deficiencias, este material puede aplicarse al suelo en el momento de la siembra, o en aspersiones foliares en las primeras semanas de crecimiento de la planta en la dosis y concentración recomendadas. Igual consideración se puede hacer con el azufre, cuando se aplica bajo la forma de sulfato de amonio o de potasio.

Los micronutrientes requeridos en la nutrición de las plantas son boro, cobre, hierro, manganeso, molibdeno, zinc y cloro. Estos elementos son requeridos en cantidades muy pequeñas, pero no por eso dejan de ser esenciales para el normal crecimiento y desarrollo de la planta.

Los micronutrientes son aplicados como sales inorgánicas, quelatos (compuestos orgánico-metálicos), y vidrios especiales de una gran superficie de contacto a los que se les ha incorporado uno o más microelementos. Estos elementos son aplicados en aspersiones foliares, tratamiento de semilla o directamente al suelo. Su aplicación se hace en el momento de la siembra o en las primeras semanas de crecimiento, para el caso de cultivos anuales o de crecimiento rápido (2). Por ejemplo, en coliflor, en algunos suelos de la Sabana de Bogotá, se han logrado corregir deficiencias de molib-

deno con la aplicación de 2-3 Kg/Ha. de molibdato de sodio al suelo, aspersiones foliares de soluciones 0.15 por ciento de molibdato de sodio o por medio de tratamiento de la semilla con molibdato de sodio a amonio (6).

Para cultivos perennes se hacen aplicaciones algunas semanas antes de la iniciación de la floración.

Es importante tener en cuenta que antes de establecer un programa de aplicación de microelementos, se debe conocer qué deficiencias sufre la planta. En segundo lugar, se deben conocer las dosis y los materiales a usar. El rango entre deficiencia y toxicidad para estos elementos es muy estrecho. Como regla general, una toxicidad puede ser más grave y difícil de corregir que una deficiencia.

2.5. Época de aplicación de los fertilizantes para algunos cultivos.

La época de aplicación de los fertilizantes para algunos cultivos comunes se discute a continuación:

2.5.1. Arroz.

La época de aplicación de los fertilizantes en arroz es muy importante. En general, todo el fósforo y el potasio y una parte de nitrógeno deben aplicarse lo más próximo posible a la fecha en que se hace la siembra. La época en que se aplica el nitrógeno depende en gran parte del período vegetativo de la variedad.

Para variedades tempranas se recomienda distribuir la úrea total en dos aplicaciones: la primera entre 40 y 50 días después de la siembra y la segunda entre 60 y 70 días. En variedades tardías, la primera parte se aplica 50 a 60 días después de la siembra y la otra parte entre los 80 y 90 días (9).

En el cultivo de arroz es fundamental un adecuado suministro de fósforo y potasio, a fin de usar ampliamente los abonos nitrogenados, sin producir perjuicios en la planta.

2.5.2. Frutales.

Se recomienda aplicar el fósforo y el potasio en el momento del trasplante, mezclados muy bien con la tierra que va a llenar el hoyo. Después del primer año y cuando el árbol haya iniciado su crecimiento (aparición de nuevos brotes) se recomienda aplicar el nitrógeno por árbol cada 6 meses en un radio de 70 centímetros uniformemente distribuido (8). Los elementos menores, cuando sea necesario se aplican foliarmente. En caso de deficiencias reconocidas principalmente por análisis foliar, se hacen abonamientos periódicos para mantener el estado nutricional de la planta en buenas condiciones (5).

2.5.3. Cultivos en Rotación.

En muchos aspectos el problema de la distribución de los fertilizantes en la rotación es esencialmente el del tiempo de aplica-

ción. Cuando se usan solamente cantidades moderadas de fertilizantes, la práctica usual es aplicarlo en cada cosecha.

Algunas cosechas pueden ser más exigentes en su dependencia de un nutriente especial. Un ejemplo es el del maíz en una rotación de maíz-soya (4). En suelos medianamente fértiles de mayor respuesta al fósforo y al potasio se debe al maíz. De aquí que la práctica recomendada en una rotación de este tipo es aplicar todo el fertilizante al maíz. Por otra parte, en una rotación trigo-pastos, el uso más eficiente del fósforo y potasio se obtiene generalmente cuando la aplicación se hace al trigo. Sin embargo, debe recordarse que en un suelo bajo en P y K la soya y los pastos responden económicamente a la aplicación directa de los nutrientes (16).

En una rotación algodón-ajonjolí, se pueden aplicar cantidades altas de fósforo y potasio al algodón. En algunos casos puede haber un consumo de lujo de potasio por algunas cosechas cuando se aplican niveles muy altos. En la Sabana de Bogotá, según datos experimentales del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), la mejor utilización del fósforo en una rotación papa-trigo o papa-trigo-pastos es cuando la cantidad total de fósforo se aplica a la papa. El fósforo residual puede ser aprovechado por el trigo y luego por los pastos. En el Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias Palmira, se ha encontrado que el maíz en la rotación maíz-soya-maíz, no necesita de la aplicación de fertilizantes nitrogenados, cuando el maíz se siembra después de una buena cosecha de soya.

3. METODOS DE APLICACION DE LOS FERTILIZANTES.

En cualquier programa de fertilización se debe considerar que los nutrientes van a alimentar a la planta y no al suelo. Por tanto los fertilizantes se deben colocar donde mejor puedan ser utilizados por las plantas. Sin embargo, es conveniente tratar de mantener en el suelo un nivel satisfactorio de nutrientes para conservar su fertilidad y productividad.

Los métodos más comunes de aplicación de fertilizantes son los siguientes:

3.1. Aplicación al voleo.

Este método consiste en aplicar el fertilizante uniformemente sobre la superficie del suelo antes de sembrar.

Algunas veces se incorpora con discos, aunque es preferible hacerlo con arado. Generalmente se puede aplicar a mano o con una máquina esparcidora movida por un tractor o con un camión especialmente acondicionado. La aplicación al voleo se recomienda de acuerdo al cultivo, tipo de suelo y condiciones climáticas. Para forrajes ya establecidos o en el momento de su siembra, se aconseja la aplicación de fertilizante al voleo. En cambio para cultivos en surco como maíz, papa, hortalizas, etc., no es recomendable este método de aplicación, porque los fertilizantes estimulan el desarrollo de maleza entre los surcos.

3.2. Aplicación en banda.

Este método consiste en aplicar el fertilizante en banda a un lado o a ambos lados de la semilla o de la planta. Un equipo especial puede colocar el fertilizante en banda a una distancia de 5 a 8 cms. de la semilla o de la base de la planta y a una profundidad de 2 a 5 cms. por debajo de la misma. Generalmente este sistema estimula el crecimiento temprano de la planta lo cual da por resultado la formación de un gran número de hojas vigorosas, que influirá más tarde en una buena cosecha.

En el caso de aplicación de soluciones nitrogenadas o de amoníaco anhidro, debe colocarse el abono por lo menos a 15 cms. de la semilla para no causarle daño, por quemado o por inhibición de la germinación (15).

Por otra parte, el amoníaco anhidro debe colocarse de 10 a 15 cms. de profundidad para evitar pérdidas por volatilización y además para evitar daños el follaje de la planta cuando la aplicación se hace al cultivo en surcos ya establecidos (15).

3.3. Aplicación en el surco.

Cubre gran número de métodos. El fertilizante puede colocarse a máquina junto con la semilla en el surco como en el caso de cereales de grano pequeño. Cuando la dosis de fertilizante es alta, no es recomendable este método debido al daño causado a la semilla.

Otro sistema es colocar el abono en el fondo del surco, taparlo con tierra y luego colocar la semilla encima. En esta forma evita el daño del fertilizante por contacto directo.

3.4. Aplicación sobre la planta y al lado de la planta.

El primero de estos métodos se refiere a la aplicación de fertilizante al voleo en cultivos ya establecidos como cereales de grano pequeño y forrajes. En el segundo método, el fertilizante se coloca al lado de los surcos de un cultivo ya establecido como el maíz o el algodón. La aplicación del fertilizante puede hacerse simultáneamente en la cultivada.

3.5. Aplicación de fertilizantes fosfatados, nitrogenados y potásicos.

3.5.1. Fosfatados.

El fósforo es un elemento de muy poca movilidad en el suelo y, por tanto, debe colocarse en la zona de desarrollo radicular. Las aplicaciones superficiales después de la siembra son de poco valor para cultivos en hileras o surcos. Sin embargo, este sistema puede dar buenos resultados en la fertilización de cosechas forrajeras. La aplicación al voleo en potreros ya establecidos es posible porque parte del fósforo puede ser absorbido por las coronas de las plantas, así como por las raíces superficiales. Sin embargo, en ciertos casos especialmente de acuerdo a la fuente, puede presentarse fitotoxicidad.

La colocación del fertilizante en bandas tiende a reducir el contacto con el suelo, lo cual disminuye la fijación. Sin embargo, en suelos bajos en fósforo, es generalmente difícil obtener altos rendimientos cuando se hacen solo aplicaciones en bandas.

Para programas a largo plazo lo aconsejable sería subir el nivel de fósforo hasta un nivel medio con aplicaciones al voleo, utilizando fuentes de baja solubilidad en agua, como escorias Thomas, roca fósforica finamente molida, etc. y aplicando a banda el resto del fósforo requerido, utilizando una fuente más soluble como superfosfato simple o triple.

3.5.2. Nitrógeno.

En contraste con el fósforo, el nitrógeno principalmente bajo la forma de nitratos, es móvil en el suelo en forma vertical u horizontal. Por otra parte, el amonio puede ser retenido por los coloides orgánicos y minerales, con lo cual se reduce notablemente su lixiviación. Como se ha dicho antes, el nitrógeno es conveniente aplicarlo en forma fraccionada de acuerdo al clima y a las necesidades específicas del cultivo en su período vegetativo, para evitar pérdidas por lixiviación y para mantener un buen nivel de este elemento en la planta.

3.5.3. Potasio.

El potasio es mucho menos móvil en el suelo que los nitratos,

pero más móvil que el fósforo. Bajo condiciones de intensa y prolongada lluvia, pueden presentar pérdidas por lixiviación, especialmente en suelos con alto contenido de arena y con la fracción arcilla predominante del tipo 1:1. En estos casos es aconsejable fraccionar el fertilizante potásico.

En general, no conviene colocar el fertilizante en contacto con la semilla. El mejor método es en banda al lado y debajo de la misma. Por ejemplo en tabaco al momento del trasplante el fertilizante potásico debe aplicarse en bandas 8 a 10 cms. a cada lado y ligeramente por debajo de las raíces (18).

Para cultivos sembrados en surcos como el algodón, maíz, soya, fríjol, etc., el fertilizante debe colocarse en una banda continua a uno o ambos lados de la semilla a una distancia de 8 cms. y a una profundidad aproximadamente 5 cms. debajo de ella (16).

En café, cacao y algunos frutales, la aplicación de los fertilizantes en plantaciones ya establecidas se realiza, por lo general, al voleo sobre la superficie de goteo del arbusto a algunos centímetros de distancia del tronco. El fertilizante se debe incorporar con el suelo, teniendo el cuidado de no dañar las raíces ya que éstas en ciertos casos van hasta la superficie, principalmente cuando el suelo está cubierto de hojarasca (1,7,11,17,14).

3.6. Consideraciones generales sobre el método de aplicación.

Como resumen en relación a métodos de aplicación de fertilizantes es importante considerar los siguientes aspectos:

3.6.1. Algunas ventajas de la aplicación localizada o a banda son el aumento de la absorción de nutrientes, crecimiento más rápido de las plantas jóvenes, mínimo estímulo para las malezas y aumento en los rendimientos.

3.6.2. Puede haber ventajas en la aplicación al voleo. En suelos de alta fertilidad a menudo no hay diferencias con el método o banda. El daño debido a sales se evita. Generalmente, es más deseable en el caso de altas ratas de aplicación.

3.6.3. Las especies vegetales tienen diferente sistema radicular, diferente nivel de tolerancia a las sales y varían ampliamente en su respuesta a los métodos de aplicación del fertilizante.

3.6.4. El efecto del nutriente también varía. Por ejemplo, absorción y respuesta a fósforo puede ser mejor al fertilizante localizado, mientras que la aplicación al voleo es mejor para zinc.

3.6.5. Los materiales fertilizantes varían ampliamente en su valor de índice de sal y en las reacciones en el suelo.

3.6.6. La severidad del daño producido por las sales en el sistema de aplicación "localizado" depende principalmente de la cantidad aplicada, las sales envueltas, la lluvia y la textura del suelo.

3.6.7. La escogencia de un determinado método de aplicación o combinación de métodos, debe basarse en una comparación de las ventajas de los métodos para una situación particular. Casi sin excepciones, cada método tiene ventajas y desventajas.

4. FERTILIZANTES LIQUIDOS Y EN SUSPENSION.

El uso de fertilizantes líquidos o en suspensión permite considerable flexibilidad en su aplicación. Según J. Silverberg (15) un fertilizante "líquido" es un fluido en que los solutos están disueltos en agua.

Por otra parte una suspensión fertilizante es un fluido consistente de una fase líquida, en la cual se encuentran sólidos dispersos en la forma de materiales fertilizantes no disueltos, y en algunos casos materiales sin valor como fertilizante pero que son necesarios para evitar la precipitación de los nutrientes. Igualmente en ciertos casos se permite la adición de insecticidas y fungicidas compatibles. (12,15).

Entre las ~~des~~ventajas de estos fertilizantes está la facilidad de su manejo, menos mano de obra para su aplicación y producción, cualidades de almacenamiento, ausencia de segregación y compactación, así como rápida disponibilidad para la planta de los nutrientes presentes. Como desventajas más sobresalientes se puede anotar el bajo análisis y alto costo, debido principalmente a la

clase de materias usadas. Esto es válido principalmente para los fertilizantes líquidos. Las suspensiones fertilizantes pueden competir más favorablemente ya que se pueden usar materias primas de bajo costo y además se pueden fabricar fórmulas de alto análisis.

Los métodos generales de aplicación son: aspersiones foliares, aplicación a banda al suelo por medio de aspersores especiales o aspersión uniforme en el campo. En ciertos casos al agua de riego se adicionan las sales solubles principalmente las nitrogenadas o las potásicas.

Sin embargo, en este caso no se puede hablar de fertilizante líquido prefabricado, sino fabricado y aplicado simultáneamente.

Aplicaciones Foliars.-

En mayor o menor proporción, la mayoría de los nutrientes penetran la cutícula foliar y pasan a las células. Este método permite una utilización más rápida y eficiente de ciertos nutrientes por la planta y, por lo tanto, se pueden corregir deficiencias en menos tiempo que con aplicaciones al suelo. Cuando existen problemas de fijación de nutrientes en el suelo (algunos elementos menores principalmente), la aplicación foliar es un buen sistema de abonamiento. Es importante considerar que ciertos nutrientes penetran dentro de la hoja, pero no se traslocan al resto de la planta, en este caso la eficiencia del abono se reduce (19).

Debido a la concentración baja de las soluciones para evitar daño a la planta, solo se puede suplir un porcentaje relativamente bajo del requerimiento total del elemento nutritivo, con lo cual las respuestas son mínimas para micro-elementos (12). Con excepción del nitrógeno, esto es válido para los elementos primarios y secundarios. Además han de tenerse en cuenta ciertos factores como temperatura, humedad relativa, cantidad y tipo de adherente, tipo de planta, etc.

El mayor éxito de las aspersiones foliares ha sido en la aplicación de micro-elementos, debido a la pequeña cantidad que de estos necesita la planta.

5. CONCLUSIONES

En la agricultura moderna uno de los factores que interviene en la obtención de altos rendimientos es la fertilización. Sin embargo, debemos tener en cuenta que a su vez existen una serie de factores que inciden en la respuesta que se obtenga de la aplicación de fertilizantes. Es necesario considerarlos uno por uno y en conjunto para obtener buenos resultados.

BIBLIOGRAFIA

1. ANONIMO. 1953. Diario de nutrición del cafeto. Boletín Informativo, Cenicafé 4 (37):24-28. Chinchiná.
2. BERGER, C.K. and P.F. PRATT. 1963. Advance in secondary and micronutrient fertilization, pp 287-340 In: M.H. McVickar, G.L., Bridger, and L.B. Nelson (Ed.). Fertilizer Technology and Usage. Braun-Brumfield, Inc., Ann Arbor, Michigan.
3. COLMENARES, J. y M. MILLAN. 1966. Aplicación total y fraccionado de nitrato de amonio al maíz (Zea-Maíz L.) Facultad de Ingeniería Agronómica, Palmira. Tesis de grado, 69p.
4. GOMEZ, J.A. 1968. Informe sobre rotación con soya o alfalfa en la producción del maíz. Agric. Trop. (Colombia) 24:204-220.
5. LORA, R.L. 1968. Availability and Distribution of zinc and other Micronutrient Cations in the Corn Plant as Influenced by Phosphorus Fertilization. North Carolina State University at Raleigh. Tesis de grado para Master of Science. 124p.
6. LORA, R.L. y F. HIGUITA. 1969. Respuesta de la coliflor a la cal y al molibdeno. Agric.Trop. (Colombia) 25:437-447.
7. MACHADO, A. 1958. Algunos resultados experimentales con fertilizantes en cafetos. Cenicafé 9(78):157-198.

8. MARIN, G. 1968. Recomendaciones tentativas de fertilizantes y cal para diversos cultivos de acuerdo al análisis de suelos. I aproximación. Revista ICA 5(2): 91-102. Bogotá, Colombia.
9. MARIN, G. y M. ROSERO. 1968. Análisis de suelos y la fertilización del arroz. Agric. Trop. (Colombia) 24:404-404.
10. MAZANI, B. 1963. Plantas oleaginosas. Salvat Editores S.A. Barcelona (España) 433p.
11. NASTI, J. 1953. Cacao, café y té. Salvat Editores S.A., Barcelona (España) 687 p.
12. PARRA, L.A. 1968. Fertilización foliar en papa. Facultad de Agronomía de Bogotá. Universidad Nacional. Tesis de grado, 47 p.
13. SCOTT, W.C. 1968. Production of clear liquid fertilizers C.B. Tennessee Valley Authority, Muscle Shoals, Alabama.
14. SCHNEIDER, G.W. y C.C. Scarborough 1961. Cultivos de frutas frutales Editorial Continental S.A., México 22, D.F. 445 p.
15. SILVERBERG, J. 1967. Liquid and Suspension Fertilizers Manufacturing Methods and Properties. CD 473. Tennessee Valley Authority, Muscle Shoals, Alabama.
16. TISDALE, S. y W.L. NELSON. 1966. Fundamentals of fertilization pp.499-553. In: Soil Fertility and Fertilizers. The McMillan Company, New York.

17. WALTER, D.R. 1961. Fertilization of apple tree. Leaflet No. 195. N.C. Agricultural Extension Service. Raleigh U.S.A.
18. WHITE, W.C. 1964. Effect of fertilizer Placement Methods on Crop Yields and Nutrient Uptake, pp. 16-28. In: Soil Society of North Carolina. Vol. VII Proceedings.
19. WITWER, S.H., M.J. BUKOVAC, and H.B. TUKEY. 1963. Advances in foliar Feeding of plant Nutrients, pp 429-455 In: M.H. McVikar, G.L. Bridger, and L.B. Nelson (Ed.). Fertilizer Technology and Usage. Braun-Brum-field, Inc. Ann Arbor. Michigan.

gdeb

LA SALINIDAD Y ALCALINIDAD EN LOS SUELOS

Arturo Mendoza M.*

ORIGEN DE LA SALINIDAD.

Los suelos afectados por exceso de sales se encuentran en su mayor parte, en las zonas áridas y semiáridas del mundo. Estas zonas están localizadas generalmente en los continentes dentro de las latitudes 56° sur y 59° norte y de las longitudes 120° oeste y 150° este. Estas zonas ocupan más de la tercera parte del área del mundo, es decir aproximadamente 686 millones de hectáreas, de las cuales más o menos 256 millones de hectáreas son desérticas.

Las sales solubles del suelo consisten principalmente de los cationes sodio, calcio y magnesio, y de los aniones cloruro y sulfato; y en cantidades menores el cation potasio y los aniones bicarbonato, carbonato y nitrato; dos constituyentes menores que ocasionalmente son importantes por su toxicidad son el litio y el boro. Estas sales provienen de la meteorización de los materiales primarios del suelo y de las rocas expuestas de la corteza terrestre.

Aunque la meteorización de los minerales primarios es la fuente indirecta de casi todas las sales solubles, hay pocos ejemplos en los que haya acumulado suficiente cantidad de sal de este origen para for-

* Ing. Agr. Programa Suelos C.N.I.A. "Palmira". Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).

mar un suelo salino. Los suelos salinos generalmente se encuentran en áreas que reciben sales de otras localidades, siendo el agua el principal factor de acarreo. El océano puede ser la fuente de sales en aquellos en los que el material original constituido por depósitos marinos que se asentaron durante períodos geológicos antiguos y que a partir de entonces han emergido. El océano es también la fuente de sales en los suelos bajos que se encuentran a lo largo de las costas. Sin embargo, es más común que la fuente directa de estas sales sean las aguas superficiales y también las subterráneas, ya que las contienen disueltas y su concentración depende del contenido salino del suelo y de los materiales geológicos que han estado en contacto con estas aguas.

En nuestro país se presentan suelos afectados por exceso de sales. Quizás el más conocido es el Distrito de Saldaña-Cuello. Parece que las sales de la zona tuvieron su origen en la meteorización del material parental compuesto por aluviones tobáceos. La salinización se vio favorecida por el mal manejo del riego y la carencia de redes de drenajes.

En el Valle del Cauca, en la parte correspondiente a la terraza baja se encuentran suelos salinos, suelos sódicos y suelos salino-sódicos. Las sales en el Valle se presentan provenientes de la descomposición de las rocas básicas de la cordillera central. Los productos de la descomposición son arrastrados por las aguas subterráneas que en la terraza baja por estar cercanas a la superficie, su-

fren evaporación ascendiendo las sales con el agua que se evapora y se depositan en la superficie del suelo. También las inundaciones periódicas del Río Cauca han contribuido a la presencia de las sales.

En las zonas próximas a la desembocadura del Río Magdalena, departamento del Atlántico y Magdalena se encuentran muchos suelos afectados por salinidad. Es factible que las sales hayan sido arrastradas por el Magdalena por una parte, adicionadas a las que tienen origen marino. Los playones del Magdalena, así como los suelos próximos a las orillas de los cañones y ciénagas muestran siempre efectos de las sales.

SALINIZACION DE LOS SUELOS.

La salinización es el proceso por medio del cual se acumulan sales solubles en la zona de concentración radicular en el suelo.

Las aguas para riego contienen sales solubles que varían de 70 partes por millón (ppm) a 4.500 ppm y su aplicación manual puede variar de 92 a 154 cm. Por falta de lavados, la sal que contiene el agua de riego se deposita en la zona de concentración radicular en el suelo, debido a la evapotranspiración ó uso consuntivo. Si tomamos 0.2% de sales en base a suelo seco como límite entre un suelo salino y uno no salino, y usáramos 1.50 mts. de agua de riego al año con una concentración de 100 ppm, y la zona radicular de un metro, tomaría 19 años para salinizar éste suelo. Si la concentración fuera de 500 ppm

tomaría aproximadamente 4 años para salinizar éste suelo hasta una profundidad de 1 metro. Esta es una situación idealizada pues los suelos casi nunca se salinizan uniformemente. La profundidad del suelo o la profundidad de las raíces del cultivo determinaría el número de años que se requerirían para salinizar un suelo si no existiese lavado.

Las condiciones de drenaje deficiente constituyen un factor que contribuye a la salinización de los suelos bajo riego. Cuando se cuenta con una capa freática elevada, entre 120 y 150cm. de la superficie del suelo, el movimiento ascendente del agua subterránea salina, combinada por evaporación del agua de riego aplicada, puede producir un suelo salino. En casos críticos las sales se pueden acumular en la superficie del suelo con pérdidas total de la producción.

La baja permeabilidad del suelo determinante de encharcamiento, puede deberse a una condición de textura extremadamente fina, hasta una profundidad inferior a la zona de concentración radicular, ó a la presencia de capas endurecidas que pueden estar constituidas por arcilla compacta ó una capa silícica dura.

SODIFICACION.

Es el proceso por medio del cual el contenido de sodio intercambiable de un suelo aumenta, causando la formación de un suelo sódico. Involucra tanto la salinización como el cambio de composición en sales acumuladas.

El calcio y magnesio son los cationes dominantes que se encuentran en los suelos normales de las zonas áridas. Sin embargo, a medida que las sales solubles de las aguas para riego se acumulan, aumentando su concentración en el suelo debido al uso consuntivo y a la falta de lavado, se presentan ciertos cambios de composición. Se sobrepasan los límites de solubilidad del sulfato de calcio, carbonato de calcio y magnesio, causando la precipitación de Ca y Mg. Esto a su vez origina el correspondiente incremento en la proporción relativa de sodio en la solución del suelo, ó sea, que el porcentaje de Na soluble aumenta. Debido al equilibrio dinámico entre los iones solubles y adsorbidos el Na sustituye parte del Ca y Mg, originalmente presentes en el complejo de intercambio del suelo. Generalmente la mitad o más de los cationes solubles deben ser sodio antes de que cantidades apreciables de éste ión sean adsorbidas por el complejo de intercambio catiónico. En algunos suelos salinos prácticamente todos los cationes solubles son sodio, y por tanto, el Na es el catión adsorbido en forma predominante.

Mientras se encuentran sales solubles en cantidades considerables en la solución del suelo, el suelo permanece floculado y permeable con pH menor de 8.5. Si las sales solubles se eliminan mediante lavados el suelo puede hacerse muy impermeable debido al efecto dispersante del ión sodio adsorbido en el complejo de intercambio. Parte del sodio se hidroliza formando trazas de hidróxido de Na y el pH aumenta con frecuencia hasta 10.

Los aniones asociados con el sodio son importantes en la formación de suelos sódicos. Las sales alcalinas de Na (bicarbonato, carbonato, silicato) favorecen la casi completa substitución de Ca por Na, debido a la baja solubilidad de las correspondientes sales de calcio. Inversamente en las sales neutras de sodio, sulfato y cloruros únicamente hay una substitución parcial de calcio por Na. Por lo tanto el grado de alcalinidad es más rápido para las sales básicas que para las sales neutras.

CAUSA DE LA REDUCCION DE CRECIMIENTO EN LAS PLANTAS.

Plantas que crecen en suelos salinos tienden a ser relativamente pequeñas, pero generalmente no hay síntomas distintivos en el follaje. En algunos casos las plantas tienen un color verde-azuloso más oscuro que plantas similares que crecen en suelos no salinos. El color del follaje resulta de un contenido más alto en clorofila y una cutícula más gruesa, ocasionalmente síntomas tales como: anaranjamiento de las puntas, márgenes y porciones interiores de las hojas, encartuchamiento de las hojas y clorosis incipiente se pueden observar. Pueden presentarse cambios morfológicos internos. En tomate por ejemplo, la proporción del tejido vascular o conductor se reduce, y el grosor de las paredes celulares en el tejido conductor se aumenta. Frecuentemente el grosor de las hojas aumenta.

Se han propuesto tres teorías para explicar los efectos perjudiciales de las sales: la teoría de la disponibilidad del agua, la teoría de la inhibición osmótica y la teoría de la toxicidad específica.

La reducción en crecimiento observado cuando el contenido de sales aumenta ha sido atribuido a la reducción de absorción de agua causado por efectos osmóticos de la reducción del potencial del agua en las cercanías de la raíz. Si el potencial del agua se reduce en el suelo, o en las soluciones en las cuales las plantas crecen, la diferencia de potencial -que es la fuerza impulsora para la absorción- se asume que se reduce, resultando en disminución de la absorción. Esta explicación asume que las raíces se comportan como perfectos osmómetros, pero se ha comprobado que esto es una simplificación cruda de la situación actual.

Cuando las plantas crecen en soluciones y se transfieren de soluciones diluidas a concentradas, al principio, por lo general se marchitan, pero después de un período corto de tiempo ellas se recobran al absorber sales, lo cual causa la disminución del potencial osmótico del tejido de la planta. Slatyer (1961) encontró que la turgencia se recobraba después de 28 horas en plantas de tomate en soluciones nutritivas a las cuales se había añadido suficiente nitrato de potasio, cloruro de sodio, o sucrosa para disminuir el potencial osmótico a -10 bars. La absorción de solutos fue tan grande que el potencial osmótico de las plantas en la solución concentrada de sales fue menor que ese de su substrato por la misma cantidad que el potencial de las plantas de control excedían al de la solución nutritiva. El marchitamiento inicial observado después del cambio brusco de las concentraciones del substrato puede evitarse mediante la concentración del subs-

trato añadiendo diariamente pequeñas cantidades.

Experimentos efectuados por Eaton (1942) con 6 especies de plantas sembradas en arena y soluciones nutritivas con potenciales osmóticos que iban de -0.7 a 6.0 bars mostraron que las diferencias en potencial osmótico entre el substrato y el de la savia de la planta tenían un promedio de 11 bars para todas las concentraciones del substrato. Así, las plantas en las soluciones más concentradas mantenían la misma diferencia en potencial de agua entre el substrato y las raíces, que las plantas en soluciones menos concentradas. (Ver Tala 1).

TABLA 1. Efectos de la presión osmótica de soluciones nutritivas sobre la presión osmótica de la savia de la planta.

Presión osmótica de la solución nutritiva atmósferas.	0,72	2,52	6,0
	Diferencia entre la presión osmótica de la solución y la savia de la planta.		
Sorgo	10,3	10,8	11,1
Alfalfa	13,0	12,6	10,4
Algodón	13,1	11,8	9,7
Cebada	9,2	12,4	14,7
Remolacha azucarera	12,8	13,8	15,0
Tomate	8,8	8,3	8,2
Promedio de la diferencia	11,2	11,6	11,5

Sin embargo, el crecimiento y la transpiración se disminuye en las plantas que crecían en las soluciones más concentradas. En vista a estas observaciones, la disminución en crecimiento de las plantas en un medio con potenciales osmóticos menores de - 2 ó 3 bars no se pue-

de atribuir solamente a la disminución de absorción de agua causada por la reducción de la fuerza impulsora del substrato al xilema de la raíz.

Realmente, hay reducción de absorción de agua a través de las raíces en soluciones concentradas. Hayward y Spurr (1943-1944) encontraron que la absorción del agua por las raíces de maíz en una solución con un potencial osmótico de 4.8 bars era solamente 12% del de una solución de 0.8 bars. Soluciones de sucrosa, manitol, sulfato de sodio, y cloruro de calcio con el mismo potencial osmótico, redujeron la absorción de agua en la misma magnitud. Sin embargo, raíces que habían sido de antemano acondicionadas absorbían considerablemente más agua que aquellas que eran llevadas de soluciones diluidas a soluciones concentradas sin haber sido acondicionadas. Se manifiesta de estos y otros experimentos que la permeabilidad de las raíces al agua debe disminuir en las soluciones salinas. Probablemente hay dos efectos en los substratos de alta concentración, uno a corto plazo, y el otro a largo plazo. Inmersión de raíces en soluciones con potenciales osmóticos de 2 ó 3 bars probablemente tienden a deshidratar la pared y membranas celulares, aumentando la resistencia al flujo del agua. Se encontró que a una pequeña reducción del potencial osmótico del substrato causaba reducción en la permeabilidad de las raíces. En períodos largos la elongación de la raíz se reduce, e incrementa la suberización, lo que da como resultado un sistema radicular más pequeño y una resistencia mayor al movimiento del agua,

del que se encuentra en soluciones diluídas. Sin embargo, la reducción de absorción de agua no es la causa principal de la reducción del crecimiento en substratos salinos. Las plantas que crecen en tales substratos, son muchas veces más suculentas que los controles, aunque tanto el peso de materia seca, como el peso de materia húmeda se reducen. Esto indica que las plantas no están sufriendo por deshidratación de la manera como sufren las que crecen en suelos secos. Además, las plantas sujetas a altas concentraciones de sales no se recobran rápidamente cuando son llevadas a condiciones normales, en cambio las plantas sujetas a altas tensiones en suelos secos pueden crecer más rápido que lo normal cuando se les aplica agua.

En un sentido general, la teoría de la disponibilidad del agua postula que la acción de las sales en suelos salinos es sobre el agua del suelo y que esta acción fuera de las plantas tiene efectos directos sobre el suministro de agua dentro de la planta. La evidencia anterior indica que la teoría de la disponibilidad del agua no se aplica, por lo menos en la forma como ha sido concebida originalmente.

TEORIA DE LA INHIBICION OSMOTICA

De acuerdo con ésta teoría, el crecimiento es inhibido por la absorción de un exceso de solutos del medio salino. La teoría postula que las sales actúan dentro de la planta, pero no especifican como se efectúa la inhibición al crecimiento.

TEORIA DE LA TOXICIDAD ESPECIFICA.

De acuerdo con ésta teoría, la salinidad del suelo tiene efectos perjudiciales en las plantas debido a la toxicidad de uno o más iones específicos que se presentan en exceso.

Si los efectos primarios y secundarios de varios solutos se pueden explicar con los efectos osmóticos de la solución externa, la relación entre la producción del cultivo y la succión del agua del soluto, sería independiente de la naturaleza del soluto. El resultado de un experimento para investigar este efecto usando iones que se encuentran comúnmente en exceso en suelos salinos, se muestra en la Figura 1. En este experimento se cultivaron frijoles en soluciones nutritivas, sin sales y con adición de varias sales. La producción de materia seca por planta se muestra en la gráfica, donde también aparece las succiones de las soluciones.

Las curvas de respuesta obtenidas con las adiciones de cloruro de sodio, sulfato de sodio, y cloruro de calcio son similares, aunque la curva para sulfato de sodio está generalmente por debajo de la de cloruro de sodio. Estos resultados no demuestran la existencia de diferencia entre estas sales, lo cual es lo que se esperaría encontrar si los efectos de varias sales se atribuyeran completamente a las propiedades osmóticas. Pero los resultados obtenidos con cloruro de magnesio y sulfato de magnesio, demuestran que estas sales tienen efectos que se diferencian de los de las otras 3 sales.

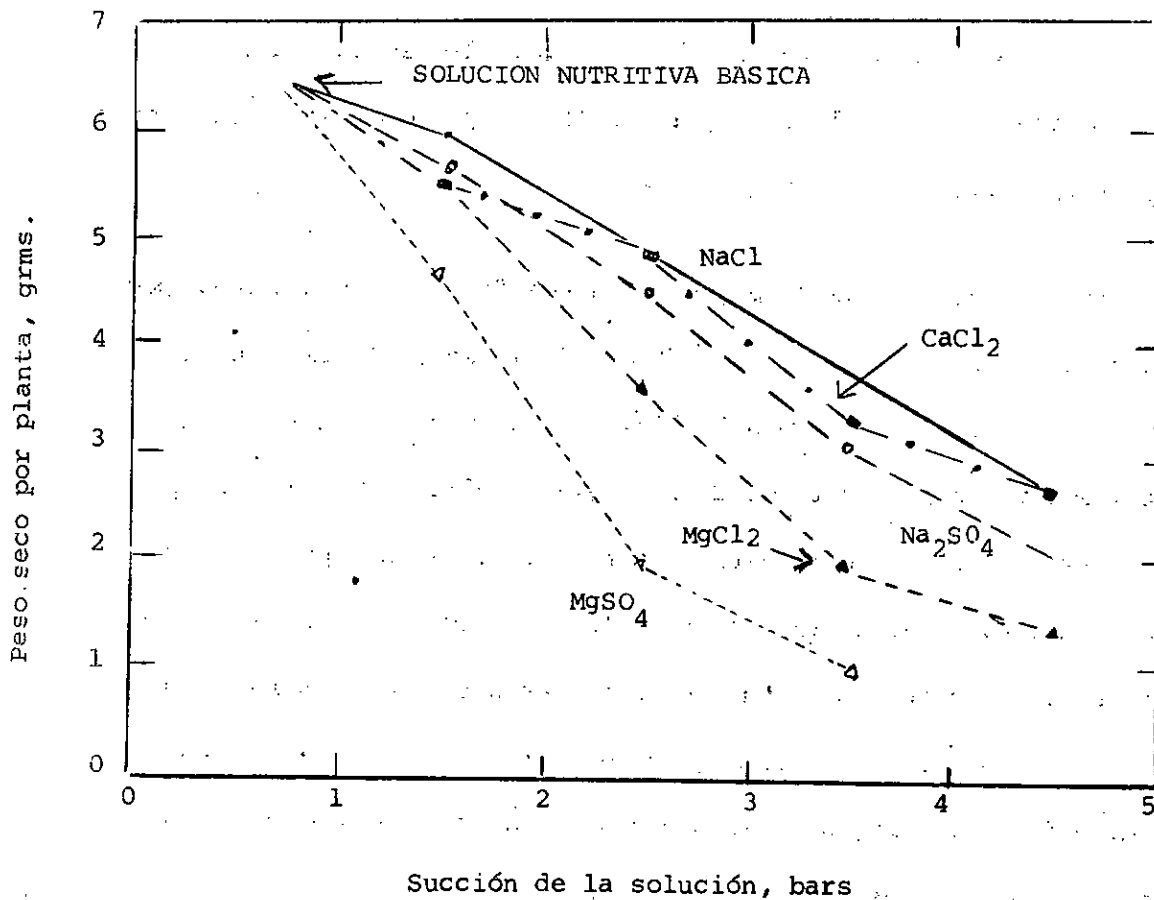


FIGURA 1. Producción de plantas de frijol versus succión de solutos en soluciones nutritivas con y sin adición de varias sales.

Tal vez la explicación de la obtención de la menor producción de las plantas con exceso de $MgCl_2$ y $MgSO_4$, que en las plantas con exceso de $CaCl_2$, $NaCl$, o Na_2SO_4 , es que el Mg tiene un efecto dañino que no fue compartido con Na ó Ca. Esta explicación está basada en el hecho de que el Mg estaba presente en las sales que produjeron menores producciones y no estaba presente en las sales en las cuales la producción fue mayor.

La explicación anterior involucra la asunción de que todos los factores y condiciones operaban de la misma manera tanto con la presencia de Mg como sin ella. Esta asunción puede no ser correcta. Por ejemplo, la Figura 1 muestra que la diferencia en producción entre las diferentes soluciones con exceso de Cl^- y SO_4^{4-} era mayor cuando el cation era Mg que cuando era Na. El efecto aparente del Mg, podría ser simplemente una deficiencia de calcio inducida al haber una exclusión del calcio en las plantas por la presencia excesiva de Mg. Si los efectos son consecuencia de una deficiencia de Ca inducida por el exceso de Mg, entonces hay dudas de que éste fenómeno puede ser catalogado como toxicidad del Mg.

Experimentos en cultivos de aguacates en el que se estudiaba los efectos de la toxicidad del Na y Cl y en el cual no había evidencia de la existencia de deficiencias inducidas de nutrientes se llevaron a cabo en el sur de California. Síntomas de quemadura de las hojas fueron relativamente severos en los cultivos de aguacates durante años secos, esto creaba la posibilidad de que un incremento de acu-

dos, localizados entre las venas y más o menos en la mitad entre el margen de las hojas y la vena central. Este síntoma se desarrollaba en las plantas que recibieron cantidades adicionales de NaSO_4 . El análisis de las hojas dió como resultado un contenido relativamente alto en Na. Estas hojas tenían un contenido en % más alto en sodio que las hojas de plantas que crecían con un exceso comparable de NaCl .

Para completar la investigación, se hicieron más muestras en cultivos comerciales y se coleccionaron hojas para análisis. Los resultados mostraban que el síntoma de quemadura de las puntas estaba asociado con el contenido de cloro en las hojas y el que mostraba lunares estaba asociado con Na. La sensibilidad poco común de los aguacates en suelos salinos por lo tanto parece que es una consecuencia de los efectos específicos de Na y Cl, los cuales son comúnmente encontrados en exceso en las sales que se presentan en suelos salinos.

Hay pruebas de los efectos específicos de Na, Mg, Cl^- , HCO_3^- y $\text{SO}_4^{=}$. Entre los cationes, los efectos parecen ser más frecuentes con Na que Ca. Entre los aniones, los efectos específicos parecen ser más frecuentes con Cl^- y menos con $\text{SO}_4^{=}$.

Al cloro se culpa más que a cualquier otro ión en el crecimiento pobre de las plantas en suelos salinos. Esta tendencia ha sido llevada a las prácticas de fertilización, donde el K_2SO_4 se prefiere al KCl , desde el punto de vista de calidad del producto.

El cloro frecuentemente aumenta la succulencia, lo que probablemente explica el por qué, los cultivadores de tomate y frutas dicen que son más firmes con KSO_4 que con KCl y que los repollos y las lechugas son más succulentas (por lo tanto de mayor calidad) con KSO_4 .

MEDIDAS DE SALINIDAD Y ALCALINIDAD

Los investigadores del Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos, en Riverside, California, han propuesto una clasificación de los suelos en cuatro categorías. (Criterio empleado se resume en la Tabla 2).

Como se muestra en la Tabla 2, los suelos se clasifican como salinos o no salinos de acuerdo a la conductividad eléctrica del extracto de saturación. Las medidas de conductividad se expresan generalmente en millimhos/cm.

La conductividad eléctrica del extracto de saturación es un índice del contenido de sales. Se ha encontrado una relación entre miliequivalentes de sal por litro y el de la conductividad específica en millimhos/cm. a 25°C. La relación es:

$$S = 10,37C^{1.065}$$

en donde:

S = miliequivalentes por litro

C = conductividad específica en millimhos/cm a 25°C.

6

$$\log S = 1,016 + 1,065 \log C.$$

La succión del agua del soluto en bar se puede obtener multiplicando la conductividad específica dada en millimhos/cm. por el factor 0.365. Un extracto de saturación con una conductividad específica de 4 millimhos/cm. corresponde por lo tanto a una concentración de sales de $10.37 \times 4^{1.065} = 45$ m.e./litro y a una succión del soluto de $4 \times 0.365 = 1.46$ bars ó 1.46×10^6 dinas/cm².

TABLA 2. Clasificación de suelos afectados por sales de acuerdo a sus propiedades químicas.

Suelo	Conductividad específica del extracto de saturación a 25° millimhos/cm.	Porcentaje de Na intercambiable
Salino	> 4	< 15
Salino-sódico	> 4	> 15
Sódico	< 4	> 15
Normal	< 4	< 15

El otro criterio empleado en la clasificación, es el del porcentaje de saturación de la capacidad de intercambio catiónico con sodio.

El porcentaje de saturación de sodio es un indicativo de ciertas condiciones nutricionales y condiciones físicas del suelo no favorables para el desarrollo de las plantas, que pueden existir en el suelo o que podrían desarrollarse.

La clasificación de los suelos en las 4 categorías que se muestran en la Tabla 2 ofrecen un punto de referencia para la discusión.

Sin embargo, se debe reconocer que ésta clasificación es arbitraria y tiene ciertas limitaciones.

SUELOS SALINOS.

Los suelos salinos contienen sales solubles en cantidades suficientes para interferir con el crecimiento de la mayoría de las plantas. De acuerdo con la clasificación del laboratorio de salinidad de los EE.UU., el extracto de saturación de un suelo salino tiene una conductividad específica mayor de 4 millimhos/cm. a 25°C. El porcentaje de sodio intercambiable es menor de 15. El pH es por lo general menor de 8.5.

SUELO SALINO-SODICO.

Los suelos salino-sódicos contienen sales solubles y sodio en cantidades suficientes para interferir con el crecimiento de la mayoría de las plantas. El extracto de saturación tiene una conductividad eléctrica mayor de 4 millimhos/cm. a 52°C. El porcentaje de Na intercambiable es mayor de 15%. El pH es generalmente menor de 8.5.

SUELOS SODICOS.

Los suelos sódicos contienen suficiente sodio para interferir con el crecimiento de la mayoría de las plantas, pero no contienen exceso de sales solubles. El extracto de saturación tiene una conductividad eléctrica menor de 4 millimhos/cm. a 25°C. El porcentaje de sodio

intercambiable es mayor de 15%. En ausencia de las sales solubles, el pH es generalmente entre 8.5 y 10. El pH alto resulta de la interacción del sodio intercambiable con el ácido carbónico, que se forma biológicamente, produciendo una mezcla de bicarbonato de Na y carbonato en la solución. Los iones de hidrógeno del ácido carbónico toman el lugar del Na que se libera del intercambio. A medida que el intercambio de Na continúa, el pH del suelo se disminuye; y si el ión que lo reemplaza es hidrógeno, el pH puede bajar de 7, antes de que el porcentaje de sodio intercambiable sea menor de 15%.

MEJORADORES QUIMICOS DE SUELOS SODICOS.

Tres clases de sustancias son usadas para reemplazar el sodio intercambiable:

1. Sales solubles de calcio (CaCl_2 , Yeso);
2. Acidos, ó formadores de ácidos (azufre, ácido sulfúrico, sulfato de hierro, sulfato de aluminio, cal-azufre).
3. Sales de calcio de baja solubilidad (roca caliza, dolomita, y subproductos de la cal usada en ingenios azucareros).

La elección entre estos materiales depende de su costo y de la naturaleza del suelo. Las dos primeras clases de mejoradores se usan en suelos que contienen carbonato de calcio y magnesio, el tercero no se usa en estos suelos. Si los suelos no contienen carbonatos de Ca y Mg, las 2 primeras clases de enmiendas son efectivas; la tercera es

efectiva si el pH es menor de 7.5. Si la cantidad de enmienda de la clase 2 que se requiere para reemplazar el sodio vuelve el suelo muy ácido (pH menor de 6 por ejemplo), una mezcla de la clase 2 con los de la clase 1 ó 3 se puede usar. Los materiales solubles pueden ser aplicados en el agua para riego, pero los otros materiales deben ser aplicados en el suelo.

CALCULOS DE CANTIDADES QUE SE DEBEN APLICAR.

Supóngase que en la capa de 0 -30 cm. de un suelo sódico se encuentra un 40% de sodio intercambiable y posee una capacidad de intercambio catiónico de 15 meq/100 grms. El contenido de sodio en meq./100 grms. de suelo sería:

$$\frac{40}{100} \times 15 \frac{\text{meq.}}{100 \text{ grs.}} = \text{Na} \frac{\text{meq.}}{100 \text{ grs.}}$$

Deseamos reducir el contenido de sodio al 10%, entonces tendríamos:

$$\frac{10}{100} \times 15 \frac{\text{meq.}}{100} = \text{Na} \frac{\text{meq.}}{100 \text{ grs.}}$$

o sea habría que reemplazar 4,5 meq. Na por 100 grs. de suelos

(6 $\frac{\text{meq.}}{100 \text{ grs.}} - 1,5 \frac{\text{meq.}}{100}$) ó de otra manera

$$\frac{40}{100} - \frac{10}{100} \times 15 \frac{\text{meq.}}{100 \text{ grs.}} = 4,5 \frac{\text{Na}}{\text{meq/grs.}}$$

Para reemplazar 4,5 meq de Na por 100 grs. se necesitan 4,5 meq de enmienda química/100 grs. Para calcular la cantidad de enmienda necesaria para una hectárea tenemos:

1. Peso de una hectárea de suelo a una profundidad de 0,30 cm. Asumamos una densidad aparente de 1,5 Ton/m³.

$$\begin{aligned} \text{Peso suelo} &= \text{Densidad suelo} \times \text{Volumen suelo} \\ \text{Peso} &= 1,5 \frac{\text{Ton.}}{\text{m}^3} \times 10.000 \text{ m}^2 \times 0,30 \text{ mts.} = 4,5 \times 10^3 \text{ Ton.} = \\ &4,5 \times 10^6 \text{ Kgs.} \end{aligned}$$

2. Cantidad de enmienda para reemplazar el Na.

Tenemos que reemplazar 4,5 meq Na/100 grs. de suelo, es decir necesitamos 4,5 meq de enmienda/100 grs. de suelo. Supongamos que contamos con yeso (CaSO₄, 2H₂O) 1 meq de yeso es igual a 86,09 miligramos; para 4,5 meq.

$$4,5 \frac{\text{meq}}{100 \text{ grs.}} \times 86,09 \frac{\text{miligramos}}{\text{meq}} = 387,40 \text{ miligramos de yeso/100 gramos de suelo.}$$

Si convertimos a Kg. de enmienda por Kg. de suelo tenemos:

$$\frac{387,40 \text{ mgs. de enmienda} \times 1 \text{ Kg./1} \times 10^6 \text{ mgs.}}{100 \text{ grs. de suelo} \times \frac{1 \text{ Kg.}}{1 \times 10^3 \text{ grs.}}} = 387,40 \times 10^{-5} \text{ Kg. de}$$

enmienda (Yeso)/Kg. de suelo.

La cantidad total de enmienda por hectárea sería:

$$387,40 \times 10^{-5} \frac{\text{Kg. enmienda}}{\text{Kg. de suelo}} \times 4,5 \times 10^6 \text{ Kg. de suelo} = 1.743,3 \times 10^1 = 17,433 \text{ Kg./Ha.}$$

o sean: 17,433 Ton/Ha.

Esta cantidad es en base de yeso 100% puro. Cuando no lo es hay que corregir para obtener el equivalente. Por ejemplo si el yeso es de 90% de pureza, la cantidad de éste material necesario sería de:

$$\frac{17,433}{0,9} = 19,37 \text{ toneladas de yeso de 90\% de pureza.}$$

Además debe entenderse, que en las condiciones mencionadas, no se reemplaza totalmente todo el sodio sustituible a la profundidad del suelo en que se basa la aplicación, pero sí la mayor parte. De manera general, se sugiere que la relación de aplicación del yeso encontrada, sea multiplicada por el factor 1,25 para compensar la falta de sustitución cuantitativa. En nuestro ejemplo entonces se necesitarán aproximadamente 24,21 Toneladas/Hectárea (19,37 x 1,25).

MANEJO DE SUELOS SALINOS O SODICOS.

Generalmente, las prácticas culturales tendientes a mejorar la permeabilidad ó a mejorar los riegos ayudan al control de la salinidad.

La selección del cultivo es un factor importante que afecta el control de salinidad. Las cantidades necesarias y la frecuencia de aplicación de agua y los métodos de distribución del agua varía con

los diferentes cultivos. Si las sales tienden a aumentar con un sistema de cultivo dado, el lavado puede ser llevado a cabo, y la salinidad controlada, cambiándose a otro cultivo que requiera mayor aplicación de agua, u otro cultivo que permita la inundación (arroz).

Los suelos salinos son mejorados mediante el establecimiento de drenajes artificiales si un nivel freático alto existe, y mediante lavados periódicos con agua de riego para remover el exceso de sales. El mejoramiento de los suelos sódicos requiere: (además de lavado y drenaje) el intercambio del sodio absorbido por calcio y el uso de prácticas que ayuden a desarrollar una estructura buena.

Drenajes adecuados son esenciales para el mejoramiento permanente de los suelos salinos y sódicos. Las operaciones de lavado y la aplicación de enmiendas químicas para reemplazar el sodio adsorbido, no serán efectivas a menos que el nivel freático permanezca lo suficientemente profundo para evitar el movimiento ascendente del agua.

En la selección de cultivos para suelos salinos, debe prestarse mucha atención a la tolerancia de los cultivos a las sales durante la germinación, debido a que el bajo rendimiento de los cultivos puede deberse a la mala germinación. Algunas plantas que son tolerantes a las sales durante su desarrollo, son muy sensitivas a la salinidad durante la germinación.

Entre las plantas muy tolerantes a la salinidad están: la palma datilera, espinacas, algodón, espárragos, pasto bermuda, etc. entre

las medianamente tolerantes: la lechuga, papas, cebollas, pepinos, trigo, avena, maíz, sorgo, arroz, etc., y entre las poco tolerantes: el pero, manzano, naranjo, toronja, ciruelos, duraznos, limón, aguacate, fresas, etc.

BIBLIOGRAFIA

1. EATON, F.M. 1942. Toxicity and accumulation of chloride and sulfate salt in plants. J. Agr. Res., 64: 357-399.
2. BLACK, C.A. 1968. "Soil-Plant Relationships". John Wiley and Sons. Inc. New York.
3. KRAMER, P.J. 1969. Plant and Soil Water Relationships: A modern synthesis. McGraw-Hill Book Company.
4. RUSELL, J.E. 1961. "Soil conditions and Plant Growth". Jarrold and Sons Ltd.
5. U.S. Department of Agriculture. 1957. "Soil" Yearbook. U.S. Government printing office.
6. U.S. Salinity Laboratory Staff. 1954. Diagnóstico y Rehabilitación de suelos salinos y sódicos.
7. SLATYER, R.O. 1961. Effects of several osmotic substrates on the water relationships of tomatos. Australian Jour. Biol. Sci. 14:519-540.

EL ANALISIS DE SUELOS COMO GUIA PARA HACER RECOMENDACIONES DE
FERTILIZANTES Y ENMIENDAS: 2a. aproximación

Gildardo Marín
Jaime Navas
Jairo Gómez

ADVERTENCIA: Las presentes recomendaciones de fertilizantes y enmiendas basadas en el análisis de suelos se han incluido en esta publicación con el objeto principal de someterlas a discusión con los Ingenieros Agrónomos de Asistencia Técnica. Es muy probable que las sugerencias dadas por ellos serán de mucho valor para hacer las modificaciones del caso, las cuales se publicarán posteriormente para ser distribuidas.

EL ANALISIS DE SUELOS COMO GUIA PARA HACER RECOMENDACIONES DE
FERTILIZANTES Y ENMIENDAS: 2a. Aproximación*

Gildardo Marín
Jaime Navas y
Jairo A. Gómez**

Los requerimientos de cal y fertilizantes varían de acuerdo con las condiciones del suelo, la clase de cultivo, el manejo y el clima. Las recomendaciones de cal y fertilizantes están basadas en el análisis de suelos, en las prácticas de cultivo, en el tipo de planta y en las respuestas obtenidas en ensayos de campo. En esta forma el análisis de suelos es una guía para la aplicación correcta de fertilizantes y enmiendas, pero no es la solución mágica para obtener mayores cosechas. Junto con las prácticas de fertilización, se debe usar semilla certificada, variedades apropiadas, preparar bien la tierra, sembrar a tiempo, aplicar riego suficiente y controlar plagas, enfermedades y malezas. En las Tablas 3 a 13 se presentan recomendaciones de fertilizantes para algunos cultivos en base al análisis de suelos. Los otros factores ya nombrados, y que influyen la recomendación, deben ser tenidos en cuenta por el Ingeniero Agrónomo de asistencia técnica para modificar o no la recomendación hecha por el laboratorio.

* Contribución del Programa de Suelos del Instituto Colombiano Agropecuario - ICA.

** Respectivamente: Principal III-21, Asociado IV-17, Principal III-25 del Programa Nacional de Suelos.

BASES PARA HACER LAS RECOMENDACIONES DE FERTILIZANTES Y CAL

NITROGENO.

Las prácticas de fertilización que se sugieren para el nitrógeno, basadas en el análisis de suelos, tienen en cuenta el contenido de materia orgánica, de arena y arcilla del suelo en la capa arable. Se requieren cantidades más altas en suelos arenosos que arcillosos con igual contenido de materia orgánica. Si sobre el suelo caen lluvias muy fuertes, inmediatamente después de la aplicación de fertilizantes nitrogenados, será necesario aplicar más nitrógeno para reemplazar el que se pierde por lixiviación. La observación del cultivo puede definir la aplicación del nitrógeno que se recomienda después de la siembra en muchos cultivos anuales.

FOSFORO Y POTASIO.

A continuación se dan los límites de valores bajo y alto para fósforo y potasio, obtenidos por el Programa de Suelos del ICA, mediante pruebas regionales e investigación, llevados a cabo en fincas de agricultores y en Centros y Estaciones Experimentales. Para muchos cultivos estos límites serán menos precisos, pero a medida que avance la investigación en suelos, será posible ajustarlos a su verdadero valor (Tablas 1 y 2).

La clasificación de los suelos en bajos, medios y altos, según el contenido de fósforo y/o potasio, está basada en la probabilidad de

respuesta de la cosecha a la adición de fertilizantes fosfatados o potásicos. Cuando el nutriente en el suelo está clasificado en la categoría de bajo, la probabilidad de respuesta de una cosecha a la aplicación de dicho nutriente es mucho más alto que en otro suelo en el cual el mismo elemento está clasificado en la categoría alto.

CAL.

Las recomendaciones de cal por parte del ICA, se basan especialmente en el contenido de aluminio intercambiable de los suelos. En suelos con menos de 10 por ciento de materia orgánica y pH menor a 5.0, se recomienda aplicar una tonelada y media de cal agrícola, que contenga por lo menos un 80 por ciento de CaCO_3 , por cada miliequivalente (meq) de aluminio intercambiable.

ELEMENTOS MENORES.

Las correlaciones entre contenido de elementos menores en el suelo y la respuesta a aplicaciones de éstos, no se ha desarrollado lo suficiente en el país, como para determinar la cantidad que existe en forma aprovechable en el suelo. Otras características de los suelos: pH, materia orgánica y textura, pueden dar indicios de deficiencias de elementos menores. A variaciones de pH en el suelo, corresponden variación en la aprovechabilidad de un nutriente dado, de acuerdo con el elemento y las propiedades del suelo. El molibdeno es más aprovechable a valores altos de pH. Lo contrario sucede con el cobre, el hierro, el zinc, el manganeso y el boro. Las deficiencias de cobre son comunes en cultivos que crecen en suelos orgánicos, con pH bajo.

TABLA 1. Niveles críticos de fósforo y potasio en el suelo para la mayoría de cultivos.

Categorías	Fósforo (P) ppm	Potasio (K) meq/100 g. suelo
Bajo (B)	Menos de 15	Menos de 0.15
Alto (A)	Más de 15	Más de 0.15

TABLA 2. Niveles críticos de fósforo en el suelo para los cultivos de trigo, cebada, papa y yuca.

Categorías	Fósforo (P) ppm	Potasio (K) meq/100 g. suelo
Bajo (B)		Menos de 0.15
Medio (M)		0.15 a 0.30
Alto (A)		Más de 0.30

TABLA 3. Recomendaciones de nutrientes para el cultivo de algodón.

Resultado Análisis		Cantidad recomendada (Kg/Ha) de			Tiempo de Aplicación
P	K	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
B	B	30	60	60	M.S.
		45	0	0	D.S.*
B	A	30	60	0	M.S.
		45	0	0	D.S.*
A	B	30	0	60	M.S.
		45	0	0	D.S.*
A	A	30	0	0	M.S.
		45	0	0	D.S.*

M.S. = Al momento de sembrar D.S. = Después de sembrar.

D.S.* Aplique el nitrógeno después del raleo, al lado de las plantas en banda lateral y superficial, incorpore luego con el aporque. La aplicación del nitrógeno después de la siembra se puede omitir si las plantas muestran un crecimiento vegetativo normal o si los cultivos anteriores no han demostrado síntomas de deficiencia de este elemento.

M.S. Aplique el nitrógeno al momento de la siembra

TABLA 4. Recomendaciones de nutrientes para el cultivo de arroz.

Resultado Análisis		Cantidad recomendada (Kg/Ha) de			Tiempo de Aplicación
P	K	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
B	B	0	60	60	M.S.
		125	0	0	D.S.*
B	A	0	60	0	M.S.
		125	0	0	D.S.*
A	B	0	0	60	M.S.
		125	0	0	D.S.*
A	A	0	0	0	M.S.
		125	0	0	D.S.*

M.S. = Al momento de sembrar

D.S. = Después de sembrar.

D.S.* Para variedades precoces (100-120 días) divida la aplicación del nitrógeno total en dos partes: una mitad al iniciar el maccollamiento y la segunda mitad al iniciar el embuchamiento. Para variedades tempranas (120-140 días) dividida en tres partes la aplicación del nitrógeno: la primera al iniciar el maccollamiento, la segunda a los 50 días y la tercera al iniciar el espigamiento. Para variedades tardías (más de 140 días) aplique el nitrógeno en tres partes iguales: a los 30, 60 y 90 días después de la siembra.

En lo posible no use fertilizantes nítricos, y en caso de usarlos consulte con un agrónomo la manera de hacerlo.

TABLA 5. Recomendaciones de nutrientes para el cultivo del ajonjolí.

Resultados Análisis		Cantidad recomendada (Kg/Ha) de			Tiempo de Aplicación
P	K	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
B	B	0	30	30	M.S.
		45	0	0	D.S.*
B	A	0	30	0	M.S.
		45	0	0	D.S.*
A	B	0	0	30	M.S.
		45	0	0	D.S.*
A	A	0	0	0	M.S.
		45	0	0	D.S.*

M.S. = Al momento de sembrar.

D.S. = Después de sembrar.

D.S.* El nitrógeno se debe aplicar después del raleo y distanciado. Esta aplicación se puede omitir si las plantas muestran un desarrollo vegetativo normal.

TABLA 6. Recomendaciones de nutrientes para el cultivo de maíz.

Resultado Análisis		Cantidad recomendada (Kg/Ha) de			Tiempo de Aplicación
P	K	K	P ₂ O ₅	K ₂ O	
B	B	30	60	60	M.S.
		45	0	0	D.S.*
B	A	30	60	0	M.S.
		45	0	0	D.S.*
A	B	30	0	60	M.S.
		45	0	0	D.S.*
A	A	30	0	0	M.S.
		45	0	0	D.S.*

M.S. = Al momento de sembrar

D.S. = Después de sembrar

D.S.* El nitrógeno después de la siembra se aplica cuando las plantas hayan alcanzado aproximadamente 50 cms. de altura. La fertilización nitrogenada puede omitirse después de una buena cosecha de frijol o de soya.

TABLA 7. Recomendaciones de nutrientes para el cultivo del sorgo de grano.

Resultado P	Análisis K	Cantidad recomendada (Kg/Ha) de			Tiempo de Aplicación
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
B	B	0	50	50	M.S.
		50	0	0	D.S.*
B	A	0	50	0	M.S.
		50	0	0	D.S.*
A	B	0	0	50	M.S.
		50	0	0	D.S.*
A	A	0	0	0	M.S.
		50	0	0	D.S.*

M.S. = Al momento de sembrar

D.S. = Después de sembrar

D.S.* Después de la siembra aplique el nitrógeno cuando las plantas hayan alcanzado aproximadamente 20 cm de altura, o alrededor de 25 a 30 días después de la germinación. La fertilización nitrogenada puede omitirse después de una buena cosecha de fríjol o soya, siempre y cuando por observación directa del cultivo éste no presente síntomas de deficiencia de nitrógeno.

TABLA 8. Redomendaciones de nutrientes para los cultivos de papa y yuca.

Resultado Análisis		Cantidad recomendada (Kg/Ha de			Tiempo de Aplicación
P	K	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
B	B	75	225	75	M.S.*
B	A	75	225	30	M.S.*
M	B	75	150	75	M.S.*
M	A	75	150	30	M.S.*
A	B	75	75	75	M.S.*
A	A	75	75	30	M.S.*

M.S. = Al momento de sembrar.

M.S.* El fertilizante debe colocarse a un lado y debajo de la semilla, en corona o en banda lateral simple. Es muy importante que el fertilizante no quede en contacto con la semilla.

TABLA 9. Recomendaciones de nutrientes para los cultivos de trigo, Cebada.

Resultado Análisis		Cantidad recomendada (Kg/Ha) de			Tiempo de Aplicación
P	K	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
B	B	40	120	40	M.S.*
B	A	40	120	20	M.S.*
M	B	40	60	40	M.S.*
M	A	40	60	20	M.S.*
A	B	40	0	40	M.S.*
A	A	40	0	20	M.S.*

M.S. = Al momento de sembrar.

M.S.* El fertilizante debe colocarse en banda, enterrado a 5 cm. al y debajo de la semilla, para lo cual se puede utilizar la sembradora abonadora.

TABLA 10. Recomendaciones de nutrientes para los cultivos de leguminosas de grano*.

Resultado Análisis		Cantidad recomendada (Kg/Ha) de			Tiempo de Aplicación
P	K	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
B	B	0	60	60	M.S.
B	A	0	60	0	M.S.
A	B	0	0	60	M.S.
A	A	0	0	0	M.S.

* Frijol-Soya-Arveja-Caraota

M.S. = Al momento de sembrar.

** En los lotes donde no se ha cultivado muy recientemente leguminosas se recomienda aplicar 25 kilogramos de nitrógeno (N) por hectárea, al momento de la siembra.

TABLA 11. Recomendaciones de nutrientes para el cultivo de hortalizas*.

Resultados Análisis		Cantidad recomendada (Kg/Ha) de			Tiempo de Aplicación
P	K	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
B	B	50 0	100 0	100 0	M.S. D.S.
B	A	50 0	100 0	50 0	M.S. D.S.
A	B	50 0	50 0	100 0	M.S. D.S.
A	A	50 0	50 0	50 0	M.S. D.S.

M.S. = Al momento de sembrar.

D.S. = Después de sembrar.

* Hortalizas cultivadas por el uso de sus raíces y bulbos. Para hortalizas cultivadas por sus frutos y/o hojas, se aplicará 50 kilogramos/hectárea de nitrógeno adicional. Esta aplicación se hará aproximadamente 30 días después de la siembra, pero en tomate, una o dos semanas antes de la floración.

TABLA 12. Recomendaciones de nutrientes para el cultivo de pastos.

Resultados Análisis		Cantidad recomendada (Kg/Ha) de			Tiempo de Aplicación
P	K	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
B	B	25	50	50	M.S.
		25	0	0	D.S.*
B	A	25	50	0	M.S.
		25	0	0	D.S.*
A	B	25	0	50	M.S.
		25	0	0	D.S.*
A	A	25	0	0	M.S.
		25	0	0	D.S.*

M.S. = Al momento de sembrar.

D.S. = Después de sembrar.

D.S.* En pastos establecidos aplique el total del nitrógeno cada 6 meses, dos o tres semanas antes de finalizar el período de lluvia, o más frecuentemente de acuerdo a las necesidades del forraje y si se cuenta con riego. En pastos establecidos mezclados con leguminosas no se hacen aplicaciones de nitrógeno si el porcentaje de leguminosas es mayor de 30%.

TABLA 13. Recomendaciones de fertilizantes para el cultivo de caña de azúcar (clima medio).

Resultado P	Análisis* K	Cantidad recomendada (Kg/Ha) de			Tiempo de Aplicación
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
B	B	50	100	100	M.S.
		100	0	0	D.S.*
A	A	50	100	50	M.S.
		100	0	0	D.S.*
A	B	50	25	100	M.S.
		100	0	0	D.S.*
A	A	50	25	50	M.S.
		100	0	0	D.S.*

* El análisis de suelos debe hacerse dos meses antes de la siembra e inmediatamente después de cada corte.

M.S. Al momento de sembrar

D.S. = Después de sembrar

D.S. ** Aplique la mitad a los 30 días después de la siembra y la otra a los tres meses después de la siembra, luego de una lluvia. Las recomendaciones de fertilizantes para cada de azúcar de ingenios azucareros estarán a cargo de los ingenieros agrónomos de los respectivos ingenios.

OBSERVACIONES GENERALES.

Para cultivos perennes tales como frutales, cacao, vid, plátano, banano, figue, etc., no pueden establecerse normas muy definidas sobre fertilización basados en un análisis de suelo ya que se tiene muy poca experimentación, además la edad de la plantación es un factor decisivo para hacer la recomendación de un programa de fertilización. Sin embargo con un análisis de suelos de caracterización y con una historia muy completa del lote donde se encuentra el cultivo se podría hacer una recomendación aproximada.

Para el caso del café se sugiere que las recomendaciones de fertilizantes o un programa de fertilización, se consulten directamente al Centro de Investigaciones de Café en Chinchiná (Caldas) o a un técnico de la misma Institución.

GRADO DE FERTILIZANTE.

Para la mayoría de las cosechas el fertilizante que se recomienda es una mezcla que contiene nitrógeno (N), fósforo (P_2O_5) y potasio (K_2O). Por ejemplo, para un cultivo de maíz en el cual se recomiendan 30 kilogramos de N, 60 kilogramos de P_2O_5 y 60 kilogramos de K_2O , éstos se pueden agregar en 300 kilogramos del fertilizante de grado 10-20-20.

Cuando no se encuentra el grado del fertilizante que se ajuste a las recomendaciones de N, P_2O_5 y K_2O , debe emplearse un sustituto

que se aproxime a las cantidades recomendadas. También pueden aplicarse separadamente fertilizantes de acuerdo con la cantidad recomendada de N , P_2O_5 y K_2O que contiene algunos materiales.

De estos materiales los más comunes son:

FERTILIZANTES NITROGENADOS

Sulfato de amonio.	(20% de N)
Nitrato de amonio.	(33,5% de N)
Urea.	(46% de N)

FERTILIZANTES FOSFATADOS

Superfosfato.	(18 a 20% de P_2O_5)
Superfosfato triple	(45 a 47% de P_2O_5)
Calfos.	(Aprox.16% de P_2O_5)

FERTILIZANTES POTASICOS

Cloruro de potasio.	(50 a 60% de K_2O)
Sulfato de potasio.	(48% de K_2O)

BIBLIOGRAFIA

1. KAMPRATH E.J. 1967. Soil acidity and response to liming. Technical No.4 International Soil Testing North. Carolina State University; Raleigh, U.S. 17p.
2. MARIN, G. 1967. Algunas sugerencias sobre el uso de fertilizantes y cal. Agric. Trop. (Colombia) 23: 61-65.
3. MARIN, G. y J. GOMEZ. 1966. Algunos aspectos del análisis de suelos IV. La interpretación del análisis. Agric. Trop. (Colombia) 22: 368-379.
4. MARIN, G. y J. GOMEZ. 1966. Algunos aspectos del análisis de suelos. V. Factores que deben tenerse en cuenta al hacer recomendaciones de fertilizantes y cal. Agric. Trop. (Colombia) 22: 426-432.
5. MARIN, G. 1969. Recomendaciones tentativas de fertilizantes y cal para diversos cultivos de acuerdo con los resultados de los análisis de suelos. Primera Aproximación. Rev.-ICA 3: 91-102.
6. McCLUNG, A.C. 1944. Comentarios sobre el trabajo del Programa de Suelos del Instituto Colombiano Agropecuario. Trabajo mimeografiado sin publicar. 30p.

7. NAVAS, J., H. MANZANO y A.C. McCLUNG. 1966. Algunos aspectos del análisis de suelos. III. Calibración del análisis. Agric. Trop. (Colombia) 22: 285-294.

gdeb

IMPRESO EN EL CENTRO DE COMUNICACIONES

ICA - TIBAITATA . -

INTERPRETACION DEL ANALISIS DE SUELOS Y RECOMENDACIONES DE
FERTILIZANTES

Fe de Erratas

Página	Renglón	Dice	Debe Decir
24	12	Legninas	Ligninas
29	21	se necesitarán	se necesitaron
29	24	comunicarles	comunicarle
104	15	KCL	KCl
126	13	HCL	HCl
126	14	HCL	HCl

NOTA: La página 31-A va inmediatamente después de la página 30.
La página 31 sigue a la página 31-A.

Biblioteca Agropecuaria
de Colombia - BAC



010100030899