

SUELOS Y FERTILIZANTES

3866

3866.

Plantas
Analíticas: Todas
PADT / RURAL

BIBLIOTECA AGROPECUARIA
DE COLOMBIA



SUELOS Y FERTILIZACION DE CULTIVOS

Compendio No. 38

Septiembre de 1980

PRESENTACION

El suelo es un cuerpo natural y dinámico, capaz de alimentar una vegetación. Es el don máspreciado de la naturaleza, ya que de éste deriva el hombre directa o indirectamente sus alimentos, medicinas, materiales y utensilios para la vivienda y el transporte. Además, contiene y regula el aire y el agua.

La formación de un suelo puede tomar cientos, miles, aún millones de años. Su destrucción puede ser labor de unos pocos años; algo más, de unas cuantas cosechas. Nuestro deber es conservarlo y mejorarlo, para que las generaciones futuras disfruten de una mejor posibilidad de producción de alimentos.

La fertilización correcta de los cultivos, utilizando las dosis más recomendables, las fuentes más apropiadas, los mejores métodos de aplicación y las épocas más indicadas, contribuye al mantenimiento, conservación y mejoramiento de la fertilidad del suelo. Estas labores deben ir acompañadas de otras prácticas como el uso de variedades de alto rendimiento y adaptadas al medio, semillas mejoradas, épocas más aconsejables para la siembra, distancias de siembra apropiadas, buen control de malezas, plagas y enfermedades, buenos sistemas de cosecha, procesamiento, almacenamiento y transporte.

En su actividad de educación continuada y transferencia de tecnología, es un orgullo para la Regional 4 del Instituto Colombiano Agropecuario, ICA, presentar este Curso de Suelos y Fertilización de Cultivos que, a no dudarlo, debe constituirse en obra de consulta y aplicación obligada para los estudiosos y profesionales relacionados con los cultivos y los diferentes aspectos de la ciencia del suelo, especialmente con su fertilidad y prácticas de fertilización.

JAIME LOTERO CADAVID
Gerente de la Regional 4 del ICA

CONTENIDO

	Página
FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA NUTRICION FOLIAR Y EDAFICA DE LAS PLANTAS.	1
Jairo Correa Velásquez, I.A., Ph.D	
RELACION ENTRE EL CLIMA, LAS CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS Y LA FERTILIDAD DE LOS SUELOS.	15
Jaime Lotero Cadavid, I.A., Ph.D	
LOS MICROORGANISMOS Y SU RELACION CON LA FERTILIDAD Y FERTILIZACION DEL SUELO.	61
Francisco Hernando Orozco P., I.A., DEA	
ASPECTOS SOBRE ACIDEZ Y ENCALAMIENTO	119
Luis Fernando Sánchez S., I.A., M.S. ⁴²⁸¹	(02)
DISPONIBILIDAD EN EL SUELO DE MICRONUTRI- MENTOS ESENCIALES PARA LA PLANTA.	147
Rodrigo Lora Silva, I.A., M.S.	
CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS DE LOS FER- TILIZANTES.	209
Ricardo Guerrero Riascos, I.A., M.S.	
PERSPECTIVAS PARA EL USO DE NUEVOS FERTI- LIZANTES EN COLOMBIA.	259
Jairo A. Gómez L., I.A., M.S.	
FERTILIZACION DE LA PALMA AFRICANA DE ACEI- TE (<u>Elaeis guineensis</u> Jacq.) EN COLOMBIA.	275
Rodrigo Muñoz Araque, I.A., M.S.	

SUELOS Y FERTILIZACION DEL CACAO EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA. 289

Sergio Cadavid V., I.A.

ASPECTOS SOBRE SUELOS Y FERTILIZACION DEL ARROZ DE RIEGO CON ENFASIS EN COLOMBIA. 305

Luis Fernando Sánchez S., I.A., M.S.

ASPECTOS SOBRE FERTILIZACION DEL BANANO (Musa cavendish) EN LA ZONA DE URABA, DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA. 335

Oscar Ochoa Espinal, I.A.

FERTILIZACION EN PASTOS Y FORRAJES 359

Jaime Lotero Cadavid, I.A., Ph.D

✓ FERTILIZACION QUIMICA Y ORGANICA DE MONOCULTIVOS Y CULTIVOS ASOCIADOS EN EL CLIMA FRIO DE ANTIOQUIA.

José Hiriam Tobón C., I.A., M.S.

387

(13)

CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS Y LA FERTILIZACION DE LOS CULTIVOS DE MAIZ, FRIJOL, YUCA, CAÑA PANELERA Y PLATANO EN LA ZONA DE CLIMA MEDIO EN ANTIOQUIA.

Rodrigo Muñoz Araque, I.A., M.S.

419

(14)

EL ANALISIS DEL SUELO PARA DIAGNOSTICAR SU FERTILIDAD.

J. Gildardo Marín Morales, I.A., M.S.

467

(15)

96

NO.

FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA NUTRICION FOLIAR Y EDAFICA DE LAS PLANTAS

Jairo Correa V.*

1. FACTORES QUE AFECTAN LA ABSORCION DE NUTRIENTES POR LAS PLANTAS

1.1. TEMPERATURA

Al aumentar la temperatura ambiental desde el punto de congelación hasta 40°C, aproximadamente, aumenta la velocidad de absorción de sales por la planta (Figura 1). Por qué? Por las siguientes razones:

Porque al aumentar la temperatura aumenta la velocidad de difusión de las sales minerales hacia las raíces.

Al incrementarse la temperatura se produce un aumento en la intensidad respiratoria. Como es sabido, aumenta la absorción activa de iones y por consiguiente la absorción total de nutrientes. Si la temperatura baja, se presentará el fenómeno contrario.

La solubilidad de algunos elementos aumenta al aumentar la temperatura.

Al aproximarse la temperatura a los 40°C, se produce una disminución en la absorción y acumulación de iones por cuanto se interfiere el

* Ingeniero Agrónomo, Ph. D. Universidad Nacional, Facultad de Agronomía, Medellín.

proceso respiratorio de la planta, la formación de ATP y por consiguiente la absorción "activa" de iones. Además, porque la permeabilidad de las membranas celulares aumenta y el flujo "pasivo" de sales también aumenta, disminuyendo por consiguiente la velocidad neta de acumulación.

Además, parece que la temperatura también afecta la relación relativa de aniones y cationes absorbidos, así: Cuando la temperatura es baja, se inhibe la absorción de aniones en mayor proporción que la de cationes. La razón de ser de este fenómeno no es bien conocida (5).

1.2. LUZ

Normalmente, la luz no llega hasta las raíces de la mayoría de las plantas y la poca que pueda llegar, en ciertos casos, no ejerce influencia importante en la absorción de nutrientes. La influencia de la luz es de tipo indirecto más que directo.

Se sabe que las plantas que crecen bajo condiciones de alta intensidad luminosa absorben iones más rápidamente que las cultivadas en un medio con baja intensidad lumínica, o con luz débil. Esto se debe a que, como se vió anteriormente, para la absorción "activa" de iones se requiere energía celular en forma de ATP y éste es provisto por la fotosíntesis o la respiración de azúcares producidos, que son movilizados de las hojas hasta las raíces. Obviamente, bajo condiciones de pobre iluminación, la producción de azúcares es baja y la provisión de energía para la absorción de nutrientes también. Esto implica una baja absorción "activa" de iones.

Se sabe que en algas y otras plantas acuáticas, la luz es convertida en energía química (ATP) durante la fotosíntesis. Este ATP ayuda a

la absorción de iones, directamente, sin la intervención de la respiración.

En la Figura 2, se puede observar el efecto de la luz en la absorción de fosfatos por plantas de maíz. Nótese como durante un período de oscuridad, la absorción (velocidad relativa) de iones fosfato desciende considerablemente y luego se incrementa rápidamente al aumentar la intensidad luminosa (5).

1.3. AIREACION

Las plantas no crecen o crecen poco en suelos inundados. Si el suelo se inunda cuando el cultivo está en pleno crecimiento, las plantas se tornan de color amarillo y pueden morir de prolongarse esta situación. Algunas plantas como el arroz pueden soportarla sin mayor problema (5).

Para la absorción de nutrientes las plantas requieren oxígeno, elemento que escasea cuando los suelos están inundados, situación que hace propicia, además, la acumulación de cantidades tóxicas de CO_2 en forma de bicarbonato. Como es bien sabido, el CO_2 interfiere la absorción de oxígeno para la respiración, interfiriendo, por consiguiente, la absorción de sales (1).

Mediante estudios de absorción con raíces aisladas, se comprobó que el suministro de oxígeno al suelo debe ser similar al de la atmósfera que rodea la parte aérea de la planta (aproximadamente 21% por volumen) para que haya una absorción rápida de sales (2).

En la Figura 3, se puede apreciar la diferencia de comportamiento del arroz y la cebada con relación a la absorción de iones de potasio

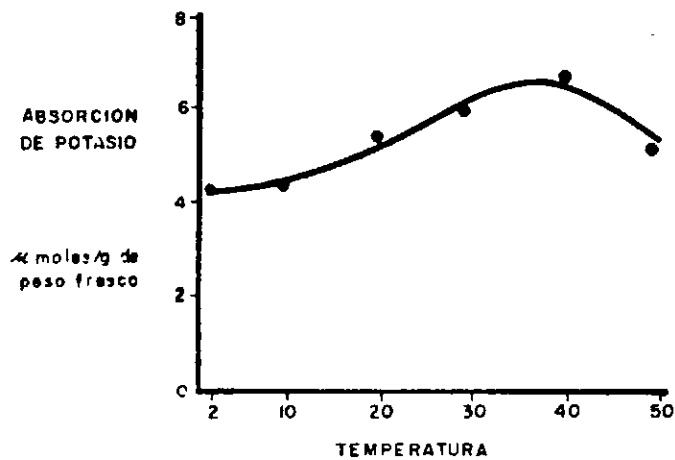


FIGURA 1. EFECTO DE LA TEMPERATURA EN LA ABSORCION DE K POR REBANADAS DE ZANAHORIA. PERIODO DE ABSORCION: 30 MINUTOS A CADA TEMPERATURA.

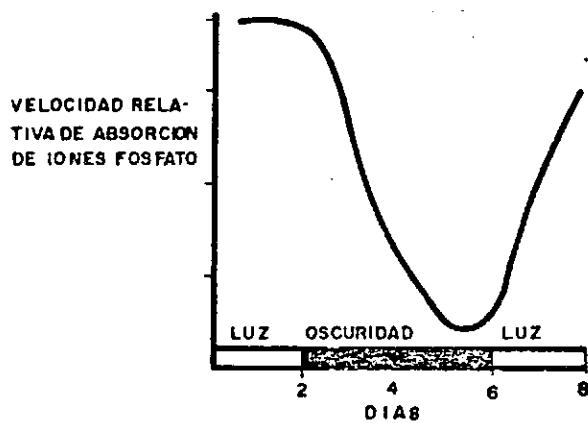


FIGURA 2. VELOCIDAD DE ABSORCION DE IONES DE FOSFATO POR PLANTAS DE MAIZ DURANTE PERIODOS SUCESIVOS DE LUZ Y OSCURIDAD.

en un medio cuya concentración de O_2 fue muy variable. Obsérvese que a baja concentración de O_2 la absorción de K por el arroz fue el doble de la cantidad absorbida por la cebada. Cuando la concentración se incrementó a 5,2%, las diferencias en grado de absorción de ambas plantas se redujeron notablemente hasta llegar casi a igualarse (5).

1.4. pH

Las plantas pueden crecer bajo condiciones de pH muy variables, dentro de un rango que va de 4,0 a 9,0. Sin embargo, muchas especies prefieren o se adaptan mejor en medios con pH extremos de acidez o alcalinidad (5).

Cómo afecta el pH la absorción de sales? De varias maneras, a saber:

A bajo pH los iones de hidrógeno disminuyen la absorción de cationes, en tanto que puede ser incrementada la de aniones. La explicación está en que los hidrogeniones compiten con los cationes por los lugares de intercambio, en tanto que los hidróxilos o iones bicarbonato presentes a alto pH compiten con los aniones, tales como los nitratos, cloruros y fosfatos.

En el caso particular de los iones fosfato, el pH influye en la absorción de éstos porque es determinante de la carga iónica de los mismos, así:

A bajo pH la forma iónica predominante es $H_2PO_4^-$; a pH de 6,8 la forma predominante es una mezcla de $H_2PO_4^-$ y $HP0_4^{2-}$; finalmente, $HP0_4^{2-}$ a valores cercanos a 6,8 y PO_4^{3-} por encima de dicho valor.

Las formas monovalentes son más fácilmente absorbidas que las divalentes y éstas más que las trivalentes. Esto es muy aplicable a los fosfatos, particularmente.

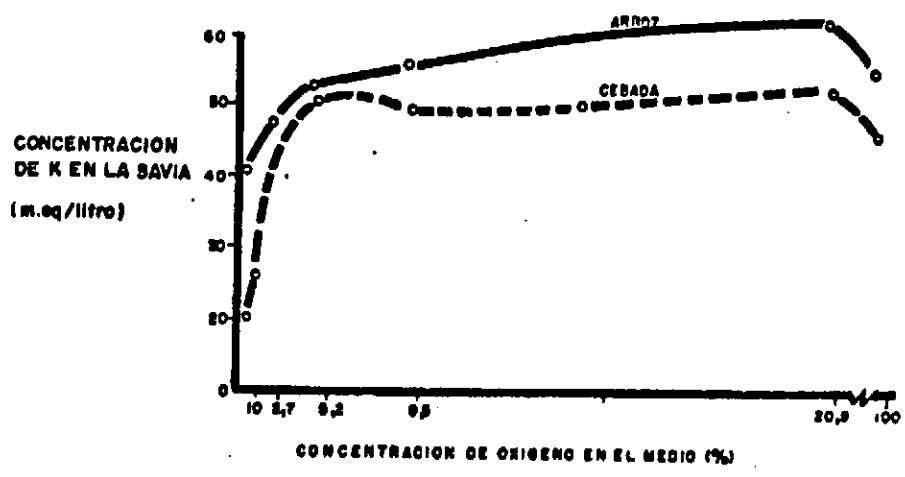
Se sabe que el lento crecimiento de las plantas en suelos con pH alto tiene que ver, probablemente, con una limitada disponibilidad de hierro y otros micronutrientes. Lo mismo se puede decir con el fósforo.

La absorción de K por remolacha en rebanadas se incrementó notablemente (véase Figura 4) al aumentar el pH de 6,0 a 8,5. La cantidad de potasio absorbida se expresa en micromoles de K por gramo de peso fresco de remolacha.

1.5. AGUA

De acuerdo con Black (1), el agua es uno de los factores limitantes del crecimiento vegetal en la superficie terrestre. La deficiencia de agua limita considerablemente la producción agrícola en vastas regiones del mundo. Por ello, es de gran importancia práctica el comportamiento del agua en el suelo y la respuesta de las plantas a los factores que limitan el suministro de la misma.

La cantidad de agua retenida por el suelo en el rango comprendido entre la capacidad de campo y el punto de marchitamiento permanente, se dice representar la capacidad de agua disponible de un suelo. Se entiende por agua utilizable aquella que está siendo utilizada por la planta para el crecimiento. Por encima de la capacidad de campo, el agua drena rápidamente y no puede ser utilizada por la planta. Lo mismo sucede con el agua que está por encima en el límite del punto de marchitamiento permanente. Es retenida con tal fuerza que no puede ser utilizada para el crecimiento vegetal.



FIGURAS. EFECTO DEL CONTENIDO DE OXIGENO EN LA MEZCLA DE GASES UTILIZADA PARA AIREAR LA SOLUCION.

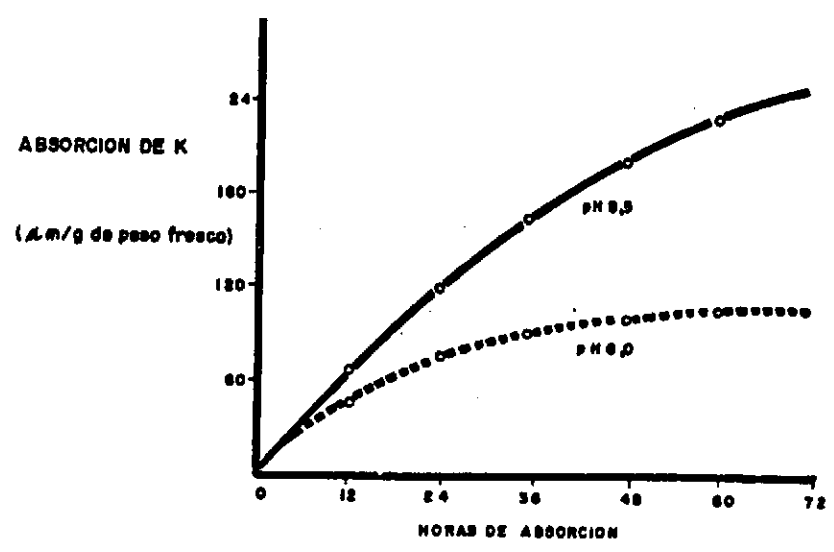


FIGURA 4. ABSORCION DE K POR REBANADAS DE REMOLACHA A DIFERENTES pHs.

NOTA: LAS ANTERIORES FIGURAS FUERON TOMADAS DEL TEXTO: PLANT PHYSIOLOGY DE SALIMONDY AND ROOS. pp 388-390.

El agua es el constituyente más importante de las plantas durante el crecimiento y desarrollo. Además, se pierde durante la transpiración en cantidades mucho mayores que las que se encuentran en sus tejidos. Varios cientos de kilos de agua se pueden perder por transpiración durante la fabricación de un solo kilo de materia seca (4).

Durante la germinación, muchas semillas absorben agua en cantidad tal que duplica su peso. Bajo condiciones favorables de suministro de agua y temperatura, el agua requerida es absorbida en un período muy corto de tiempo. La rapidez de la absorción se puede explicar con base en el gradiente muy alto de energía libre específica que existe entre el agua del suelo y el de las semillas secas, y la corta distancia involucrada para el movimiento del agua del suelo a la semilla.

Si el suministro de agua es deficiente, la adición de la misma generalmente aumenta la producción, tanto de raíces como de la parte aérea de la planta. La energía libre del agua en las raíces excede a la de la misma en la parte aérea. De aquí que la aprovechabilidad del agua para el crecimiento celular es mayor en las raíces que en el resto de la planta. Esta condición prevalece, aunque el suministro de agua sea normal o deficiente (5).

1.6. SALINIDAD Y ALCALINIDAD DEL SUELO

La acidez del suelo es una condición resultante de un lavado prolongado de las sales del suelo, en tanto que la alcalinidad se encuentra en condiciones de ausencia de tal lavado, y proviene de la acumulación de sales solubles en zonas ácidas, principalmente.

Los cationes constituyentes de las sales solubles más importantes son: Sodio, calcio y magnesio. Los aniones más comunes son los

sulfatos, cloruros y bicarbonatos, y otros iones de menor importancia como potasio, carbonatos y nitratos.

Las plantas que crecen en suelos salinos, según Black (1), son a menudo de tamaño reducido y color azul oscuro, proveniente de un alto contenido de clorofila y una capa cerosa que constituye la cutícula.

La respuesta de las plantas a las condiciones de salinidad del suelo es causada, aparentemente, por algún efecto característico de las sales "per se", más bien que por un ión determinado. La evidencia experimental indica que el "efecto salino" es inducido en las plantas por las propiedades osmóticas de éstas.

La tolerancia de diversas plantas a las sales aumenta con su capacidad para absorber sales del medio y decrece con su sensibilidad a las mismas, cuando las ha acumulado en sus tejidos. La acumulación de sales favorece el mantenimiento de la energía libre del agua en la planta por debajo de la del agua en el suelo, condición indispensable para la absorción de agua. Las plantas cultivadas, en general, tienen gran capacidad de absorción de sales, pero son muy sensibles a sus efectos cuando las han acumulado.

1.7. ESTADO NUTRICIONAL DE LA PLANTA

Salisbury y Ross (5) afirman que las raíces que contienen suficiente cantidad de nutrientes o uno cualquiera en particular, generalmente no absorben dicho(s) nutriente(s) tan rápido como las que carecen de él. Aparentemente, las raíces que contienen altas cantidades de sales, simplemente no las "dejan ir" de las células, reduciendo en esta forma la absorción neta.

Afirman además que, algunas veces la abundancia de un ión en la planta puede influir en la absorción de otro. Ejemplo: Plantas que ya contienen adecuado suministro de nitrógeno son capaces de absorber más fósforo y sulfato por unidad de peso de raíces que otras con deficiencia de dicho elemento. En forma similar, plantas con alto contenido de fosfatos pueden absorber mejor el nitrógeno que las con bajo contenido de fósforo.

Dichas interacciones pueden ocurrir a causa de que el nitrógeno y los fosfatos, y el nitrógeno y el sulfato se convierten en partes esenciales de moléculas orgánicas en la planta, de tal manera que una ayuda a la absorción de la otra, permitiendo su rápida incorporación al protoplasma.

1.8. ESTADO DE CRECIMIENTO DE LA PLANTA

Cuando el crecimiento se ha detenido en células maduras, éstas no son capaces de acumular iones en forma tan eficiente como lo hacen las que están en período de crecimiento activo. Esto se debe a que las células jóvenes, que sintetizan proteínas activamente, crean sitios de enlace para los cationes del tipo magnesio, hierro, calcio y potasio, en tanto que iones tales como fosfato y nitrato son rápidamente transformados en otros compuestos y se convierten en parte del protoplasma.

1.9. ANATOMIA Y ABSORCION DE IONES

Estudios con radioisótopos indican que la zona radical situada por encima de la cofia o pilorriza acumula iones más efectivamente que otras zonas de mayor edad en las que ya se había completado la división

y alargamiento celular. La acumulación de sales en ellas es debida principalmente a una mayor actividad respiratoria y a la ausencia de vasos conductores de xilema que facilitan el transporte de dichas sales a otros lugares de la planta (5).

De acuerdo con Wiebe y Kramer (4), de la Universidad de Duke (U.S.A.), se encontró que las regiones meristemáticas de las plantas absorben sales en gran cantidad, pero tienen baja capacidad para transportarlas, por lo cual se quedan retenidas allí. En cambio, zonas más viejas con abundancia de vasos de xilema bien diferenciados, transportan iones con mayor efectividad.

2. FACTORES QUE AFECTAN LA NUTRICION FOLIAR

2.1. EN PLANTAS ACUATICAS

Ciertas plantas como la Elodea, Lemna y Valisneria absorben sus nutrientes a través de las hojas sumergidas o sea que la ausencia de cutícula en ellas facilita la absorción directa de nutrientes. Lo mismo se puede decir con relación a los estomas, que también están ausentes de la superficie foliar. La absorción, por consiguiente, se efectúa directamente por las células de las hojas.

2.2. EN PLANTAS TERRESTRES

En éstas hay una cutícula, a veces muy gruesa, tanto en las hojas como en los tallos, a pesar de la cual hay absorción de sales a través de estos órganos cuando le son aplicados en aspersion a su superficie. Aparentemente, la presencia de estomas es de poca ayuda para la

absorción de nutrientes, por cuanto la alta tensión superficial del agua impide que fluyan a través de éstos (2).

La presencia de hendiduras o resquebrajaduras en la cutícula, además de la posible presencia de plasmodesmos que van desde la epidermis hasta la cutícula, puede explicar cómo se lleva a cabo el transporte hacia el exterior de la hoja (mesófilo).

En muchas partes del mundo y en diversos cultivos (cítricos, rosáceas, piña, etc.), se hacen aplicaciones foliares de hierro, zinc, cobre y manganeso más bien que al suelo, del cual es pobre la absorción, por cuanto en éste se hacen insolubles en buena parte. Las aplicaciones de nitrógeno al follaje son un medio muy efectivo para suministrar este elemento. Igual pasa con el hierro y el zinc, particularmente en forma de quelato.

Las fertilizaciones foliares, dado su alto costo y baja efectividad en ciertos casos, se utilizan principalmente cuando se desea una pronta recuperación de una deficiencia nutricional, particularmente en plantas perennes (4).

Según Salisbury y Ross (5), si los nutrientes pueden ser absorbidos a través de las hojas, algunos se pueden perder de ellas por lavado, a causa de la lluvia. En verdad, algunas sales minerales, aminoácidos y otros compuestos orgánicos se pierden de esta manera. El potasio parece que se pierde fácilmente por lavado de las hojas a causa de su alta movilidad y solubilidad.

Kramer (4) afirma que, ordinariamente, las cantidades de solutos que entran a las hojas y tallos son pequeñas, estando limitadas a los minerales derivados del polvo atmosférico, gases, aerosoles, lluvia y agua de irrigación. Sin embargo, recientemente se ha comprobado que las

aguas lluvias arrastran una cantidad sorprendentemente alta de sales, particularmente cuando el aire está contaminado por humo y gases industriales. A menudo hay tanta sal en el aire contaminado de un invernadero, que es difícil demostrar deficiencias de ciertos elementos.

En general, la fertilización foliar se debe considerar como un complemento de la fertilización radical y no como un sustituto de ésta.

Van Overbek (6) y Franke (3) estudiaron con mucho detenimiento los factores que afectan la penetración de las sales por las hojas. Sos-tienen que, aparentemente, la cutícula es heterogénea en composición y estructura, y posee áreas hidrofílicas que imbiben agua y aumentan su permeabilidad a las sustancias disueltas en ésta. Después de alcanzar la pared celular, las sustancias salinas se mueven por el espacio libre aparente, entran al protoplasma y pasan luego al simplasto.

El papel de los ectodesmas (estructuras muy finas localizadas en las paredes externas de las células epidérmicas de las hojas) en la absorción foliar aún no es bien conocido. Según Kramer (4), los ectodesmas no contienen citoplasma. Antes se pensaba que eran homólogos de los plasmodesmas, pero ahora se sabe que no, que son vacíos y que a través de ellos se pueden mover el agua y las sales minerales sin dificultad. Se sabe que la absorción por las hojas se hace en un período de pocas horas y que es mayor en las hojas jóvenes que en las maduras o envejecidas, porque:

- . Tienen cutícula más delgada,
- . metabolismo más activo y
- . mayor capacidad de acumulación de iones.

La temperatura y demás factores que afectan el metabolismo, afectan la velocidad de absorción y movilización de nutrientes por las hojas.

En cantidad limitada, la absorción de nutrientes puede ser llevada a cabo por los tallos, como ya se anotó, en proporción limitada. Wittwer y Teubner, citados por Salisbury y Ross (5), mencionan varios informes en los cuales se habla de absorción de minerales por las ramas y brotes de varias plantas. En estas partes la entrada ocurre, principalmente, a través de lenticelas, heridas producidas en la poda, cicatrices y rupturas de la corteza.

3. BIBLIOGRAFIA

1. BLACK, C.A. Soil-plant relationships. John Willey, New York, 1960. p.128-157.
2. EPSTEIN, E. Mineral nutrition of plants. John Willey, New York, 1972. p.325-381.
3. FRANKE, W. Mechanisms of foliar penetration of solutions. Ann. Rev. Plant Physiology. 18:281-300. 1967.
4. KRAMER, P.J. Plant and soil relationships. Mc Graw Hill, New York, 1969. p.251-255.
5. SALISBURY, F.B. and ROSS, C. Plant Physiology. Wadsworth, 1969. p.191-204.
6. VAN OVERBEK, J. Absorption and translocation of plant regulators. Ann. Rev. Plant Physiology. 7:355-372. 1972.

RELACION ENTRE EL CLIMA, LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS Y FERTILIDAD DE LOS SUELOS

Jaime Lotero C.*

1. INTRODUCCION

En Colombia existe una gran variedad de climas y microclimas, debido principalmente a su complicada y variada topografía, diferencias de alturas sobre el nivel del mar, vientos, variaciones en precipitación, tanto en cantidad como en distribución y diferencias en humedad relativa. La latitud tiene algún efecto, aunque el país está situado en la zona tropical ($12^{\circ} 30' 40''$ latitud norte y $4^{\circ} 13' 30''$ latitud sur) (11).

La gran variedad de climas, en unión de otros factores como el material parental, el relieve (topografía), tiempo o edad y los organismos (especialmente la vegetación), han dado como resultado una gran diversidad de suelos, con sus diferentes características físico-químicas y lógicamente de fertilidad. Esta gran variación hace difícil el establecer relaciones entre el clima y las diferentes propiedades de los suelos. Dependiendo de las circunstancias, en algunos casos se hará referencia al clima y en otros a la formación ecológica o zona de vida.

2. EL CLIMA Y LAS FORMACIONES ECOLOGICAS

Aunque el concepto de clima es difícil de definir, es posible pensar que "clima de un lugar, es la situación atmosférica imaginaria que en un momento reinaría en él, si la temperatura, la humedad del aire, el

* Ingeniero Agrónomo, Ph.D. Gerente de la Regional 4 del Instituto Colombiano Agropecuario, Apartado Aéreo 51764, Medellín.

viento y los demás elementos meteorológicos tomasen, precisamente, los valores medios de la temperatura, de la humedad, del viento, etc. Observados durante cierto período de años, lo más largo posible" (15). En Colombia, el Instituto Geográfico "Agustín Codazzi" (11) ha dividido el país en clima cálido (altura de 0 a 1.000 ms.n.m., temperatura más de 24°C), templado (altura de 1.000 a 2.000 m.s.n.m., temperatura más de 17,5°C), frío (altura 2.000 a 3.000 m.s.n.m., temperatura más de 13°C) y páramo (altura de 3.000 a 4.000 m.s.n.m., temperatura menos de 13°C). Como se observa, en esta división de climas no se introduce el concepto de precipitación.

Desde el siglo pasado, los ecólogos han ideado varios sistemas de clasificación de la vegetación del mundo; hasta el momento ningún sistema ha recibido una aceptación general. Uno de los sistemas de clasificación más comunes es el de Holdridge (6) que distingue "formaciones ecológicas" o "zonas de vida". Para este sistema, la definición para formación es "un grupo de asociaciones vegetales, dentro de una división natural de clima, las cuales tomando en cuenta las condiciones edáficas y las etapas de sucesión, tienen una fisonomía similar en cualquier parte del mundo".

En la Figura 1 se incluye la clasificación ecológica de las formaciones del mundo propuesta por Holdridge y basada en los factores climáticos de mayor importancia que son la temperatura, la precipitación y la evapotranspiración potencial (6). Las principales formaciones que se encuentran en Colombia y su extensión se incluyen en la Tabla 1 (3). Las formaciones marcadas con asteriscos, son las más importantes por su potencial agrícola o ganadero, cultivos predominantes o concentración de la población. El bosque seco tropical se encuentra en regiones como gran parte de la llanura del Caribe, Valles del Cauca, Sinú y Alto Magdalena; en el bosque húmedo tropical se encuentra el Magdalena Medio, gran parte de Urabá, Llanos Orientales y Amazonas; el bosque muy húmedo tropical predomina en la costa del Pacífico, parte

TABLA 1. FORMACIONES VEGETALES DE COLOMBIA

FORMACION VEGETAL (Formación Ecológica)	Extensión Ha.	Tem. Media °C	Prec. mm	Altura m.s.n.m.
Matorral desértico sub-tropical, md-ST	434.750	>24	125 - 250	
Monte espinoso sub-tropical, me-ST	563.775	>24	250 - 500	
Bosque muy seco tropical, bms-T	365.725	>24	500 - 1.000	
Bosque seco tropical, bs-T*	11.432.642	>24	1.000 - 2.000	0 - 1.100
Bosque húmedo tropical, bh-T*	25.338.399	>24	2.000 - 4.000	0 - 1.000
Bosque muy húmedo tropical, bmh-T*	12.461.331	>24	4.000 - 8.000	
Bosque pluvial tropical, bp-T	1.202.500	>24	8.000	
Monte espinoso premontano, me-PM†	11.583	< 24	250 - 500	800 - 2.000
Bosque seco premontano, bs-PM	377.147	< 24	500 - 1.000	800 - 2.100
Bosque húmedo premontano, bh-PM*	2.839.748	18-24	1.000 - 2.000	900 - 2.100

TABLA 1. (Continuación)

FORMACION VEGETAL (Formación Ecológica)	Extensión Ha.	Tem. Media °C	Prec. mm.	Altura m.s.n.m.
Bosque muy húmedo premontano , bmh-PM*	4.763.493	17-24	2.000 - 4.000	1.000 - 2.000
Bosque pluvial premontano, bp-PM	3.051.162		4.000	
Bosque seco montano bajo, bs-MB*	864.249	12-18	500 - 1000	2.000 - 3.000
Bosque húmedo montano bajo, bh-MB*	856.478	12-18	1.000 - 2.000	1.900 - 2.900
Bosque muy húmedo montano bajo, bmh-MB*	4.637.243	12-18	2.000 - 4.000	1.800 - 2.800
Bosque pluvial montano bajo, bp-MB	1.416.705	12-18	↓4.000	2.000 - 3.000
Bosque húmedo montano, bh-M	570.476	6-12	500 - 1.000	↓3.000
Bosque muy húmedo montano, bmh-M	772.188	6-12	1.000 - 2.000	2.700 - 2.900
Bosque pluvial montano, bp-M	1.413.245	6-12	2.000	
Páramo subalpino	25.790	3-6	500 - 1.000	
Tundra pluvial alpina y páramo pluvial alpino	176.925	6	500 - 2.000	4.000

de Urabá y en general está asociado con el bosque húmedo tropical; en el bosque húmedo premontano y bosque muy húmedo premontano se encuentra casi toda la zona cafetera del país; en el bosque seco montano bajo se encuentra la Sabana de Bogotá y altiplanos de Boyacá y Nariño; en el bosque húmedo montano bajo y bosque muy húmedo montano bajo se encuentra el altiplano de Rionegro (Antioquia), altiplano norte de Antioquia, algunas zonas de Nariño y Boyacá (3).

Para el caso de Colombia, la Figura 2 ayuda a comprender mejor las relaciones entre el clima y las formaciones ecológicas (3). En el clima cálido, piso tropical, las formaciones ecológicas más importantes son el bosque muy seco tropical, bosque seco tropical, bosque húmedo tropical, bosque muy húmedo tropical y bosque pluvial tropical; en el clima templado o medio, las formaciones ecológicas más importantes son el bosque seco premontano, bosque húmedo premontano y bosque muy húmedo premontano; en el clima frío, las formaciones ecológicas más importantes son el bosque seco montano bajo, bosque húmedo montano bajo y bosque muy húmedo montano bajo; en el páramo, la formación ecológica más importante es el bosque húmedo montano.

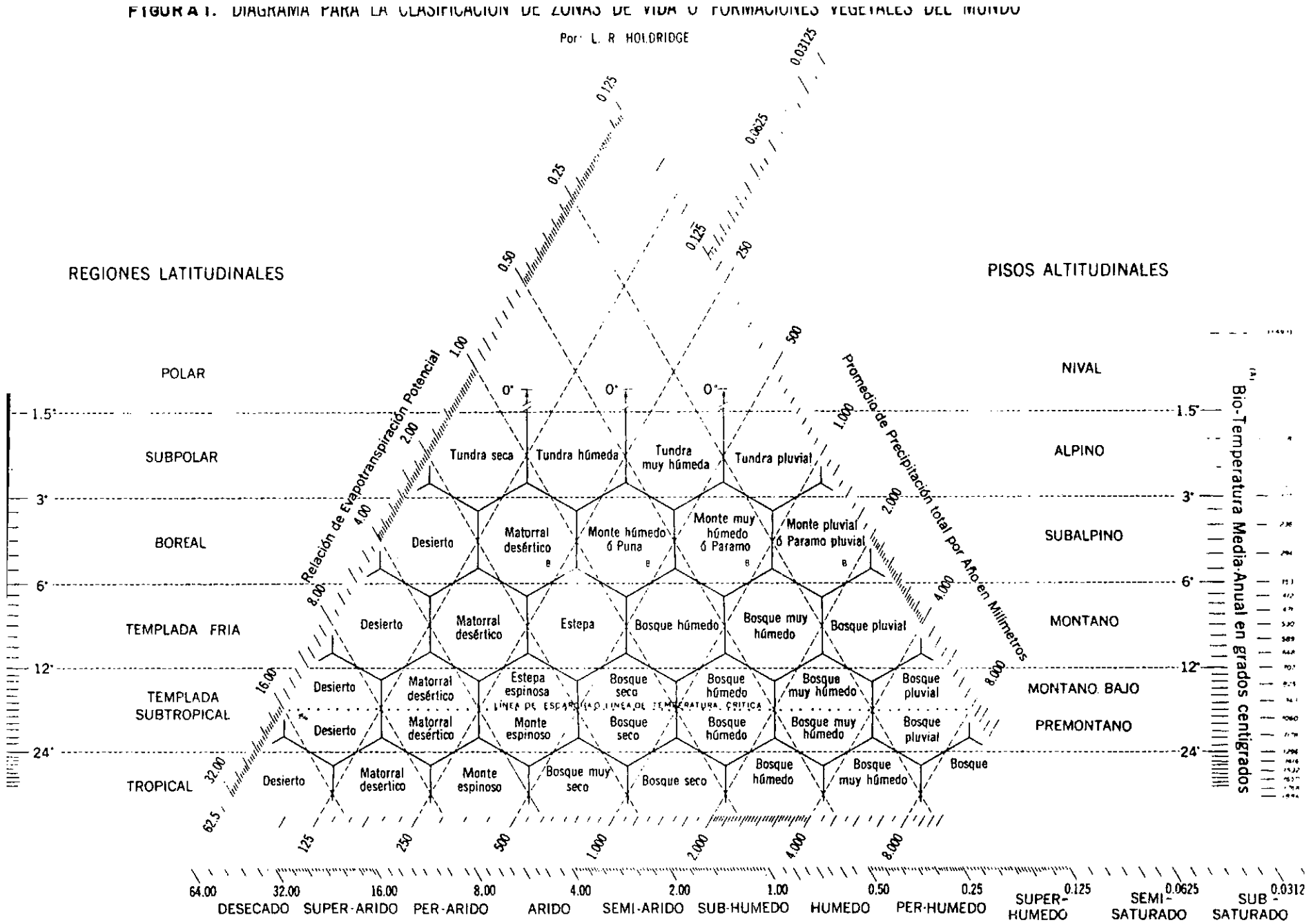
3. PROPIEDADES FÍSICAS

Las principales propiedades físicas del suelo son la textura, estructura, el color, la permeabilidad, la capacidad de retención de agua y profundidad.

Cuando se hace un corte vertical de un suelo, se observan capas denominadas horizontes, los cuales tienen propiedades variables y pueden tener subdivisiones según la naturaleza del suelo. El horizonte superior (A) corresponde al de máxima actividad biológica y máximo lavado; el sub-adyacente (B) es el horizonte de máxima acumulación de

FIGURA 1. DIAGRAMA PARA LA CLASIFICACION DE ZONAS DE VIDA O FORMACIONES VEGETALES DEL MUNDO

Por: L. R. HOLDRIDGE



REGIONES LATITUDINALES

PISOS ALTITUDINALES

POLAR

NIVAL

SUBPOLAR

ALPINO

BOREAL

SUBALPINO

TEMPLADA FRIA

MONTANO

TEMPLADA SUBTROPICAL

MONTANO BAJO

TROPICAL

PREMONTANO

64.00 32.00 16.00 8.00 4.00 2.00 1.00 0.50 0.25 0.125 0.0625 0.03125
 DESECADO SUPER-ARIDO PER-ARIDO ARIDO SEMI-ARIDO SUB-HUMEDO HUMEDO PER-HUMEDO SUPER-HUMEDO SEMI-SATURADO SUB-SATURADO

PROVINCIAS DE HUMEDAD

Bio-Temperatura Media Anual en grados centigrados

A - Promedio de temperaturas de unidad-periodo con sustitución de cero para todos los valores de temperatura bajo 0°C. y sobre 30°C., respectivamente. (El límite cálido de 30°C. es provisional pendiente de mayor investigación)
 B - En la región tropical solamente

REGION LATITUDINAL TROPICAL COLOMBIANA

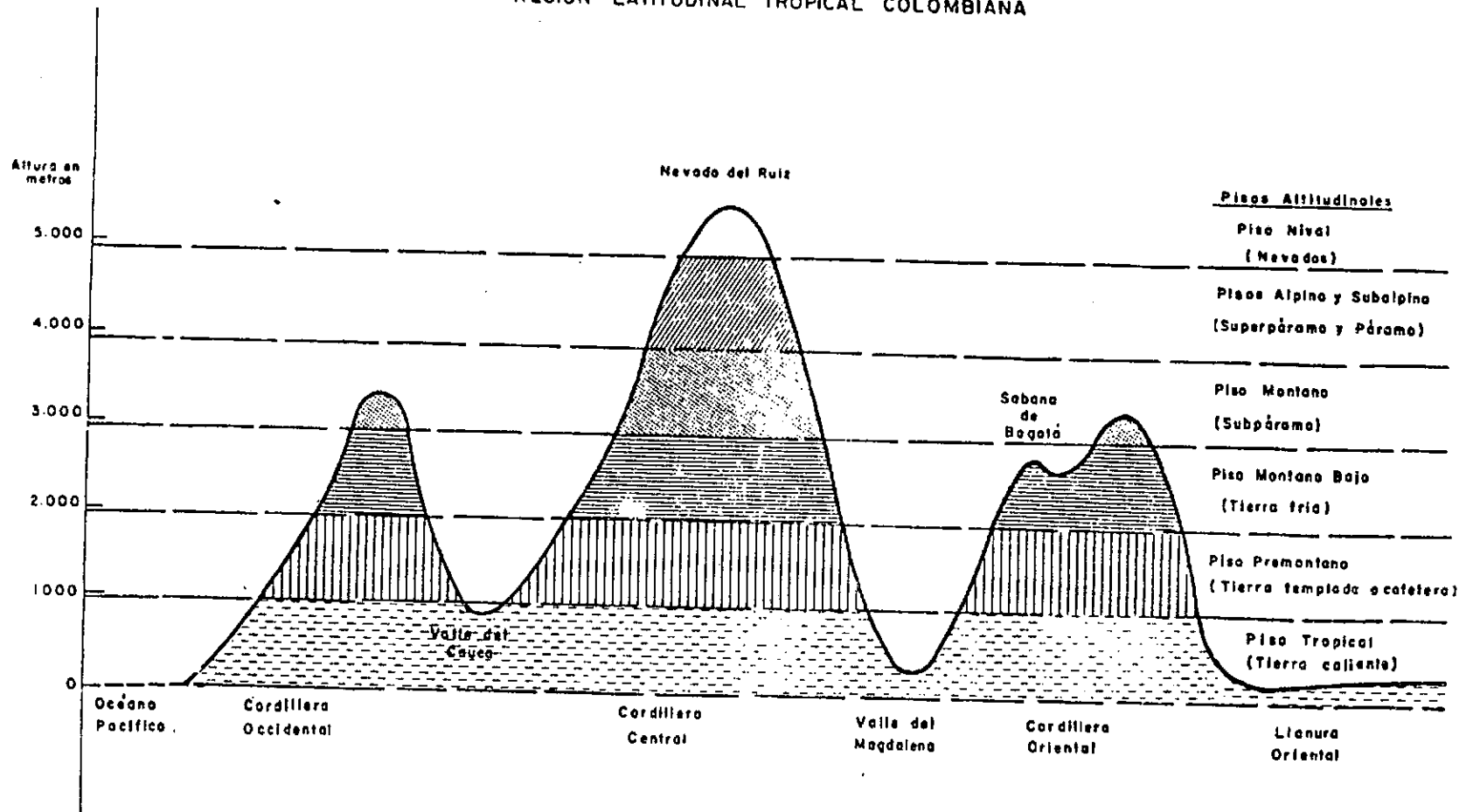


FIGURA:2 Corte esquemático de las Cordilleras Colombianas. Equivalencia de los pisos de Holdridge con la denominación común de las zonas.

los materiales lavados del A y el horizonte inferior (C) corresponde al material parental (roca madre) no descompuesto, aunque si puede estar desintegrado.

Desde el punto de vista agrícola y de fertilidad, el horizonte A es el más importante, porque las plantas desarrollan allí la mayor parte de sus raíces; porque la actividad biológica del suelo se concentra en él, y porque es el más rico en nutrientes. La conservación de este horizonte es de gran importancia y se deteriora y destruye por las quemas, la erosión y el mal manejo. En un suelo bajo condiciones ideales, el horizonte A debe estar constituido por 45% de material inorgánico, 5% de materia orgánica, 25% de agua y 25% de aire.

3.1. TEXTURA

Hace referencia a las diferentes proporciones de separados en la fracción mineral del suelo, denominándose los separados de la manera siguiente: Arenas, si sus tamaños son de 2,00 a 0,05 mm de diámetro; limos, si sus tamaños son de 0,05 a 0,002 mm de diámetro, y arcillas, si sus tamaños son menores de 0,002 mm de diámetro. De acuerdo con el separado que domine el suelo, éste recibe un nombre especial o textural; así por ejemplo, si domina la arena, el suelo se denomina arenoso o liviano; si domina la arcilla, se denomina arcilloso o pesado, y si hay una mezcla adecuada de los tres separados se denomina franco.

Entre algunas propiedades del suelo que están relacionadas con su textura, se pueden citar la facilidad de laboreo o preparación, susceptibilidad a la erosión, facilidad de germinación de las semillas y penetración de las raíces, contenido y retención de nutrientes; contenido, retención y penetración de agua y aireación.

3.2. ESTRUCTURA

Con este término se denomina el arreglo de las partículas sólidas de un suelo. Una estructura bien desarrollada indica generalmente la presencia de arcilla y materia orgánica, las cuales tienen propiedades aglutinantes. Los distintos arreglos estructurales se denominan granular, en placas, en bloques y prismáticos; el más deseable es el tipo granular. La estructura se destruye cuando un suelo que contiene arcillas se ara estando muy húmedo; este proceso reduce el volumen de poros para la aireación y retención de agua.

3.3. COLOR

Esta propiedad está estrechamente relacionada con el contenido de materia orgánica y la naturaleza química de los compuestos de Fe presentes. La presencia de colores oscuros, generalmente está asociada con altos contenidos de materia orgánica y los colores rojos, amarillos y en general brillantes, están asociados con la buena aireación del suelo y en consecuencia con buenos estados de drenaje interno. En suelos altos en compuestos de Fe oxidados, el color oscuro de la materia orgánica generalmente es enmascarado por los colores rojos y amarillos de estos compuestos. Los colores grises y azulados generalmente indican condiciones de mal drenaje interno y mala aireación.

En relación con el color del suelo, se ha observado que a medida que aumenta la altura sobre el nivel del mar y disminuye la temperatura, los suelos son más oscuros por el mayor contenido de materia orgánica (Tabla 2) (18).

3.4. PERMEABILIDAD

Esta propiedad se refiere a la rapidez con la cual se mueve el agua desde la superficie del suelo al interior de éste y a través de los poros.

TABLA 2. Contenido promedio de materia orgánica en suelos de varias regiones de Colombia.

Región	Altura media m. s. n. m.	Temperatura °C	M. O. %
Sabana de Bogotá	2.600	12	19,80
Zona Cafetera	1.400	21	9,80
Valle del Cauca	1.000	24	4,20
Llanos Orientales	500	26	3,00
Costa Atlántica	50	28	2,40

La permeabilidad depende principalmente de la textura, estructura y espacio poroso. Tiene influencia en la aireación y capacidad del suelo para retener agua.

3.5. CAPACIDAD DE RETENCION DE AGUA

La propiedad del suelo para retener agua, depende principalmente de su textura, estructura, permeabilidad y contenido de materia orgánica. Se considera que el agua del suelo aprovechable para el crecimiento de las plantas es la que se encuentra en los poros capilares, y su contenido varía entre la capacidad de campo y el punto de marchitamiento permanente.

3.6. PROFUNDIDAD

Como su nombre lo indica, se refiere al espesor de los horizontes o perfil del suelo y depende principalmente del grado de meteorización,

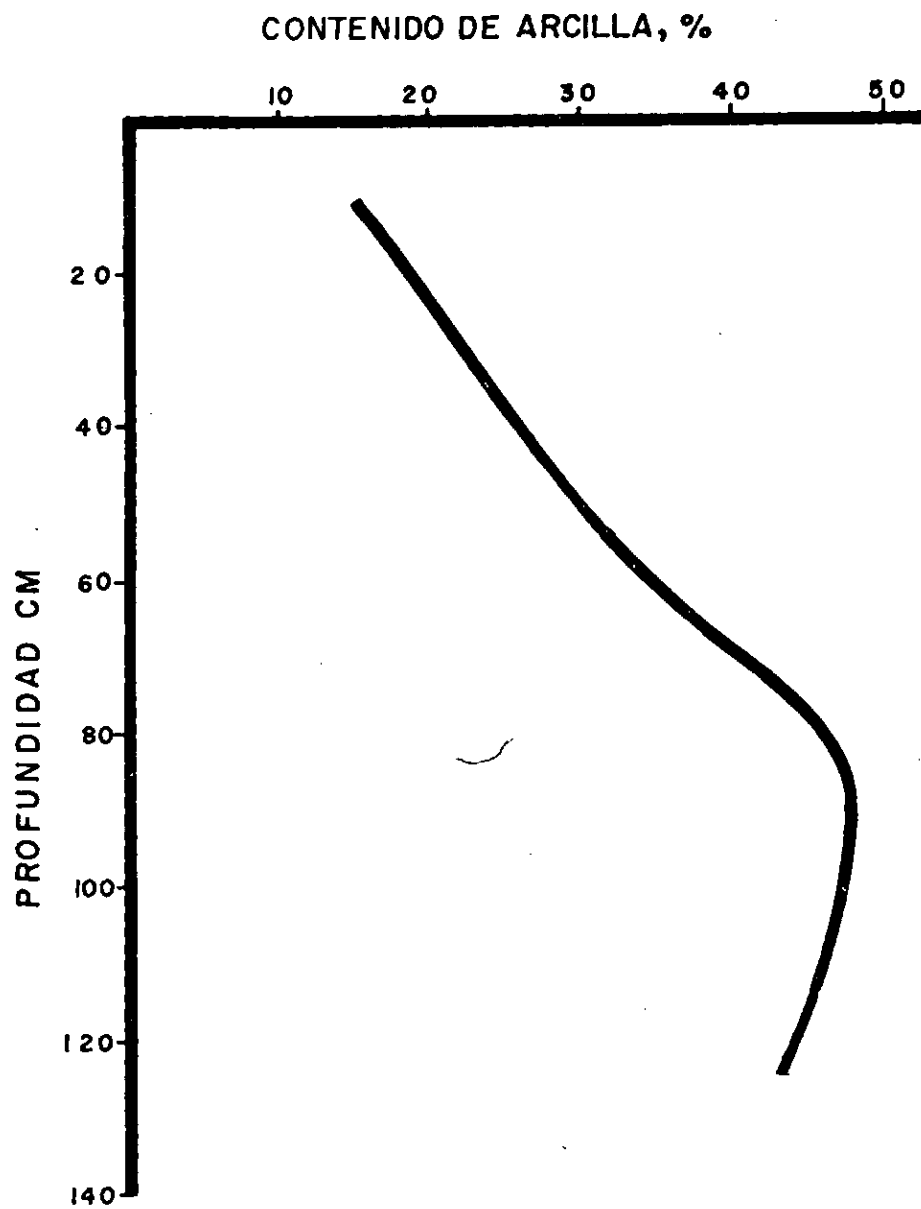


FIG. 3 - RELACION ENTRE LA PROFUNDIDAD Y LA ACUMULACION DE ARCILLA EN SUELOS DEL BOSQUE HUMEDO TROPICAL.

naturaleza del material parental, edad y erosión. La presencia de horizontes endurecidos ("claypan o hardpan") puede limitar seriamente el crecimiento de las raíces de las plantas.

En general, los suelos de regiones húmedas tienden a ser más profundos que los suelos de las regiones secas, especialmente por el efecto de la humedad sobre la descomposición del material parental y mayor crecimiento de la vegetación con mayor acumulación de residuos orgánicos. Los suelos de las regiones húmedas, bajo condiciones normales, tienden a ser más arcillosos en los horizontes más profundos como un efecto de la precipitación sobre el movimiento de arcilla desde los horizontes superficiales (Figura 3) (10).

4. PROPIEDADES QUIMICAS

La naturaleza química del suelo controla el suplemento y disponibilidad de los nutrientes para el crecimiento de las plantas. La mayor parte de la actividad química de un suelo depende del contenido y naturaleza de la arcilla y de la materia orgánica bien descompuesta. Las principales propiedades químicas de un suelo son el contenido de materia orgánica, pH, capacidad de intercambio de cationes y los cationes intercambiables. Estas propiedades están relacionadas unas con otras y es difícil separar el efecto de una sola propiedad en el crecimiento de las plantas.

4.1. MATERIA ORGANICA (M.O)

Generalmente se refiere a la M.O bien descompuesta o humus que está íntimamente unida a las partículas inorgánicas del suelo. La M.O tiene propiedades de intercambio de cationes, la cual es afectada

por el pH. En términos generales, el contenido de M. O disminuye al aumentar la profundidad del suelo.

En la Figura 4 se incluye la distribución porcentual de los valores de M. O en suelos del clima cálido húmedo, cálido seco y región andina de Colombia. Se considera clima cálido húmedo cuando la temperatura es superior a 24°C , la precipitación anual mayor de 2.000 mm. anuales y alturas iguales o menores de 1.000 m. s. n. m.; en él se incluyó la Costa del Pacífico, la Orinoquía y la Amazonía. El clima cálido seco tiene una temperatura superior a 24°C , una precipitación menor de 2.000 mm y una altura igual o menor de 1.000 m. s. n. m.; en él se incluyó la Costa del Atlántico, el Valle del Alto Magdalena, el Valle del Cauca y la Guajira. La región andina tiene una temperatura menor de 24°C y una altura mayor de 1.000 m. s. n. m., con precipitaciones anuales mayores de 500 mm; en esta región también se incluyó la Sabana de Bogotá (9).

En la Figura 4 se observa que el mayor porcentaje de muestras, 62%, con alto contenido de M. O se encuentra en la región andina debido posiblemente a las bajas temperaturas, precipitaciones adecuadas para mayor producción de biomasa y menor descomposición por acción de los microorganismos; esta menor actividad microbiana se puede deber a las bajas temperaturas, deficiencias de elementos como P, Ca, Mg, etc. y pH bajo, acompañado en muchos casos por niveles tóxicos de Al. Cuando se compara el clima cálido húmedo con el cálido seco, se observa mayor contenido de M. O en el cálido húmedo posiblemente por mayor precipitación, acompañada por mayor producción y acumulación de residuos orgánicos y baja actividad de los microorganismos para su descomposición.

4.2. REACCION DEL SUELO O pH

El pH del suelo es una medida de su acidez o alcalinidad; un pH 7,0 es neutro, valores más bajos indican acidez y valores más altos

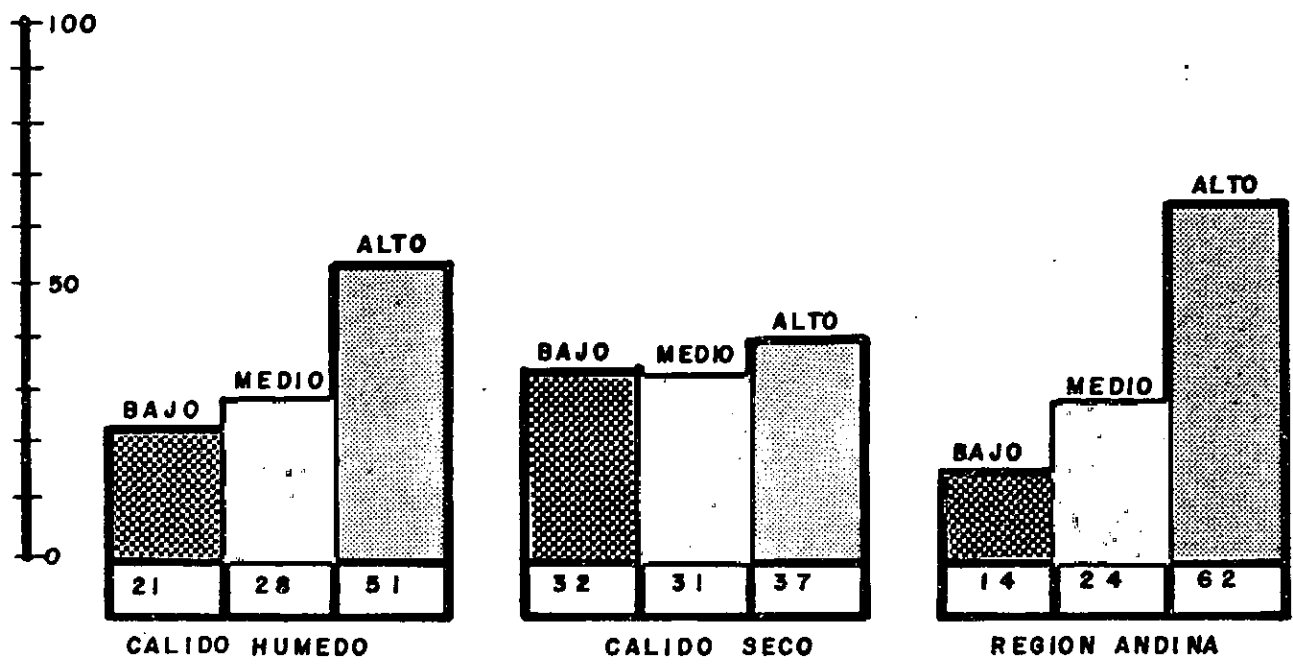


FIG 4. DISTRIBUCION PORCENTUAL DE LOS VALORES DE MATERIA ORGANICA EN SUELOS DE LOS CLIMAS CALIDO HUMEDO, CALIDO SECO Y REGION ANDINA COLOMBIANA.

alcalinidad. Esta propiedad del suelo afecta el crecimiento de las plantas a través de su efecto en la disponibilidad de los elementos esenciales y actividad de los microorganismos; el pH está influenciado por el contenido de M.O, los cationes intercambiables, actividad respiratoria de las plantas y microorganismos, aplicación de enmiendas y fertilizantes, porcentaje de saturación de bases, etc.

En las Figuras 5, 6, 7 y 8 se muestra la relación existente entre el pH y los contenidos de Ca, Mg y Al intercambiables y entre el pH y el P "aprovechable" determinado por el método de Bray II, en un suelo aluvial del Valle de Medellín (16). Se puede observar que existe una correlación positiva y altamente significativa, $r = 0,784^{**}$ entre el pH y el Ca intercambiable; positiva y altamente significativa, $r = 0,729^{**}$, entre el pH y el Mg intercambiable; negativa y altamente significativa, $r = -0,801^{**}$, entre el pH y el Al intercambiable, y positiva y significativa, $r = 0,519^{**}$, entre el pH y el contenido de P "aprovechable".

En la Figura 9 se incluye la distribución porcentual de los valores de pH en los suelos del clima cálido húmedo, cálido seco y región andina de Colombia; se incluyeron las mismas zonas o regiones naturales como en el caso de la M.O. Suelos con valores de pH iguales o menores a 5,5 se consideran bajos, de 5,6 a 7,3 medios y mayores de 7,3 altos, según clasificación del ICA (9). Los pH's bajos predominan en el clima cálido húmedo y en la región andina, con valores de 62 y 51%, respectivamente; los valores medios predominan en el clima cálido seco (67%). Los valores altos de pH, mayores de 7,3 son muy escasos en el clima cálido húmedo (1%) y en la región andina (2%).

Estableciendo una relación entre M.O y pH (Figuras 4 y 9 se observa que a porcentajes altos de muestras con contenido alto de M.O, corresponden porcentajes altos de muestras con pH's bajos. Al comparar los climas cálido húmedo y cálido seco, la predominancia de valores bajos de pH en el primero, además del efecto de la M.O, se

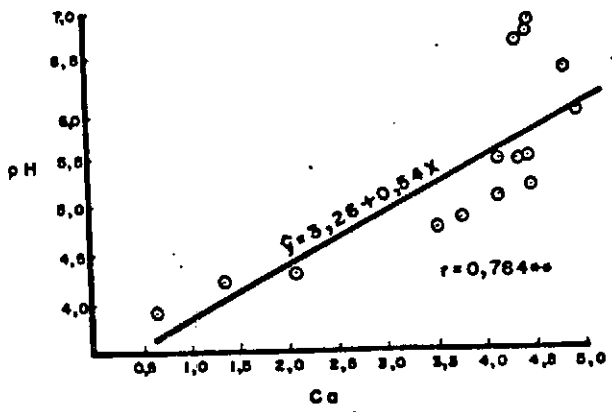


FIG. 5. RELACION ENTRE EL pH Y EL CONTENIDO DE CALCIO INTERCAMBIABLE

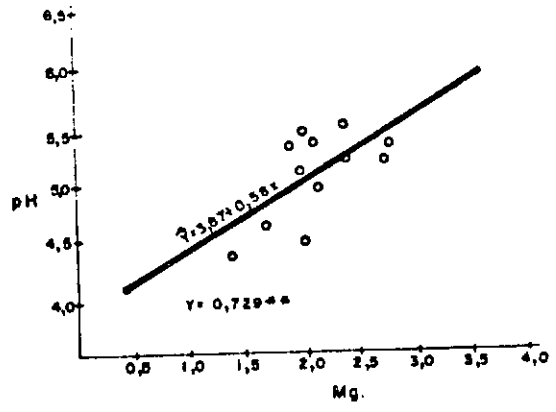


FIGURA 6-RELACION ENTRE EL pH Y EL CONTENIDO DE MAGNESIO INTERCAMBIABLE.

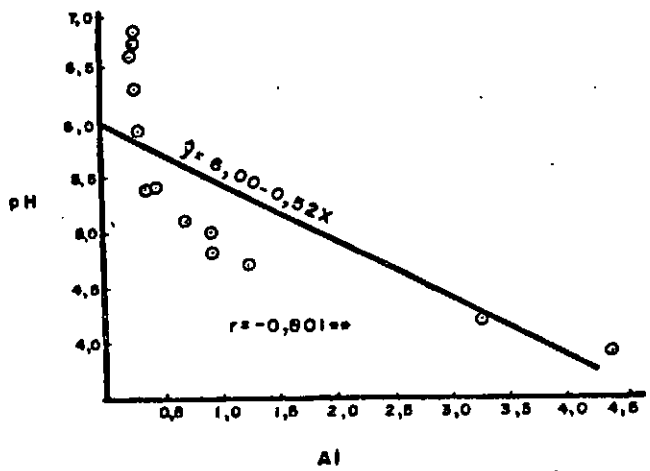


FIG. 7. RELACION ENTRE EL pH Y EL CONTENIDO DE ALUMINIO INTERCAMBIABLE

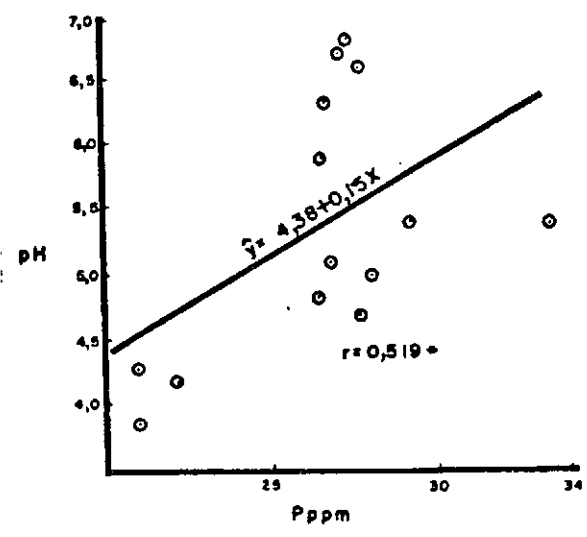


FIG. 8. RELACION ENTRE EL pH Y EL CONTENIDO DE FOSFORO APROVECHABLE

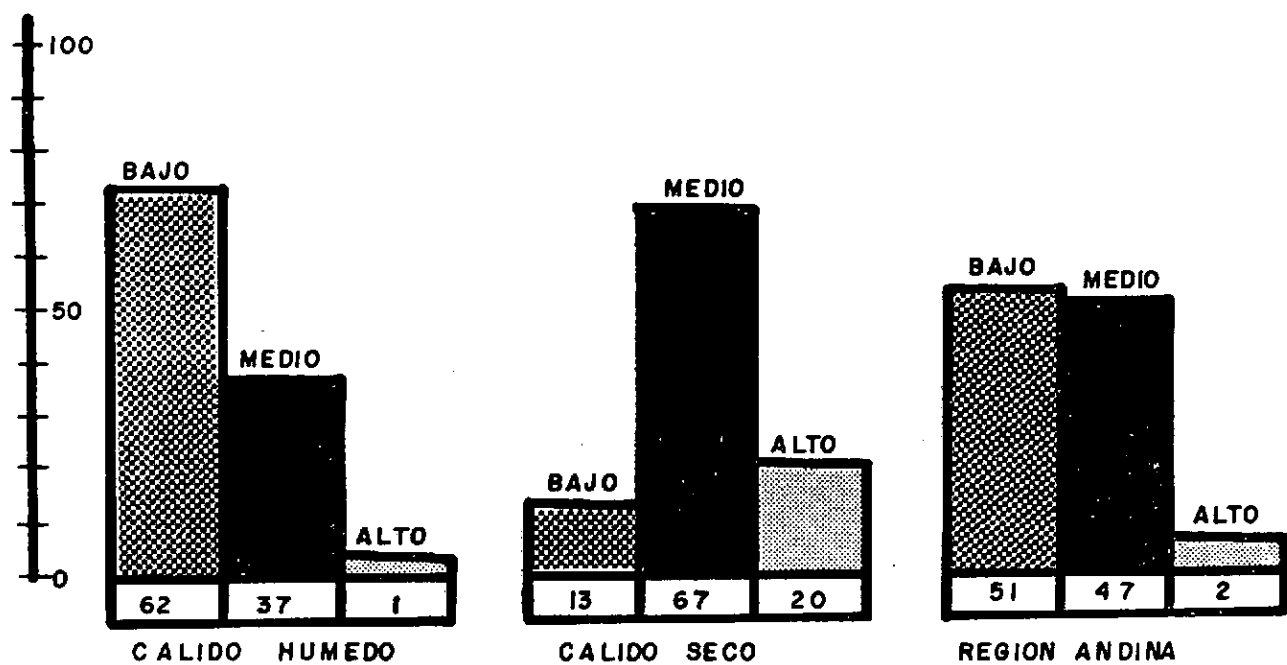


FIG 9 DISTRIBUCION PORCENTUAL DE LOS VALORES DE pH EN LOS SUELOS DE CLIMA CALIDO HUMEDO, CALIDO SECO Y REGION ANDINA COLOMBIANA

puede explicar por el lavado de bases del suelo al subsuelo por la mayor precipitación; la evapotranspiración potencial es mayor en el clima cálido seco, lo cual puede originar movimiento de bases (Ca, Mg, K, Na) del subsuelo al suelo superficial, especialmente en las regiones más secas o áridas.

El pH tiene un efecto muy marcado en el nivel de P disponible y a medida que el pH del suelo disminuye, es decir, aumenta su acidez, el P disminuye. En la Figura 10 se muestra la distribución porcentual de los valores de P "aprovechable" en suelos de clima cálido húmedo, cálido seco y región andina colombiana; los valores bajos predominan en el clima cálido húmedo y región andina, con porcentajes de 76 y 57%, respectivamente; si se relaciona la Figura 10 con la Figura 9 (valores de pH), se observa que precisamente en estas zonas se encuentran los valores más bajos de pH. La suma de los porcentajes de los valores medios y altos de P "aprovechable" en el clima cálido húmedo y región andina es de 24 y 43%, respectivamente, lo cual da soporte al hecho de que en el país es muy generalizada la deficiencia de este elemento; para pH, los valores de las sumas para estas dos grandes zonas es de 38 y 49%, es decir, predominan los suelos con valores de pH iguales o menores a 5,5.

4.3. CAPACIDAD DE INTERCAMBIO DE CATIONES (C.I.C.)

Este fenómeno se refiere a la cantidad total de cationes (Ca, Mg, K, Na, Al, H, Mn, Cu, Zn, etc.) que un suelo puede adsorber por el fenómeno de intercambio. A mayor C.I.C, mayor potencialidad de fertilidad del suelo, aunque otros factores tales como clase de cationes, acidez y alcalinidad también están involucrados. Usualmente se expresa como miliequivalentes por 100 g de suelo seco. Esta propiedad depende principalmente del contenido y naturaleza de la arcilla, contenido de M.O y pH.

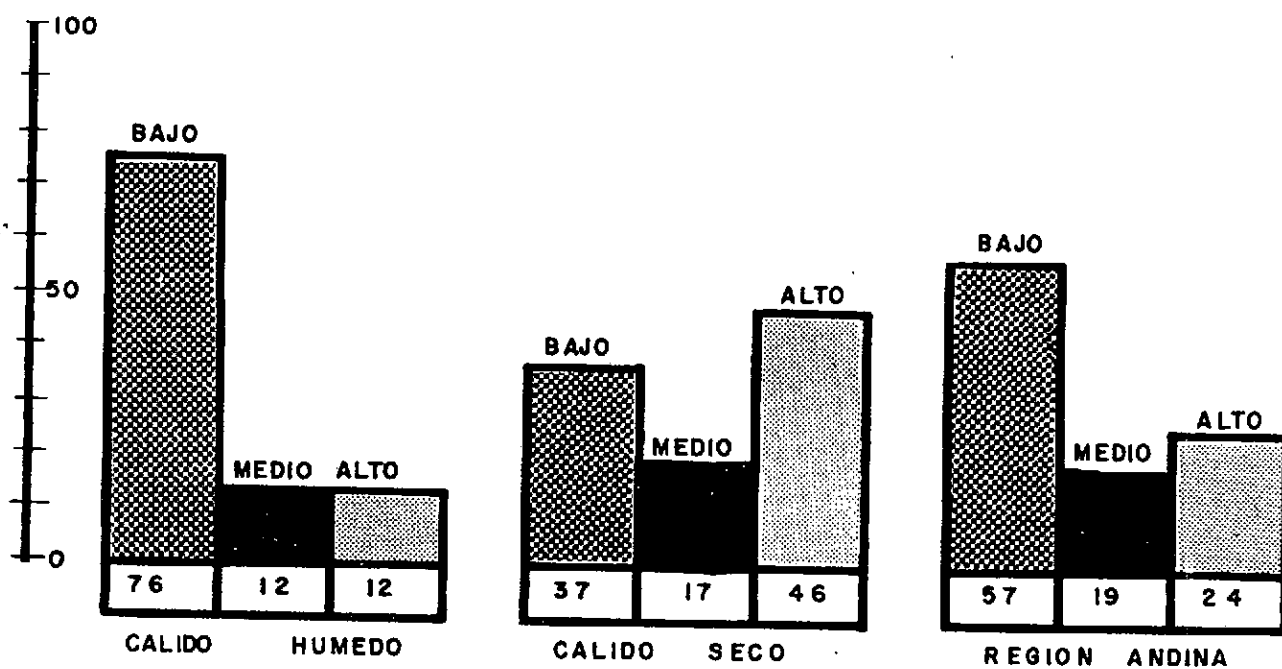


FIG.10- DISTRIBUCION PORCENTUAL DE VALORES DE P APROVECHABLE EN SUELOS DE CLIMA CALIDO HUMEDO, CALIDO SECO Y REGION ANDINA COLOMBIANA.

El contenido de arcilla de los suelos depende principalmente del material parental, topografía, drenaje, grado de meteorización, edad y condiciones climáticas. En Colombia, debido a la gran variabilidad de climas, topografía y drenaje, edad de los suelos, materiales parentales y grado o estado de meteorización, existe gran variabilidad en el contenido de arcilla y en su naturaleza; suelos arenosos, limosos, francos, arcillosos y sus diferentes combinaciones, se encuentran en todas las zonas climáticas y formaciones ecológicas o zonas de vida. Sin embargo, en zonas muy lluviosas en donde es posible el movimiento de la arcilla del horizonte A al horizonte B, pueden predominar en la superficie suelos francos y franco arenosos como en algunas regiones del bosque húmedo tropical (bh-T), bosque muy húmedo tropical (bmh-T) y bosque pluvial tropical (bp-T); estas zonas de vida se encuentran principalmente en el Piedemonte Llanero, Orinoquía, Amazonía y Costa del Pacífico. En gran parte de Urabá, Valle del Sinú y Valle del Cauca, debido principalmente a la edad, mal drenaje y naturaleza de los suelos, tienden a predominar los suelos arcillosos y franco arcillosos.

En la fracción arcillosa de diferentes suelos del país se ha reportado la presencia de caolinita, montmorillonita, ilita, micas, vermiculita, clorita, minerales interestratificados, talco, cuarzo, haloisita, alofana, óxidos hidratados e hidróxidos de Fe y Al, pirofilita, etc. (1, 4, 5, 14). La mayoría de los estudios en suelos tropicales indican que en la fracción arcillosa de los suelos de regiones de mayor precipitación tienden a predominar la caolinita, el cuarzo y los óxidos hidratados e hidróxidos de Fe y Al; en suelos derivados de cenizas volcánicas tienden a predominar los materiales amorfos, sobre todo alofana, haloisita y caolinita; en suelos aluviales recientes predominan la caolinita, montmorillonita, micas, ilita y vermiculita (1, 2, 4, 5, 14).

La C.I.C de diferentes minerales que se encuentran en la fracción arcillosa de los suelos, expresada en miliequivalentes por 100 g de

arcilla, es la siguiente: Caolinita 3-15, montmorillonita 80-100, illita 10-40, vermiculita 100-150, clorita 10-40, alofana 40 (puede variar mucho), óxidos hidratados de Fe y Al 3-5; la M.O también tiene propiedades de intercambio de cationes y ha sido estimada en 200 meq/100 g (12).

En la Tabla 3, tomada de León (14) se incluye el porcentaje de caolinita, montmorillonita y micas, en varios suelos colombianos; se puede observar mayor contenido de montmorillonita y micas en el bosque seco tropical (bs-T) y un mayor contenido de caolinita en el bosque húmedo tropical (bh-T), bosque húmedo premontano (bh-PM) y bosque seco montano bajo (bs-MB). Si solamente se considera este factor, los suelos del bosque seco tropical tienen mayor capacidad para retener cationes en forma intercambiable y una mayor fertilidad potencial; lógicamente, también se debe considerar el contenido de M.O. Los datos presentados en la Tabla 4 también muestran diferencias en los minerales presentes en la fracción arcillosa, de acuerdo a la zona de vida o formación ecológica (1).

TABLA 3. Composición mineral de la fracción arcillosa en algunos suelos colombianos.*

Suelo	Minerales, % aproximado			Zona de vida
	Caolinita	Montmorillonita	Micas	
La Libertad (Villavicencio)	50-60	-	-	bh-T
El Triunfo (Codazzi)	10	10	50	bs-T
Turipaná (Cereté)	30	30-40	10	bs-T
El Placer (Popayán)	50-60	-	-	bh-PM
Coco Rojo (Jamundí)	80	-	-	bh-PM
Serie Río Bogotá	60	10	10	bs-MB

* León, A. 1964. Agric. Trop. 20:442-451.

TABLA 4. Algunos minerales presentes en la fracción arcillosa de suelos colombianos.

Suelo	Algunos minerales presentes en la fracción arcillosa, %					Zona de Vida
	Micas	Caolinita/ Haloisita	Montmo- rillonita	Vermi- culita	Cuarzo	
Palmira	25	-	-	25	Trazas	bs-T
Risaralda	9	20	30	15	5	bs-T
Buenaventura	5	45	10	-	10	bmh-T
Villarica	1	50	10	-	10	bh-PM
Jamundí	2	40	10	10	15	bh-PM

Blasco, M.L. et al. 1969. Turrialba 19:332-339.

En la Figura 11 se muestra la relación existente entre el porcentaje de arcilla y C.I.C en zonas representativas del bosque húmedo tropical y bosque seco tropical. Se puede observar que, en el Piedemonte Llanero (bh-T), la C.I.C varía muy poco con el contenido de arcilla, debido principalmente a los minerales que predominan en la fracción arcillosa (caolinita, cuarzo y minerales amorfos de Fe y Al) (5); en Carepa, Urabá, al aumentar el porcentaje de arcilla, tiende a aumentar la C.I.C; éstos suelos son más recientes que los del Piedemonte Llanero y se ha reportado la presencia de montmorillonita (4). En Arroyo Saco (Atlántico) (bs-T), se observa que al aumentar el porcentaje de arcilla, aumenta la C.I.C, posiblemente debido a la presencia de minerales arcillosos tipo 2:1 (montmorillonita y similares).

4.4. CATIONES INTERCAMBIABLES

Se refiere a los cationes que se encuentran en forma intercambiable en la fracción coloidal de los suelos; generalmente se incluyen el Ca, Mg, K, Na, Al e H como los más comunes. En suelos muy ácidos tienden a predominar el H y Al en el complejo de cambio y en suelos cercanos a la neutralidad y alcalinos predominan el Ca, Mg, K y Na. En las Figuras 12 y 13 se muestra la relación existente entre el Al y Ca intercambiables y entre el Al y Mg intercambiables, respectivamente, en un suelo del Valle de Medellín (16, 21). En el caso de la relación Al:Ca se obtuvo un coeficiente de correlación negativo y altamente significativo ($r = -0,980^{**}$), y en el caso de la relación Al:Mg, también se obtuvo un coeficiente de correlación negativo y altamente significativo ($r = -0,787^{**}$). Generalmente en los suelos, independientemente del clima, se observa una estrecha relación entre estos dos elementos y su disponibilidad es influenciada por factores similares (pH, tipo de coloide, K disponible, relación Ca:Mg) (Figura 14) (13).

En la Figura 15 se incluye la distribución porcentual de los valores de la relación Ca:Mg en suelos de los climas cálido húmedo, cálido seco

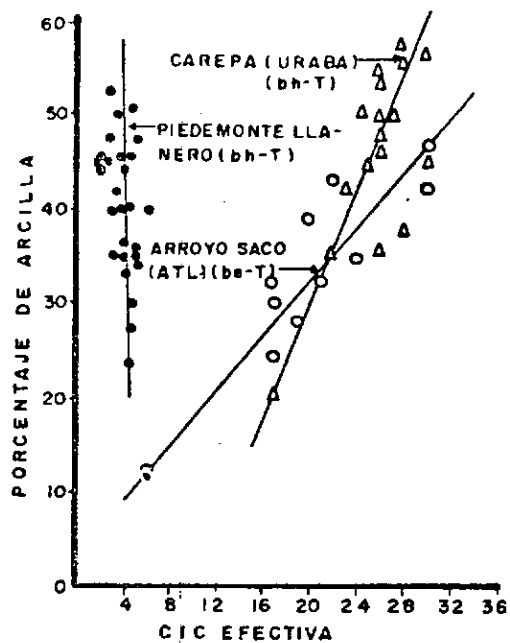


FIG. 11- RELACION ENTRE EL PORCENTAJE DE ARCILLA Y LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO DE CATIONES EN EL BOSQUE HUMEDO TROPICAL (bh-T) Y BOSQUE SECO TROPICAL (bs-T).

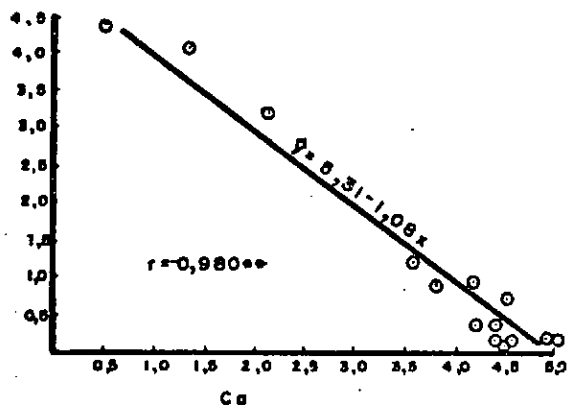


FIG. 12- RELACION ENTRE EL CONTENIDO DE ALUMINIO Y EL CALCIO INTERCAMBIABLE.

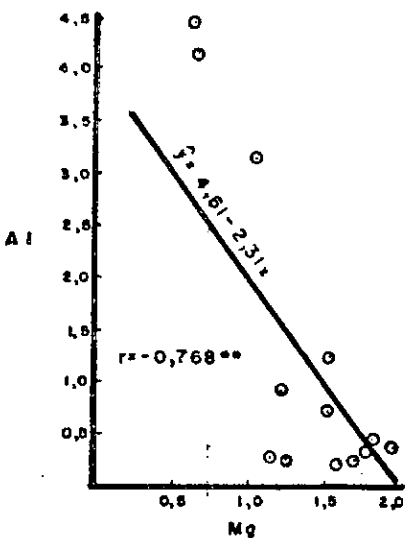


FIG. 13- RELACION ENTRE EL CONTENIDO DE ALUMINIO Y MAGNESIO INTERCAMBIABLES.

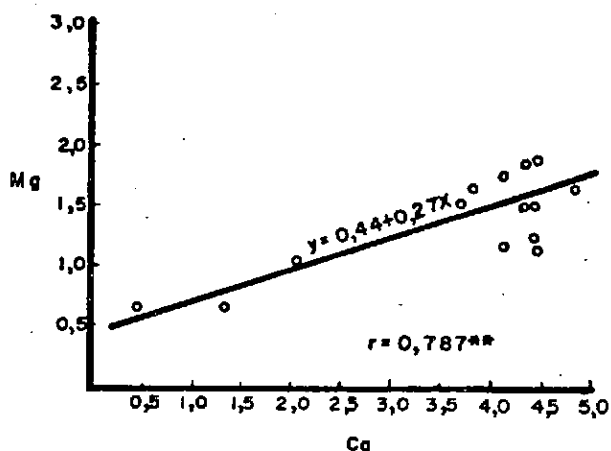


FIG. 14 RELACION ENTRE LO CONTENIDOS DE MAGNESIO Y CALCIO INTERCAMBIABLES

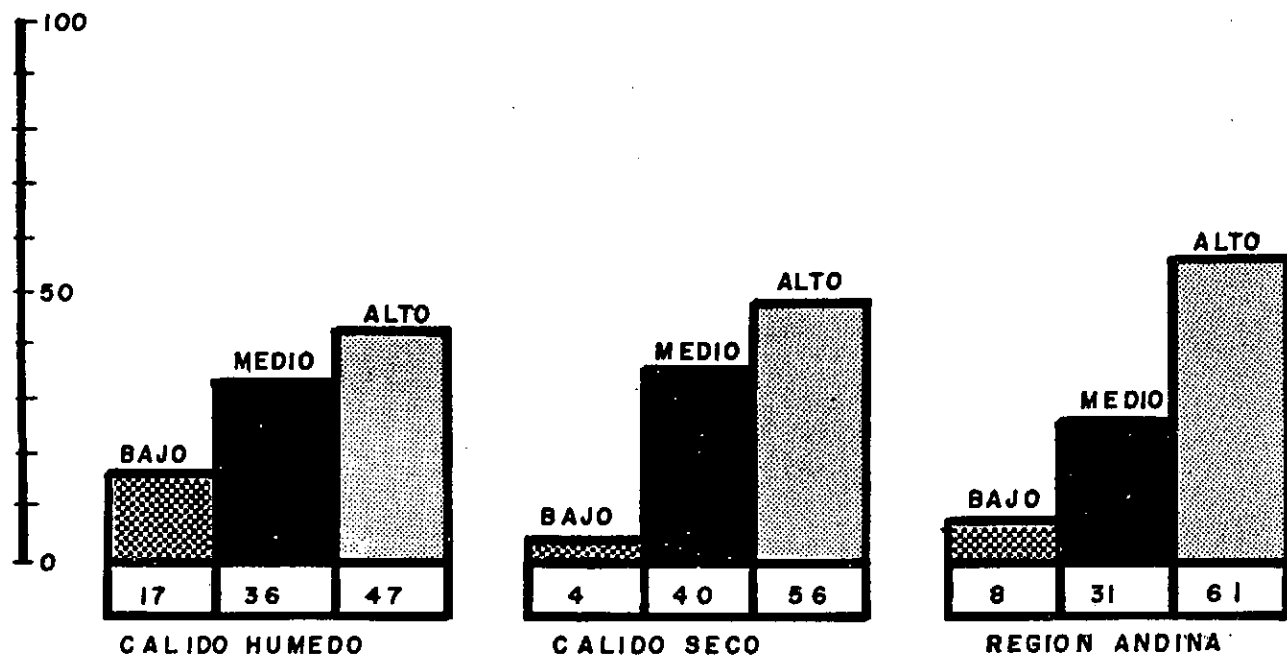


FIG.15. DISTRIBUCION PORCENTUAL DE LOS VALORES DE LA RELACION $Ca:Mg$ EN SUELOS DE LOS CLIMAS CALIDO HUMEDO, CALIDO SECO Y REGION ANDINA COLOMBIANA.

y región andina colombiana; los valores bajos, medios y altos, corresponden a relaciones iguales o menores a 1, de 1, 1 a 3 y mayor de 3, respectivamente (9). Para las tres regiones, los mayores porcentajes corresponden a una relación Ca: Mg alta, con valores de 61, 56 y 47%, para la región andina, clima cálido seco y cálido húmedo, respectivamente, y los menores porcentajes corresponden a una relación Ca: Mg baja, con valores de 17, 8 y 4% para el clima cálido húmedo, región andina y cálido seco, respectivamente. Esto parece indicar que en el clima cálido húmedo, por efecto de mayor meteorización, el Ca se ha perdido en mayor cantidad que el Mg del horizonte superficial. Los valores medios de 1, 1 a 3, se pueden considerar adecuados para las tres zonas, con porcentajes de 40, 36 y 31%, respectivamente, para el clima cálido seco, cálido húmedo, región andina. En términos generales, una relación Ca: Mg entre 2:1 y 3:1 se considera adecuada para el normal crecimiento de las plantas, aunque existe discusión al respecto (8, 13). En algunos suelos del país, especialmente del bosque seco tropical, se ha encontrado una relación Ca: Mg invertida, es decir, mayor cantidad de Mg que de Ca en forma intercambiable (9).

En la Figura 16 se incluye la distribución porcentual de los valores de K intercambiable en suelos de los climas cálido húmedo, cálido seco y región andina (9). La clasificación de bajo corresponde a los valores más altos, con 70, 40 y 37% para el clima cálido húmedo, cálido seco y región andina, respectivamente. El porcentaje más bajo, 12%, corresponde a la categoría de alto en el clima cálido húmedo, lo cual indica el efecto de alta meteorización en la pérdida de K del suelo superficial. Considerando esta zona climática y comparando las Figuras 15 y 16 en cuanto a los valores de la relación Ca: Mg y K intercambiable, a una relación Ca: Mg baja, corresponde un porcentaje bajo (17%) y a un valor bajo de K intercambiable corresponde un porcentaje alto (70%); ésto da soporte al fenómeno de fuerza de retención de los cationes por el material coloidal del suelo, el cual dice que el H y Al son

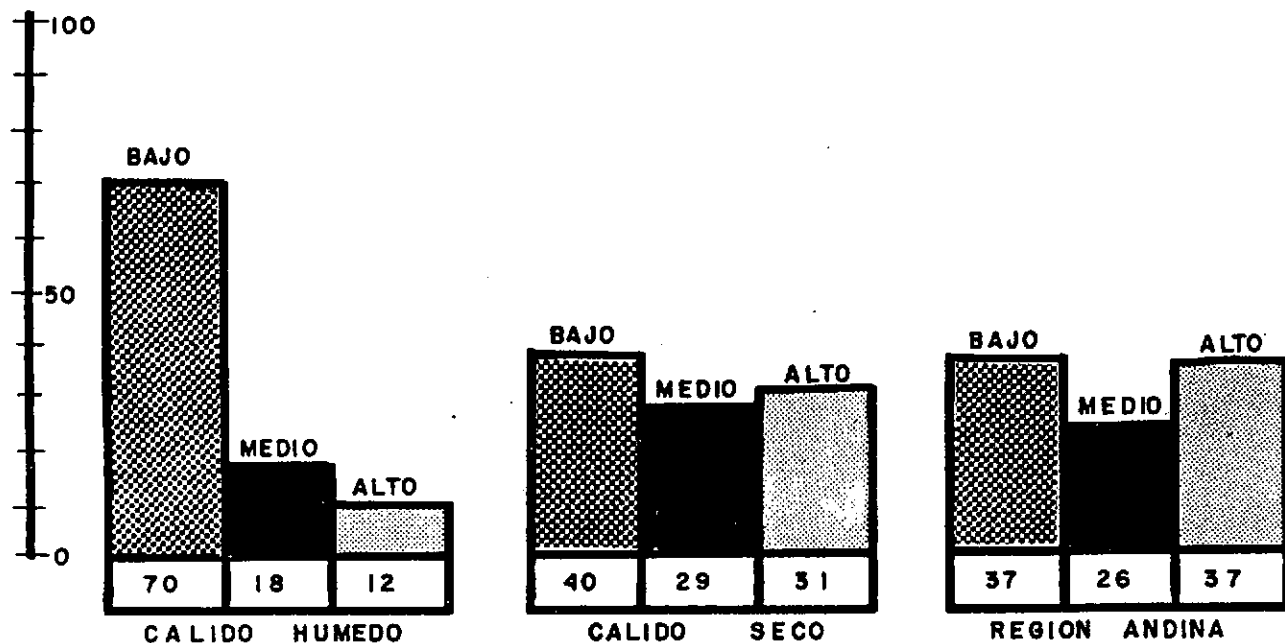


FIG.16 -DISTRIBUCION PORCENTUAL DE VALORES DE K INTERCAMBIABLE EN SUELOS DE LOS CLIMAS CALIDO HUMEDO, CALIDO SECO Y REGION ANDINA COLOMBIANA.

retenidos con mayor fuerza que el Ca y Mg y éstos con mayor fuerza que el Na y K; al observar la Figura 16 se nota una condición relativamente favorable para el contenido de K en el clima cálido seco y región andina, con diferencias no muy grandes entre las categorías bajo, medio y alto.

5. FERTILIDAD

La fertilidad de un suelo se puede definir como una cualidad de éste para suministrar los nutrientes apropiados, en cantidades adecuadas y balanceadas para el crecimiento normal de las plantas, cuando otros factores como la luz, temperatura, humedad y condiciones físicas son favorables. La fertilidad alta resulta de una combinación adecuada de propiedades físicas y químicas favorables, bajo condiciones climáticas adecuadas. Por ejemplo, los suelos de la Guajira pueden tener condiciones físicas y químicas favorables, pero la lluvia es insuficiente para una producción intensiva de cultivos; se puede decir que su fertilidad actual es baja pero la potencial es alta.

Como se ha observado a través del análisis de las propiedades físico-químicas de suelos representativos de los climas cálido húmedo, cálido seco y región andina, incluyendo en esta última la Sabana de Bogotá, existe gran variación en la fertilidad de los suelos de Colombia como para permitir comparaciones precisas y más cuando a lo anterior se le adiciona la gran diversidad de materiales parentales, edad de los suelos, organismos (principalmente vegetación) y estado de meteorización. La situación más crítica, considerando todo el país, parece presentarse por la predominancia de suelos ácidos, deficiencia de P "aprovechable" y deficiencia de N disponible para las plantas, aunque los valores de M.O aparecen relativamente altos. Es necesario considerar que este N presente en combinaciones orgánicas no está

disponible inmediatamente para las plantas y es necesario crear un ambiente adecuado para que se transforme en formas asimilables (NH_4^+ y especialmente NO_3^-); esta transformación es afectada por muchos factores, entre los cuales cabe destacar el pH, la temperatura, humedad, aireación, P disponible, Ca, Mg y nivel de Al que puede ser tóxico a los microorganismos que realizan las transformaciones.

En la Tabla 5, tomada de Westin y De Brito (26) se incluye la distribución del P activo inorgánico en suelos de los trópicos en relación con su estado de meteorización. Como se observa, a medida que aumenta el grado de meteorización, disminuyen los fosfatos de Ca y aumentan los de Al y de Fe, especialmente estos últimos, que son menos "aprovechables" para las plantas; ésto puede explicar el alto porcentaje de suelos con valores bajos de P en el clima cálido húmedo y región andina (Figura 10).

TABLA 5. Distribución del fósforo activo inorgánico en suelos de los trópicos en relación con su estado de meteorización.*

Grado de Meteorización	Distribución porcentual de los fosfatos inorgánicos activos		
	P - Ca	P - Al	P - Fe
Muy fuerte	4	0	96
Fuerte	6	20	74
Moderado	23	13	64
Débil	38	16	46

* Westin and De Brito. 1969. Soil Sci. 107:194-202.

TABLA 6. Capacidad de varios suelos colombianos para producir nitratos y algunas de las propiedades más importantes de esos suelos.

SUELO	PRODUCCION DE NO ₃ ppm	M.O %	pH	SATURACION BASES %	Al Inter.	P ppm BrayII	ZONA DE VIDA
TURIPANA-CORDOBA	78	2,9	6,7	73,2	0,1	82,4	bs-T
TIBAITATA- CUNDIN.	72	6,6	5,0	47,8	0,4	29,1	bs-MB
CODAZZI-MAGDALENA	45	2,4	7,3	73,4	0,1	167,2	bs-T
SERIE ARROYO-TOLIMA	43	1,4	6,5	86,7	0,1	24,7	bs-T
EL PLACER- CAUCA	37	13,2	4,7	14,3	2,6	19,1	bh-PM
LA SELVA- ANTIOQUIA	18	27,6	5,0	5,2	2,1	3,7	bh-MB
SERIE RIO BOGOTA	4	3,6	4,4	51,0	3,2	16,7	bs-MB
LA LIBERTAD.VILLAV.	3	3,1	4,5	7,1	3,3	5,5	bh-T

BLA 7. Efecto de la profundidad en el contenido de arcilla, materia orgánica, pH, P disponible, cationes intercambiables y capacidad de intercambio de cationes efectiva, en suelos del Piedemonte Llanero. La Libertad, Villavicencio (bh-T).

Perfil	Profundidad cm.	Arcilla %	M.O. %	pH	P, ppm (BrayII)	m.e/100 g de suelo					
						Al	Ca	Mg	K	Na	CIC ef.
Libertad	0 - 10	40	3,2	5,1	2,46	2,7	0,1	0,4	0,10	0,04	3,6
	10 - 45	42	2,6	5,1	1,05	2,5	0,1	0,1	0,04	0,04	3,5
	45 - 80	45	1,3	5,1	0,70	2,2	0,1	0,1	0,04	0,04	2,9
	30 -120	46	0,5	5,2	0,70	2,4	0,1	0,1	0,04	0,04	2,7
	120 -160	48	0,4	5,4	0,70	2,2	0,1	0,1	0,04	0,04	2,9
Retiro	0 - 15	34	3,0	4,5	4,21	3,7	0,1	0,4	0,10	0,10	5,5
	15 - 30	35	1,9	4,6	2,80	4,2	0,1	0,1	0,04	0,04	5,3
	30 - 50	40	1,2	4,7	2,80	3,6	0,1	0,1	0,04	0,04	6,1
	50 - 80	47	0,5	4,8	0,35	3,3	0,1	0,1	0,10	0,10	5,0
	80 -108	51	0,5	4,6	0,40	3,5	0,1	0,1	0,04	0,04	4,3
	108 -130	46	0,4	5,0	0,05	2,9	0,1	0,1	0,04	0,04	4,1
	130 -160	47	0,5	5,1	0,70	3,4	0,1	0,1	0,04	0,04	3,9
Encanto	0 - 15	33	3,2	4,2	0,35	3,0	0,1	0,4	0,10	0,04	4,2
	15 - 32	35	1,9	4,8	3,86	3,8	0,1	0,1	0,04	0,04	4,1
	32 - 58	37	1,2	5,0	2,80	2,3	0,1	0,1	0,04	0,04	4,1
	58 - 78	42	0,9	5,0	2,80	2,7	0,1	0,1	0,04	0,04	3,5
	78 -120	45	0,7	4,9	0,70	3,1	0,1	0,1	0,04	0,04	3,5
	120 -160	45	0,7	5,4	0,35	2,1	0,1	0,1	0,04	0,04	2,5

TABLA 8. Efecto de la profundidad en el contenido de arcilla, materia orgánica, pH, P disponible, cationes intercambiables y capacidad de intercambio de cationes efectiva, en suelos de la zona de Arroyo Saco (Atlántico) (bs-T).

Perfil	Profundidad cm	Arcilla %	M.O. %	pH	P,ppm (BrayII)	C.I.C.Ef. m.e./100 g suelo				
						Ca	Mg	K	Na	C.I.C.Ef.
Serie Rodado	0 - 20	32	2,9	6,8	33	14,0	5,2	1,4	0,7	20,9
	20 - 50	32	0,8	6,0	26	10,5	4,8	0,3	0,5	17,3
	50 - 100	39	0,5	6,1	30	12,0	6,1	0,3	0,6	19,9
	100 - 140	43	1,1	6,3	42	12,2	5,9	0,4	0,9	22,1
	140 - 200	28	0,4	6,9	36	13,0	7,7	0,3	1,0	19,2
Serie Azucena	0 - 30	24	2,4	6,2	87	10,2	3,6	0,7	0,5	16,8
	30 - 100	30	0,8	6,7	81	10,0	4,6	0,3	0,6	17,0
	100 - 200	12	0,2	7,6	84	4,2	2,4	0,2	0,2	7,0

los cultivos que en ellos crecen responden muy bien a la aplicación de nutrientes especialmente al P y a la aplicación de cal, como se muestra en la Figura 17 sobre el efecto de la aplicación de N, P, K y cal en el rendimiento del maní (Arachis hypogaeae L.) (23). Los Programas de Suelos y Pastos y Forrajes del ICA, han obtenido aumentos muy significativos en los rendimientos de diferentes cultivos y pastos con la aplicación de fertilizantes en estos suelos.

En la Tabla 8, en la cual se incluyen dos perfiles de suelos del bs-T, se observa que el contenido de arcilla tiende a aumentar con la profundidad; la M.O se puede considerar baja en el suelo superficial y disminuye con la profundidad; el pH es muy adecuado para el crecimiento de las plantas; el P disponible es relativamente alto, lo mismo que el Ca, Mg y K y la C.I.C. La fertilidad natural de estos suelos es relativamente alta y los factores más limitantes son la falta de agua en ciertas épocas y la deficiencia de N; es posible que se presente antagonismos entre el Ca y Mg con el K, por el alto contenido de los dos primeros. En la Figura 18 se observa la respuesta de varios pastos a la aplicación de N en el Valle del Cauca (8). La respuesta fue lineal hasta 100 kg/Ha de N, aplicado después de cada corte, en el ángleton (Dichanthium aristatum) y en el pangola (Digitaria decumbens); en el puntero (Hyparrhenia rufa) y braquiaria (Brachiaria decumbens), la respuesta fue lineal hasta la dosis de 50 kg/Ha de N, aplicado después de cada corte.

En las Tablas 9 y 10, se incluyen resultados obtenidos con la aplicación de P y K a los pastos ángleton, guinea (Panicum maximum), pangola, pará (Brachiaria mutica) y elefante (Pennisetum purpureum) en el Valle del Sinú (bs-T) (19). Como se puede observar, ninguno de los pastos respondió significativamente a la aplicación de P y K; estos resultados concuerdan con muchos otros obtenidos por los Programas de Suelos y Pastos y Forrajes en otros cultivos y pastos en el bs-T. Generalmente, en esta zona de vida, las mayores respuestas se han obtenido con la aplicación de N.

TABLA 9. Respuesta de los pastos a la aplicación de fósforo en el Valle del Sinú (bs-T) forraje seco, t/Ha/corte.*

Dosis de P_2O_5 kg/Ha	Angleton (21)**	Guinea (20)	Pangola (26)	Pará (14)	Elefante (20)
0	4,06	4,06	3,33	3,52	12,42
50	3,85	5,85	3,13	3,65	12,79
100	3,96	6,04	3,22	3,33	12,91

TABLA 10. Respuesta de los pastos a la aplicación de potasio en el Valle del Sinú (hs-T). Forraje seco t/Ha/corte.*

Dosis de K_2O kg/Ha	Angleton (21)**	Guinea (20)	Pangola (26)	Pará (14)	Elefante (20)
0	4,10	5,71	3,14	3,32	12,99
50	3,83	5,92	3,22	3,63	12,30
100	3,93	6,00	3,32	3,55	12,54

* Aplicación uniforme de 50 kg/Ha de N después de cada corte.

** Entre paréntesis el número de cortes.

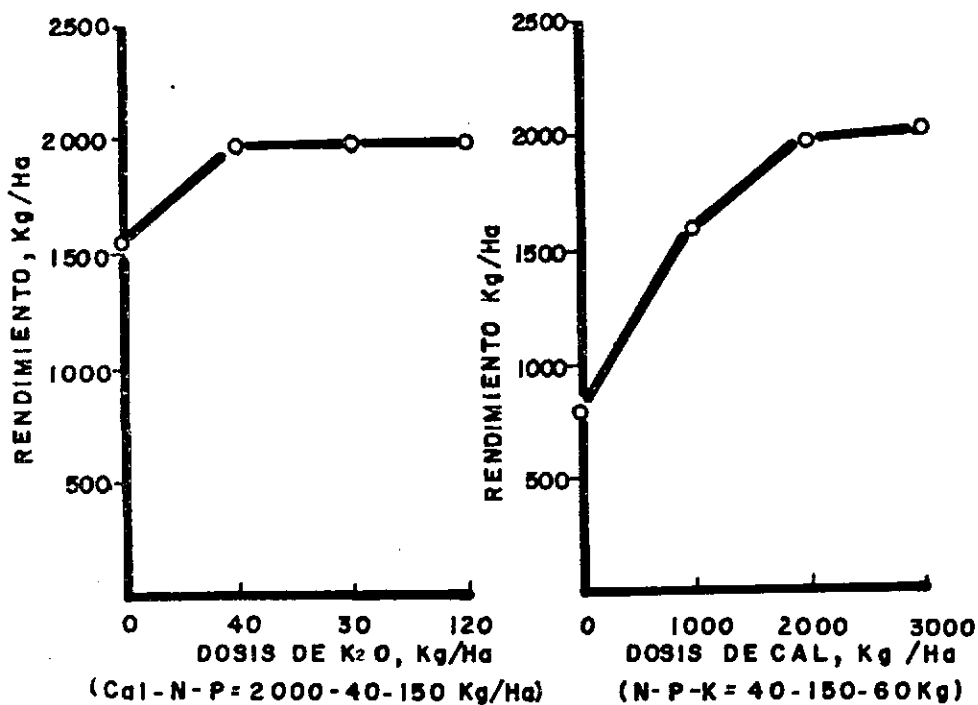
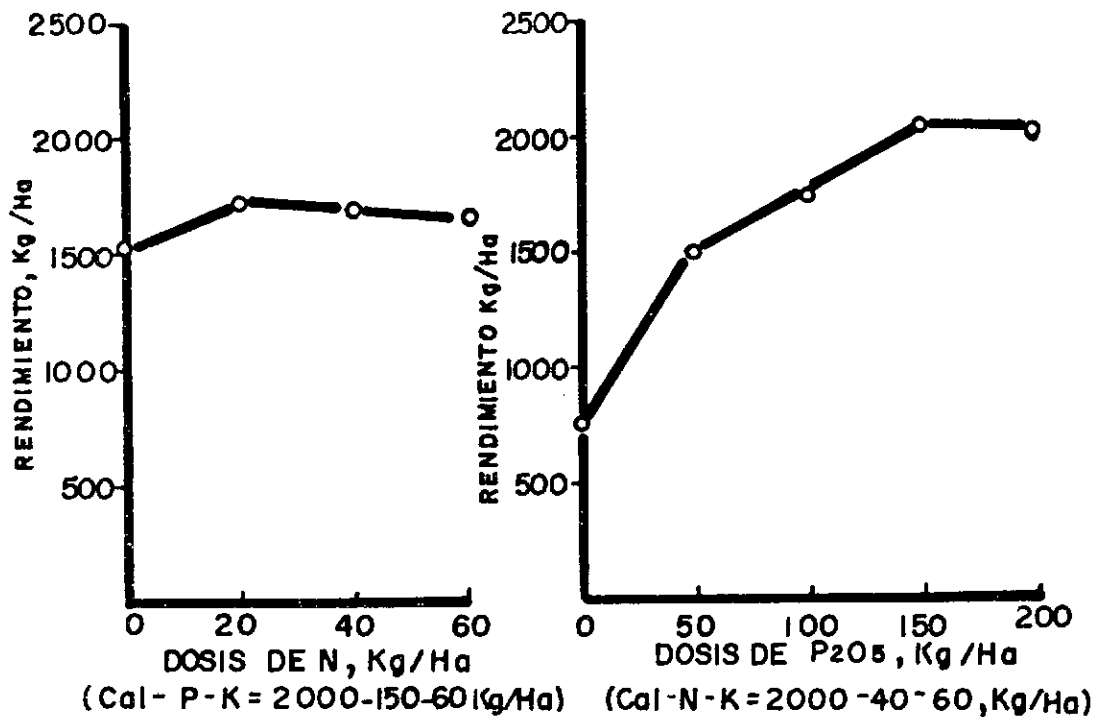


FIG. 17. EFECTO DE LA APLICACION DE NPK Y CAL EN EL RENDIMIENTO DEL MANI (*Arachis hypogaea* L.) EN EL PIEDEMONTÉ LLANERO. LA LIBERTAD VILLAVICENCIO (bh-T).

5.2. COMPARACION DEL BOSQUE HUMEDO PREMONTANO (bh-PM) Y EL BOSQUE MUY HUMEDO PREMONTANO (bmh-PM).

El bh-PM tiene como límites de temperatura 18 a 24°C, precipitación anual entre 1.000 y 2.000 mm y altura de 900 a 2.100 m. s. n. m.; el bmh-PM tiene como límites climáticos 17 a 24°C, precipitación anual de 2.000 a 4.000 mm y está localizado entre 1.000 a 2.000 m. s. n. m. Las variaciones entre las condiciones climáticas, materiales parentales, edad de los suelos, vegetación, etc., hacen difíciles las comparaciones, como se mencionó anteriormente. En estas zonas de vida se encuentran suelos rojos de clima medio, formados in situ, suelos coluviales, aluviales y aún suelos afectados por cenizas volcánicas de diferente edad y composición.

En la Tabla 11 se incluyen algunas propiedades químicas de suelos representativos del bh-PM (24). En términos generales, se puede observar bastante variación en los valores de pH, M.O y cationes intercambiables, con tendencia a valores más bajos de Ca, Mg y K en el bmh-PM, posiblemente debido a mayor lavado de bases del horizonte superficial; el contenido de P es bajo para las dos zonas de vida.

En estas dos zonas de vida, el cultivo más importante es el café y en la Tabla 12 se incluyen datos de experimentos de fertilización de café en los suelos incluidos en la Tabla 11 (24). Considerando las cosechas por separado, en las dos zonas de vida, se observa que en algunas hubo respuesta significativa a la aplicación de N, K, al N y P, al N y K; en algunos lugares y en ciertas cosechas no hubo respuesta a la aplicación de N, P y K. En el acumulado para las ocho localidades, en siete se obtuvo respuesta significativa al N y en cinco al K. Aunque los niveles de K intercambiable se pueden considerar de medios a altos, posiblemente el café es muy exigente en este elemento o el K intercambiable no es una buena indicación del K "aprovechable" para las plantas o se presentaron antagonismos entre elementos; sin

TABLA 11. Propiedades químicas de suelos representativos del bosque húmedo premontano (bh-PM) y del bosque muy húmedo premontano (bmh-PM).

LUGARES	pH	M.O. %	P, ppm (Bray II)	Ca Mg K		
				m.e./100 g.		
PARAGUAICITO, BUENAVISTA (bh-PM)	5,4	6,6	12	5,2	2,1	0,61
MESITAS, CACHIPAY (bh-PM)	5,0	8,3	3	13,4	6,7	0,18
GRANJAS, EL COLEGIO (bh-PM)	5,1	16,3	4	12,3	4,4	0,57
NARANJAL, CHINCHINA (bmh-PM)	5,6	13,1	11	0,9	0,9	0,22
CENICAFE, CHINCHINA (bmh-PM)	4,8	6,6	25	3,3	2,3	0,34
EL ROSARIO, VENEZIA (bmh-PM)	4,0	13,8	8	2,0	1,6	0,14
PIAMONTE, FREDONIA (bmh-PM)	4,9	5,5	10	5,1	5,1	0,17
LA TRINIDAD, LIBANO (bmh-PM)	5,7	17,8	8	9,0	1,8	0,60

TABLA 12. Respuesta del café a las aplicaciones de N, P y K en diferentes localidades.*

LUGARES	COSECHAS					Acumulado
	1	2	3	4	5	
PARAGUAICITO, BUENAVISTA (bh-PM)	N	N	NO	N	N	N
MESITAS, CACHIPAY (bh-PM)	NO	N, K	N, P, K	N, K	-	N, K
GRANJAS, EL COLEGIO (bh-PM)	N, K	N	N	N, K	N	N, K
NARANJAL, CHINCHINA (bmh-PM)	N	K	K	P, K	K	K
CENICAFE, CHINCHINA (bmh-PM)	N	N, P	N	N	N	N
EL ROSARIO, VENEZIA (bmh-PM)	NO	K	N, K	N, K	-	N, K
PIAMONTE, FREDONIA (bmh-PM)	NO	N, K	K	N, K	-	N, K
LA TRINIDAD, LIBANO (bmh-PM)	N, P	N	NO	N	-	N

* Factorial de 0, 120 y 240 kg/Ha /año de N, P₂O₅ y K₂O, en 4 aplicaciones anuales.

embargo, en CENICAFE, Paraguaicito y Trinidad, con contenidos altos de K intercambiable, no se presentó respuesta a este elemento. La respuesta al N, a pesar de los altos contenidos de M.O se pueden deber a que no existían las mejores condiciones para la mineralización de la M.O por deficiencia o fijación del P o alto contenido de Al (no reportado por los autores) de acuerdo a los valores de pH o deficiencia de otros elementos. La textura de los suelos varió de franco arenosos a francos y franco arcillosos. En diferentes estudios con otros suelos y diferentes cultivos, en estas zonas de vida, se ha encontrado respuesta al N, P y en menor proporción a la cal y al K (8).

5.3. COMPARACION DEL BOSQUE SECO MONTANO BAJO (bs-MB), BOSQUE HUMEDO MONTANO BAJO (bh-MB) Y BOSQUE MUY HUMEDO MONTANO BAJO (bmh-MB).

El bs-MB tiene como límites climáticos una temperatura media de 12 a 18°C, precipitación anual de 500 a 1.000 mm y está localizado entre 2.000 y 3.000 m. s. n. m.; el bh-MB está localizado en zonas con temperaturas medias de 12 a 18°C, precipitación anual de 1.000 a 2.000 mm y está localizado en alturas de 1.900 a 2.900 m. s. n. m.; el bmh-MB tiene una temperatura media de 12 a 18°C, una precipitación anual de 2.000 a 4.000 mm y alturas de 1.800 a 2.800 m. s. n. m. Los suelos de estas tres zonas de vida son muy variables, aún dentro de la misma zona de vida y mucha parte de ellos están influenciados por cenizas volcánicas, de diferente edad, origen y composición. En algunas zonas, como la Sabana de Bogotá, el mal drenaje ha influido en ciertas características de los suelos, como la textura.

En la Tabla 13 se incluyen análisis de caracterización de suelos representativos del bs-MB, bh-MB y bmh-MB; las muestras fueron tomadas a una profundidad de 0 a 20 cm. Como se puede observar, los suelos son ácidos, relativamente altos en M.O y bajos en P disponible;

en el caso del suelo del bs-MB, se observa un contenido de bases intercambiables relativamente alto para esta zona de vida, y contenidos bajos de Ca y Mg y medio de K en el bmh-MB; en el bh-MB, los valores de Ca y Mg son muy bajos y el K intercambiable bajo. Posiblemente, ciertas condiciones locales dieron origen a estos resultados porque lo más común en suelos de estas formaciones vegetales es encontrar contenidos de medios a bajos en las bases intercambiables, especialmente cuando aumenta la precipitación. El P se considera el elemento más limitante en estos suelos, como lo demuestran numerosos ensayos realizados por el ICA. En el departamento de Nariño, los suelos de estas formaciones vegetales generalmente son más fértiles que en otras regiones del país, con contenidos mayores de P, Ca, Mg y K, debido a la influencia de materiales de origen volcánico más recientes (20).

La papa es uno de los cultivos más comunes en estas zonas de vida y en la Figura 19, se muestra la respuesta de este cultivo a la aplicación de P, en los tres suelos incluidos en la Tabla 13 (22, 25). Se observa cómo al aumentar la dosis de P_2O_5 se aumentan los rendimientos y que de acuerdo con los rendimientos del tratamiento sin P, la fertilidad del suelo de la Sabana de Bogotá (bs-MB), es más alta que la del suelo de El Carmen de Viboral y en éste más alta que en La Unión (Antioquia). Todos los tratamientos recibieron una aplicación uniforme de 40 kg/Ha de N y 80 kg/Ha de K_2O . La respuesta diferencial a la aplicación de P se puede deber a la mayor fijación de este elemento en El Carmen de Viboral y La Unión por la presencia de alofana (14, 17). En estos suelos, la papa ha respondido a la aplicación de N y K; en cuanto a la cal, las respuestas no han sido muy consistentes y su aplicación se recomienda especialmente para suplir las plantas con Ca y Mg, aumentar la disponibilidad del P, neutralizar el Al, aumentar la actividad de los microorganismos y aumentar la retención del K. Cultivos como el maíz, pastos, hortalizas y fríjol, han respondido a la aplicación de P y N y en menor proporción al K; en el caso de este último nutriente, su aplicación es indispensable para obtener buenos rendimientos en papa y maíz.

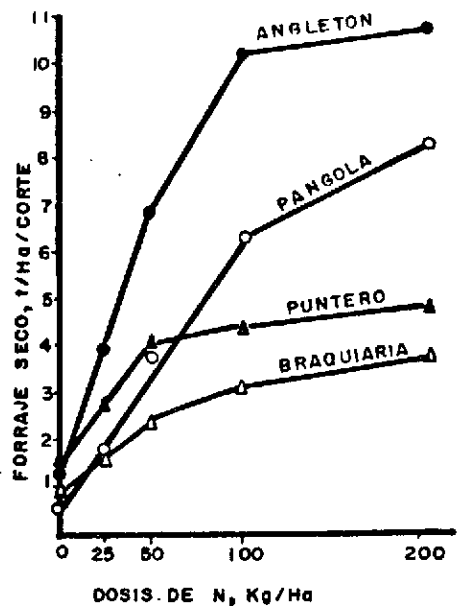


FIG. 18- RESPUESTA DE LOS PASTOS A LA APLICACION DE N EN EL VALLE DEL CAUCA (ba-T)

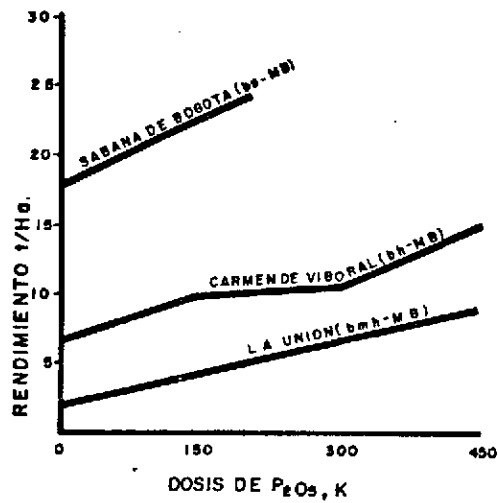


FIG. 19- RENDIMIENTO DE LA PAPA EN TRES ZONAS DE VIDA DIFERENTES, t/Ha.

6. REFERENCIAS

1. BLASCO, M.L. et al. Mineralogy of the soils of the Rio Cauca Valley, Colombia. Rev. Turrialba 19: 332-339. 1969.
2. BORNEMISZA, E. Minerales de arcilla en suelos centro-americanos y de Panamá. Rev. Turrialba 19:97-102. 1969.
3. ESPINAL, S. Zonas de Vida o Formaciones Vegetales de Colombia. Memoria Explicativa sobre el Mapa Ecológico. Instituto Geográfico "Agustín Codazzi", 1977. 238 p.
4. GOMEZ, D.; DE LA CUESTA, S. Mineralogía de las arcillas y análisis químico de los suelos de Urabá. "Plano Aluvial A". Medellín, Universidad Nacional, Facultad de Ciencias Agrícolas, 1970. 45p. (Trabajo de Investigación - A máquina).
5. GUERRERO, R.; CORTES, A. Caracterización y clasificación de perfiles seleccionados de suelos del C.N.I.A. La Libertad y zonas aledañas. Instituto Colombiano Agropecuario - Instituto Geográfico "Agustín Codazzi", 1976. 131p. (Boletín de Investigación No. 46).
6. HOLDRIDGE, L.R. Life Zone Ecology. San José, Costa Rica, Tropical Science Center, 1967. 206p.
7. INCORA. Arroyo Saco. Estudio Agrológico. Medellín, INGRICOLA Ltda., 1964. 130p.
8. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. Informes Anuales de los Programas de Suelos y Pastos y Forrajes. 1965-1975.

9. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. Estado actual de la fertilidad de los suelos colombianos y estimativos sobre las necesidades de fertilizantes para varios cultivos. Bogotá, ICA, Programa Nacional de Suelos, 1980. 118p. (Documento de Trabajo No. 85).
10. INSTITUTO GEOGRAFICO "AGUSTIN CODAZZI". Estudio General de Suelos de los Municipios de San Fernando, Mompós, Margarita, Barranco de Loba y San Martín de Loba, para fines Agrícolas. Bogotá, Colombia, 1968. 122p.
11. _____. Atlas Básico de Colombia. 1970. 106p.
12. JEFFRIES, C.D. and JACKSON, M.L. Mineralogical analyses of soils. *Soil Sci.* 68:57-73. 1949.
13. KEY, J.L.; KURTZ, L.T. and TUCKEN, B.B. Influence of ratio of exchangeable calcium: magnesium on yield and composition of soybeans and corn. *Soil Sci.* 93:265-270. 1962.
14. LEON, L.A. Estudios químicos y mineralógicos de 10 suelos colombianos. *Agricultura Tropical (Colombia)* 20:442-452. 1964.
15. LORENTE, J.M. Meteorología. Editorial Labor, S.A., 1961. 286p.
16. LOTERO, J.; MONSALVE, S. Efecto de fuentes y dosis de aplicación de nitrógeno en las propiedades químicas de un suelo. *Revista ICA (Colombia)* 5(3):199-220. 1970.
17. LUNA, C. Anotaciones pedológicas sobre algunos andosoles de Antioquia. Instituto Geográfico "Agustín Codazzi", Departamento Agrológico v. IV, no.9, 153p. 1968.

18. MARIN, G.; GOMEZ, J. Algunos aspectos del análisis de suelos. IV. La interpretación del análisis. *Agricultura Tropical* (Colombia) 22:368-379. 1966.
19. MONSALVE, S.; MARTINEZ, O. Dosis y frecuencia de aplicación de fósforo y potasio en cinco gramíneas tropicales. *Revista ICA* (Colombia) 13 (3): 511-517. 1978.
20. MUÑOZ, R.; WIECZORECK, A. Fertilización de la papa (Solanum tuberosum L.) en los suelos andosoles del departamento de Nariño, Colombia. *Revista ICA* (Colombia) 13 (3): 473-484. 1978.
21. RAMIREZ, A.; LOTERO, J. Efecto de la dosis y frecuencia de aplicación de nitrógeno en la fertilidad y propiedades químicas del suelo. *Revista ICA* (Colombia):227-254. 1969.
22. RODRIGUEZ, M.; BAIRD, G.B.; CORREA, J. Fertilización de la papa en Antioquia. D.I.A. (Colombia), 1960. 22p. (Boletín Técnico No. 5).
23. SANCHEZ, L.F.; OWEN, E.J. Influencia de la fertilización con N, P, K y cal sobre el rendimiento de maní (Arachis hypogaeae L.) cultivado en suelos de terraza alta de los Llanos Orientales. *Revista ICA* (Colombia) 13 (3):465-471. 1978.
24. URIBE, A.; MESTRE, A. Efecto del nitrógeno, el fósforo y el potasio sobre la producción de café. CENICAFE (Colombia) 27(4):158-173. 1976.
25. VEGA, V.; DIAZ, G.; BAIRD, G.B. Fertilización de la papa en la Sabana de Bogotá y alrededores. D.I.A. (Colombia), 1960. 31p. (Boletín Técnico No. 6).

LOS MICROORGANISMOS Y SU RELACION CON LA FERTILIDAD Y FERTILIZACION DEL SUELO

Francisco Hernando Orozco P.*

1. INTRODUCCION

Finalizando ya este siglo, la humanidad está llamada a resolver una serie de problemas concernientes con la lucha por la subsistencia y el mejoramiento de la calidad de la vida.

El mal uso de los suelos, la explosión demográfica, el problema energético, la distribución de riquezas y el crecimiento de la sociedad de consumo, para citar solamente los problemas de más relevancia y actualidad que aquejan a la humanidad, no pueden dejarse de lado cuando se quiere discutir sobre Fertilización de los Suelos.

El aumento de la población exige un incremento en los rendimientos agropecuarios si se quiere mantener un nivel alimenticio y de confort con un área de tierra que no puede crecer.

El problema energético, implica de un lado el cambio de dedicación de tierras para satisfacer soluciones alternas tales como la producción de alcohol y de otro, una necesidad sentida de la búsqueda de soluciones a la fertilización nitrogenada y fosfórica, dado que los procedimientos actuales en la obtención del nitrógeno del aire, fuente exclusiva de

* Ingeniero Agrónomo, DEA (Diploma de Estudios a Profundidad de Francia). Profesor Asistente, Universidad Nacional, Seccional Medellín.

N y del fósforo, más recientemente emplean gas natural (un derivado del petróleo), lo que hace que los costos sean cada vez más elevados.

La concentración de riquezas en unos pocos, cada día más acentuada, va mirando cada vez las posibilidades de un gran número de pequeños propietarios de tierras de utilizar los fertilizantes, los cuales adquieren precios escandalosos.

La sociedad de consumo, por su parte, influye en el problema cuando necesidades irracionales de fertilizantes que a la postre desequilibran los ecosistemas no reportan beneficios esperados por el usuario. El Dr. Winston Bill de la Universidad de Wisconsin sostiene que, cuando los granjeros utilizan más nitrógeno del que la planta puede usar, se implica una contaminación por nitratos disueltos que llegan a represas o estanques y pululan malas hierbas o en el mejor de los casos pérdidas al aire en forma gaseosa (Bill, 1978).

Hasta el presente, el estudio del suelo ha tenido una vocación casi exclusivamente tendiente hacia la química y la física, poniéndose de lado la parte biológica, pieza fundamental del desarrollo y mantenimiento de la fertilidad del suelo. La necesidad, cada vez más sentida de una concepción ecológica de dicho recurso, la imperiosa necesidad de suponer los inmensos emolumentos económicos que implica la fertilización química debido a la escasez de la materia prima necesaria para su producción y la necesidad a la vez de mantener o aumentar los rendimientos en el sector agropecuario, como única alternativa para mantener el nivel nutricional del hombre, son apenas razones suficientes para mirar hacia otras técnicas de fertilización. El grado de fertilidad de un suelo es determinado por la intensidad de los procesos biológicos de la población microbial (Krasil Nikov, 1970).

El mundo biológico del suelo está compuesto de una variedad de funciones e interacciones específicas en cada grupo o intergrupos. Comprende organismos animales macroscópicos, microscópicos y plantas superiores (parte subterránea) e inferiores.

Desde un punto de vista práctico, a los objetivos de este artículo, más importante que describir cada uno de estos organismos o grupo que integran el suelo, es el conocimiento de algunos de los procesos en que intervienen y su posible relación con la fertilidad del suelo.

El nitrógeno, constituyente esencial de toda proteína es requerido en grandes cantidades para la vida y, a pesar de estar presente en un 80% en la atmósfera, es inherente y no es aprovechable que combinado a otros elementos, lo cual es llevado a cabo mediante la fijación biológica o química, procesos éstos que aportan aproximadamente igual cantidad de N al suelo y que combinados representan la mitad del N que llega al suelo anualmente por otros mecanismos sin intervención humana (Hardy and Havelka, 1976).

El fósforo ocupa un segundo lugar en importancia desde el punto de vista de nutrición de las plantas, en cuanto a la magnitud extraída del suelo para su desarrollo y crecimiento.

En la fabricación de fertilizantes fosforados, como en la fabricación de fertilizantes nitrogenados, se emplea gas natural según las técnicas más modernas.

La producción de fertilizantes fosforados emplea entre otras técnicas el tratamiento ácido, ya sea ácido sulfúrico, fosfórico, clorhídrico o nítrico, siendo éste el más utilizado en la actualidad, y este ácido es obtenido de derivados del petróleo; la producción está altamente relacionada con las industrias de fertilizantes nitrogenados, cayendo en

el mismo problema de la escasez de materia prima (Acosta, 1974), teniéndose que pensar en otras alternativas como la del tratamiento con ácido sulfúrico, más antigua pero que asociada con el proceso de producción biológica del ácido podría ser una alternativa atrayente y en la cual ya se ha empezado a trabajar en Colombia (Santamaría et al, 1979).

Aún existen otras alternativas biológicas que, se tendrán que tener en cuenta en un futuro próximo para solucionar este problema y es la de la inoculación al suelo, y/o manejo de organismos tales como Pseudomonas spp., Bacillus megaterium, Agrobacterium spp., etc., que solubilizan el fósforo orgánico y/o inorgánico, o la inoculación con hongos micorrizógenos que aseguren asociaciones simbióticas efectivas entre una planta y un hongo y así aprovechar el "stock" generalmente alto de fósforo no asimilable de muchos de los suelos.

En este artículo se mencionan solamente algunas salidas biológicas de dos de los principales elementos de la fertilización de suelos, sin ser exhaustivo. Hay sin embargo, una cantidad de conceptos tocantes al gran potencial biológico de los suelos que tocarían íntimamente los ciclos de los otros elementos que sirven a la nutrición vegetal y aspectos tocantes en general a la fertilidad de los suelos.

2. LOS MICROORGANISMOS DEL SUELO

La población microbiana del suelo pertenece a grupos muy diversos del reino animal y vegetal; entre los vegetales, los más numerosos son los hongos, las bacterias y los actinomicetos. Las algas son importantes, particularmente en la superficie del suelo. Entre los animales, mueven atención los protozoarios y anélidos, entre éstos (sobrepasando

la cualidad del microorganismo), las lombrices, cuya participación en la fertilidad del suelo es considerable, ya sea por el efecto tan marcado sobre la estructuración del suelo, como por la mezcla permanente y el reciclaje de bases tales como el calcio, el cual es traído por ellas de las capas más profundas hacia la superficie. Algunos autores han calculado hasta 100 y 1.000 kilos de lombrices en una hectárea arable y capaces de digerir un promedio de 37 toneladas de tierra seca en un año, lo que indica que la capa arable de este suelo podría ser removida por las lombrices en su totalidad en sólo 60 a 70 años.

Todos los microorganismos del suelo encuadran en uno de los siguientes grupos:

.1. Microorganismos Autóctonos.

Aquellos nativos de un suelo, los cuales lo caracterizan y siempre se encuentran en él.

.2. Microorganismos Zimógenos.

Que se desarrollan de acuerdo a tratamientos específicos tales como adición de M. O, fertilización, mejoramiento de la aireación u otro.

.3. Microorganismos Transitorios.

Que se introducen en el suelo como en el caso de las bacterias nodulantes de leguminosas (cuando éstos son inoculados) o parásitos de plantas o animales que no pueden pasar largas temporadas en los suelos sin la presencia de sus hospederos.

A continuación se destacan los principales grupos de microorganismos:

2.1. BACTERIAS

Las bacterias del suelo presentan actividades fisiológicas (en la mayoría de los casos) común a varias especies y aún a géneros, lo que permite clasificarlas de acuerdo a esa actividad. Estas clases se mencionan seguidamente:

2.1.1. Autotróficas o autotróficas facultativas.

Las cuales no requieren el carbón de compuestos orgánicos; éste lo toman del CO_2 del aire y su energía la obtienen de la oxidación de compuestos orgánicos o inorgánicos simples. Estas se pueden clasificar a su vez, de acuerdo a la fuente de energía requerida, por ejemplo, en bacterias del Fe, del S y del CH_4 . Se encuentran en menor proporción en los suelos, pero influyen procesos de mucha importancia como la nitrificación y oxidación del S, entre otros.

2.1.2. Heterotróficas.

Aquellas que derivan tanto el carbón como la energía de compuestos orgánicos. Se pueden clasificar éstas, de acuerdo con los requerimientos de N.

2.1.2.1. Las que requieren el N combinado, descomponen la M.O y le toman el N del proceso de mineralización.

2.1.2.2. Las bacterias fijadoras de N. Pueden ser simbióticas y no simbióticas, toman el N del aire y el carbón es suministrado para las primeras por la planta y para las segundas de la descomposición de la M.O.

2.2. LOS HONGOS

Hace relativamente poco que se inició el estudio de los hongos del suelo. Son los organismos más importantes de los suelos ácidos y pueden ser autóctonos o transitorios de acuerdo con la clasificación arriba mencionada. Ellos están encargados de procesos especiales en el suelo, en los cuales las bacterias tienen poca o ninguna importancia como la descomposición de la lignina; juegan papel importante también en la descomposición de celulosa, producción de antibióticos. La función más importante desde el punto de vista de fertilidad es sin lugar a dudas la habilidad de formar micorrizas, en ciertos casos obligadamente, sin la cual no se desarrollan ciertas especies vegetales; esta relación simbiótica ocupará un aspecto central de este artículo, por influir decididamente en la economía del fósforo en los suelos de más baja fertilidad.

La biomasa fungal en un suelo puede alcanzar, según Romero (s.f.), de 1.000 a 1.200 kg/Ha representada en gran parte por hongos de los géneros Penicillium, Mucor, Trichoderma, Aspergillus, Pythium, Fusarium.

2.3. ACTINOMICETOS

Desde el punto de vista de la evolución son organismos más avanzados que las bacterias, situándose entre éstos y los hongos; producen micelios no septados, muy finos, ramificados y con cuerpos fructíferos; también se asemejan a las bacterias en cuanto a que son organismos unicelulares.

Su función en el suelo es variada, desde la descomposición de M.O hasta la producción de antibióticos y la fijación de N de más reciente

hallazgo; son de gran importancia en la formación de simbiosis con algunas especies forestales que pueblan suelos muy pobres y degradados (Tabla 1).

La cantidad de N fijado en kg/Ha/año puede superar en muchos casos al fijado en asociaciones de alta especificidad en Rhizobium leguminosa.

Para mencionar solamente algunos de los datos reportados a este respecto por Torrey (1978), mientras que la fijación en soya y alfalfa puede alcanzar valores de 103 kg/Ha/año y 54 a 463 kg/Ha/año, respectivamente, en especies como Alnus crispa, Alnus rubra y Casuarina sp, el N fijado en asocio con actinomicetos puede alcanzar cifras de 40 - 362, 140 - 300, 58 - 200 kg/Ha/año.

Si se tomara un promedio de N fijado por cualquiera de estas especies asociadas con actinomicetos en 200 kg/Ha/año, se podría establecer una comparación muy diciente de la economía que representa la asociación. Para simple consideración, ésto equivaldría a aplicar 11 bultos de Urea de 40 kg en una Ha/año.

En gran extensión del departamento de Antioquia, podría presentarse el Alnus jurugensis nativo del departamento de Caldas, como una opción para el monocultivo de pinus y cipreses, especies cuyo efecto degradante del suelo se discute o de otro modo, podrían presentarse alternativas de explotaciones bosque - pastoriles con aumento de eficiencia.

Según Rodríguez - Barruco and G. Bond (1968), los endófitos de las especies de Alnus de diferentes regiones geográficas, pueden no ser idénticos, lo que hace pensar que tendrá que establecerse una especificidad en la relación para tratar de producir inoculantes que aseguren el

TABLA 1. Plantas que forman nódulos como respuesta a la infección con actinomicetos, su relación y distribución (datos citados por Torrey, 1978).

Géneros	No. de especies nodulados/total de especies en el género	Familia	Distribución Geográfica	Sitios Ecológicos
<u>Alnus</u>	33/35	Betulaceae	Europa, Siberia, N. América, Japón, Andes.	Suelos pobres, cenizas volcánicas, dunas y otros.
<u>Casuarina</u>	24/45	Casuarinaceae	Australia, Asia Tropical, Islas del P.	Áreas desiertas, arenas duneras, bosque tropical.
<u>Ceanothus</u>	31/55	Rhamnaceae	N. América, Oeste de México y EE. UU.	Bosque seco y chaparralunas, zonas alpinas, suelos de altas altitudes y suelos pobres.
<u>Colleletia</u>	1/17	Phaumaceae	S. América (Rodríguez y Bond, 1976).	
<u>Comptonia</u>	1/1	Myricaceae	N. América	Arenas disturbadas y áreas gravilosas.
<u>Coriaria</u>	13/15	Coriariaceae	Del Mediterráneo al Japón, N. Zelandia, de Chile a México.	Suelos arenosos arcillosos o gravilosos.

TABLA 1. Continuación.

Géneros	No. de especies nodulados/total de especies en el género	Familia	Distribución Geográfica	Sitios Ecológicos
<u>Discaria</u>	2/10	Rhamnaceae	Andes, Brasil, N. Zelandia, Austria.	Suelos gravillosos y zonas áridas.
<u>Dryas</u>	3/4	Rosaceae	Alaska, Canadá, Circunpolar.	Suelos post glaciales, suelos gravillosos, arenas.
<u>Eleagnus</u>	16/45	Eleagnaceae	Asia, Europa, N. América.	Areas disturbadas, arenas duneras, suelos pobres.
<u>Hyppophoe</u>	1/3	Eleagnaceae	Asia, Europa, del Himalaya al círculo ártico.	Arenas duneras, áreas costeras.
<u>Myrica</u>	26/35	Myricaceae	Muchas regiones tropicales y subtropicales, regiones templadas hasta cerca del círculo ártico.	Turbas ácidos, arenas duneras, desechos mineros.
<u>Pursha</u>	2/2	Rosaceae	Oeste de N. América.	
<u>Shepherdia</u>	3/3	Eleagnaceae	N. América	Suelos arenosos, áreas disturbadas.

mejor resultado y así, como hoy se comercializa el Rhizobium, en un futuro no lejano se podrá hacer lo mismo con el actinomiceto (en el caso del Alnus este actinomiceto es del género Frankia).

2.4. ALGAS

Con relación a la fertilidad, las algas juegan un papel no negligente y pueden, como los organismos antes citados, formar simbiosis con otros tipos de plantas, con bacterias y hongos y con ellas mismas para así fijar nitrógeno del aire, además de ser los únicos organismos capaces de realizar la fijación del nitrógeno y fotosintetizar a la vez como en el caso de las algas verde-azules.

Ellas son particularmente importantes en regiones tropicales y han recibido algún interés de manera especial en suelos dedicados al arroz.

El arroz es un producto básico en la alimentación de más de la mitad de la población mundial, y a pesar de existir grandes extensiones de tierras tropicales en su explotación, en donde se posee de recursos para la fertilización, existen muchas pequeñas de producción donde el agricultor no tiene acceso a la fertilización comercial.

Los procesos naturales pueden mantener la fertilidad en cultivos de arroz de inundación. En el Instituto Interamericano de Investigaciones en Arroz (IRRI) de Philipinas, se cosecharon 32 cultivos de arroz sin aplicación de nitrógeno en 12 años con rendimientos de 3-4 t/Ha (Wantanabe et al 1977, citado por Peters 1978). Se ha estimado en 30 a 80 kg de N/Ha/año, la contribución de algas verde-azules en cultivos de arroz inundado (Fogg et al, 1973).

Las principales asociaciones que forman las algas, se mencionan a continuación:

2.4.1. Algas Asociadas con Hongos.

Comúnmente denominadas líquenes, parecen ser asociaciones de algas verdes y verde-azules con hongos.

La cantidad de heterocistos (células especializadas en la fijación de N en las algas) puede aumentar en un 4% en las algas verde-azules cuando se presentan en simbiosis y de 20 a 30% en las algas verdes (Millabank 1977, citado por Peters 1978).

2.4.2. Algas Asociadas con Plantas.

Las algas simbiotes son todas de los géneros Nostoc o Anabaena, por lo general, localizados extracelularmente en la planta, formando la mayoría de las veces estructuras especiales.

Con Gimnospermas, hacen la única excepción y penetran intracelularmente; con Cycadales, componentes de la vegetación del trópico y del subtropico forma estructuras similares a nódulos coraloides. El N fijado en Macrozamia communis puede ser de 19 kg de N/Ha/año (Fogg et al, 1973).

Con Angiospermas, el único género que presenta simbiosis con algas verde-azules es el género Gunera; el alga simbiote es el Nostoc, el cual exhibe un incremento en sus heterosistas y en la actividad de la nitrogenasa (Silvester 1975, citado por Peters 1978). En condiciones de campo, el rango de fijación de N es de 9 kg/N/Ha/año, pero en ambientes controlados se ha logrado 70 kg/N/Ha/año (Peters, 1978).

La asociación Azolla - Anabaena es talvez la más importante de las asociaciones formadas por algas en cuanto a la obtención del N libre; el nitrógeno fijado puede ser hasta 40 veces mayor que el fijado por algas libres en cultivos de arroz. Esta fijación alcanza valores de 412 kg/Ha/año (Lozano, 1979).

La Azolla es una planta acuática, pequeña y de la familia de las salvinaceae, ampliamente distribuída en aguas dulces del trópico y la zona templada.

El simbiote es la Anabaena azolla, el cual penetra el lóbulo dorsal de la hoja donde se presenta una cavidad especializada e independiente de la presencia del alga.

La razón para que la eficiencia sea talvez la mayor entre las diferentes asociaciones fijadoras de nitrógeno, puede encontrar una explicación en la independencia de los dos procesos competitivos, la fotosíntesis y la fijación, puesto que las algas permanecen extracelularmente en la cavidad de la hoja.

La Azolla presenta características agronómicas atractivas, tales como:

- .1. Alta capacidad de fijación de N.
- .2. Facilidad de cultivo (no es muy exigente, se puede presentar como maleza).
- .3. El N de la Azolla es fácilmente disponible.
- .4. Crece simultáneamente con arroz: En Africa se tienen experiencias de siembras conjuntas.

- .5. Se puede emplear como abono verde o como forraje.
- .6. Tiene la siguiente composición: Proteína, 23,8%; grasa, 4,4%; fibra, 9,5%; almidón, 6,4%; N, 4,75%; P, 0,28%; K, 1,52%; Ca, 0,60%.

En el presente se realizan estudios de campo con la Azolla en el IRRI Philipinas y en la Universidad de California.

No deja de ser una atrayente alternativa para la producción comercial de fertilizantes o de concentrados para animales. En Vietnam ya hace algún tiempo se viene utilizando en forma rudimentaria; se siembra, se cosecha y se vende como tal (Lozano, 1979).

En experiencias con Anabaena filiculoides en California, utilizado como abono verde equivalente a 50 - 60 kg N/Ha aumentaron el rendimiento de arroz en 112% sobre los testigos no fertilizados, pero cuando se sembraron conjuntamente con el arroz, los incrementos fueron de 216% sobre los controles (Peters, 1978).

Es pues ésta una alternativa a la fertilización química con N en Colombia. En la laguna de Tota existe una gran variedad de especies de Anabaena, las cuales podrían luego de estudios de campo ser utilizados como inoculantes en aquellas regiones donde no existen. Tendrá, sin embargo, que buscarse una especificidad, de acuerdo a los propósitos que se tengan.

3. ALGUNOS PROCESOS BIOLÓGICO-QUÍMICOS DEL SUELO

3.1. DESCOMPOSICIÓN Y MINERALIZACIÓN DE LA M.O

Los organismos del suelo presentan algún tipo de especialización con respecto a la descomposición de la M.O fresca, aportada en su mayor parte por las plantas, lo cual permite el reciclaje geoquímico de los elementos. Otra fuente importante de M.O y poco tenida en cuenta es la producida por las plantas y organismos vivos mediante la excreción.

Mediante su exudación radicular, las plantas abrigan a su alrededor una microflora típica a cada planta, creando una zona de mayor concentración de microorganismos y de mayor variedad de especies y actividad. Esta zona se le llama rizosfera.

Mayor nutrición nitrogenada y menor con fósforo, potasio y Ca incrementan la exudación radicular; las bajas tensiones de oxígeno también incrementan la exudación. Los microorganismos vivientes en esa zona del suelo, dependen de estos exudados como fuente de energía y de factores de crecimiento; por lo tanto del estado de la nutrición mineral de las plantas. En estas condiciones, el aumento de la actividad de estos organismos puede repercutir en detrimento para el desarrollo de la planta, acumulándose la desnitrificación y posibles desórdenes en la planta (Troldenier, 1979).

La planta suministra esencialmente una fuente de carbón, la cual es tomada por los microorganismos los cuales secretan CO_2 que sumado al CO_2 respirado directamente puede aumentar hasta en un 4% en la atmósfera edáfica (Romero, s.f.). La formación del H_2CO_3 mediante

la reacción del CO_2 y el agua, incrementa la solubilización de K, P, Ca, provenientes de los minerales del suelo.

En estudios realizados por Orozco (1978), se encontró que, de un gramo de Biotita sometido a una microflora compleja a la cual no se le suministró más carbón que el proveniente de los exudados de una planta de maíz, se solubilizaron 14,6 mg de K, de lo cual la planta sólo utilizó 5,9 mg en su parte aérea. Esto diferió del testigo, planta sin microorganismos, donde solamente se solubilizaron 4,6 mg, lo que muestra a claras el efecto de la rizosfera en la solubilización del potasio y el aporte de la planta de fuentes carbonadas.

Se deben estudiar tres procesos en la evolución que sufre la M.O en el suelo: La descomposición, la mineralización y la humificación de ella misma; un equilibrio entre estos dos últimos procesos sería el ideal para la fertilidad de un suelo. Estos procesos son llevados a cabo especialmente por el metabolismo de organismos heterotrofos especializados en diferentes constituyentes de la M.O.

La descomposición de la M.O puede ser llevada a cabo hasta formación de productos finales CO_2 y agua, pero paralelo a este proceso se presenta otro de síntesis, el cual lo realizan los organismos autotrofos, los cuales asimilan el CO_2 y forman nuevamente sustancias complejas; entre éstas están las bacterias del nitrato, del azufre, del hierro, del hidrógeno y del metano.

Algunos organismos heterotrofos pueden también sintetizar compuestos orgánicos a partir de CO_2 ; por ejemplo, algunos géneros de Pseudomonas y Azotacter, algunos hongos y actinomicetos.

La actividad enzimática de un suelo correlaciona estrechamente con la actividad de los microorganismos y el incremento de estos últimos

implica un crecimiento en los procesos enzimáticos del suelo; según Hoffman (1951), citado por Krasil'Nikov (1958), considera que la actividad enzimática de un suelo es un índice de fertilidad del mismo.

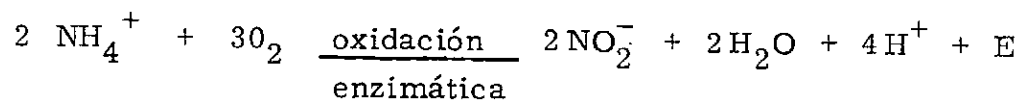
3.2. NITRIFICACION

Se define como la conversión de amoníaco a nitrato. El nitrógeno mineral se define como la suma de: $N - NH_3 + N - NO_2 + N - NO_3^-$, lo cual se puede reducir a $N - NH_3 + N - NO_3^-$ puesto que sólo en casos particulares de suelos como suelos alcalinos que hayan recibido N en forma amoniacal, puede existir alguna acumulación.

El proceso se realiza en dos etapas coordinadas, en las cuales intervienen grupos de bacterias diferentes pero en su gran mayoría autotróficas. Solamente algunos microorganismos heterotróficos intervienen en este proceso; entre ellos se cita, bacterias: Achromobacter, Corynebacterium, Pseudomonas, Vibrio, Bacillus y Mycobacterium; hongos: Aspergillus, Penicillium y Cephalosporium; actinomicetos: Nocardia y Streptomyces.

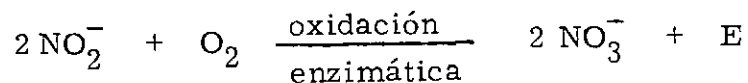
Los procesos de nitrificación, como se anotó, son sin embargo, casi que exclusividad de bacterias autotróficas las cuales intervienen en forma especializada en una u otra de las etapas; ellos son las siguientes:

.1. Oxidadoras de amoníaco, según la reacción



En ellas intervienen los géneros Nitrosomonas, Nitrosoecoccus, Nitrospira, Nitrosoglea y Nitrosocystis.

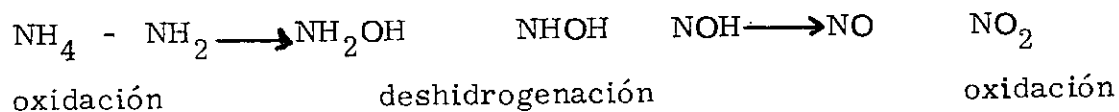
.2. Oxidadoras de N - NO₂⁻, según la reacción



Los géneros de bacterias que intervienen en esta oxidación son: Nitrobacter, Bactoderma y Microderma.

Sin embargo, hay dos géneros que merecen atención particular entre ellos: Nitrosomonas y las Nitrobacterias.

El N - NO₃⁻ reacciona inmediatamente en el suelo para formar sales tales como Mg (NO₃)₂, KNO₃, NaNO₃, Ca(NO₃)₂. Anderson, citado por Blasco (1970), propone los siguientes pasos para la nitrificación:



Además, este autor encuentra que en la conversión de amonio a hidroxilamina más nitrato, se requiere de Cu; él encontró respuesta a adiciones de Cu.

Por su parte, Lees y Simpson, citados por Blasco (1970), hacen intervenir en el proceso Fe³⁺ citocroma y Fe²⁺ citocroma, este último como transportador de NO₂ y en condiciones anaeróbicas el Cl O₂⁻, además de los citocromas. Estos últimos autores sostienen que el Fe favorece la respiración o sea la actividad de los microorganismos.

3.2.1. Algunos Factores que Afectan la Nitrificación.

3.2.1.1. La temperatura.

La amonificación se realiza mejor entre 40 y 60°C, indicando con ello que son sobre todo organismos termófilos. La nitrificación aumenta hasta temperaturas aproximadamente de 30°C (Blasco, 1970). Para otros autores, los óptimos están entre 24°C - 30°C; para Romero (s.f.) el óptimo está entre 27 y 23°C.

3.2.1.2. El pH.

Blasco (1970) sostiene que el pH óptimo para la oxidación del amonio es de 8,6, mientras que, para la formación de nitrito 7,2; Romero (s.f.) plantea un rango óptimo de pH entre 7,0 y 8,0 como estimulante de la nitrificación.

Con suelos a pH elevado puede existir acumulación de nitritos pudiéndose presentar toxicidad para las plantas. Por debajo de pH 6 existe una marcada disminución de la nitrificación y poco incremento por encima de 6,5.

En suelos ácidos hay respuesta en la nitrificación con el encalamiento.

3.2.1.3. La aireación y humedad.

En suelos tropicales de Uganda se encontró que entre 22 y 23% de humedad se presentaba el mayor incremento de la nitrificación mientras que por debajo del 10% la acumulación de nitratos cesa.

En Uganda, Sudán y Austria se ha encontrado un aumento de nitratos luego de una época de sequía. Greenland (1958) en suelos de Ghana,

observó que el fenómeno de la activación de la nitrificación se produjo al iniciarse las épocas lluviosas del año. Por su parte, Fassbender (1975) estudió las variaciones de nitrógeno en Costa Rica, encontrando una buena correlación entre la precipitación pluvial y la humedad del suelo, y los valores promedios de nitratos ajustados a la precipitación pluvial, confirmándose las tendencias tropicales. También encontró que el NH_4^+ no sufre tendencias marcadas en relación al régimen pluviométrico. Este fenómeno se ilustra en la Figura 1, tomada del mismo autor.

Este fenómeno tiene gran valor práctico y deberá tenerse en cuenta en el manejo de la fertilización nitrogenada de los suelos en el trópico.

3.2.1.4. Adiciones de M.O.

La M.O adicionada, afecta la relación C/N y los carbohidratos inhiben la acción de la proteínasa, por lo cual la mineralización es reducida en términos generales. Una mayor mineralización se presenta cuando la relación C/N está entre 8 - 10/1; la M.O puede cesar la mineralización momentáneamente sobre todo si los materiales orgánicos adheridos poseen relaciones altas, pero luego ésta volverá a su rango inicial (Figura 2).

3.3. DESNITRIFICACION

Se trata de la reducción microbiológica de los nitratos con pérdida final del nitrógeno en forma gaseosa.

Se pueden presentar dos tipos de reducción: Una reducción asimilatoria; mediante la enzima reductora asimilatoria, los organismos

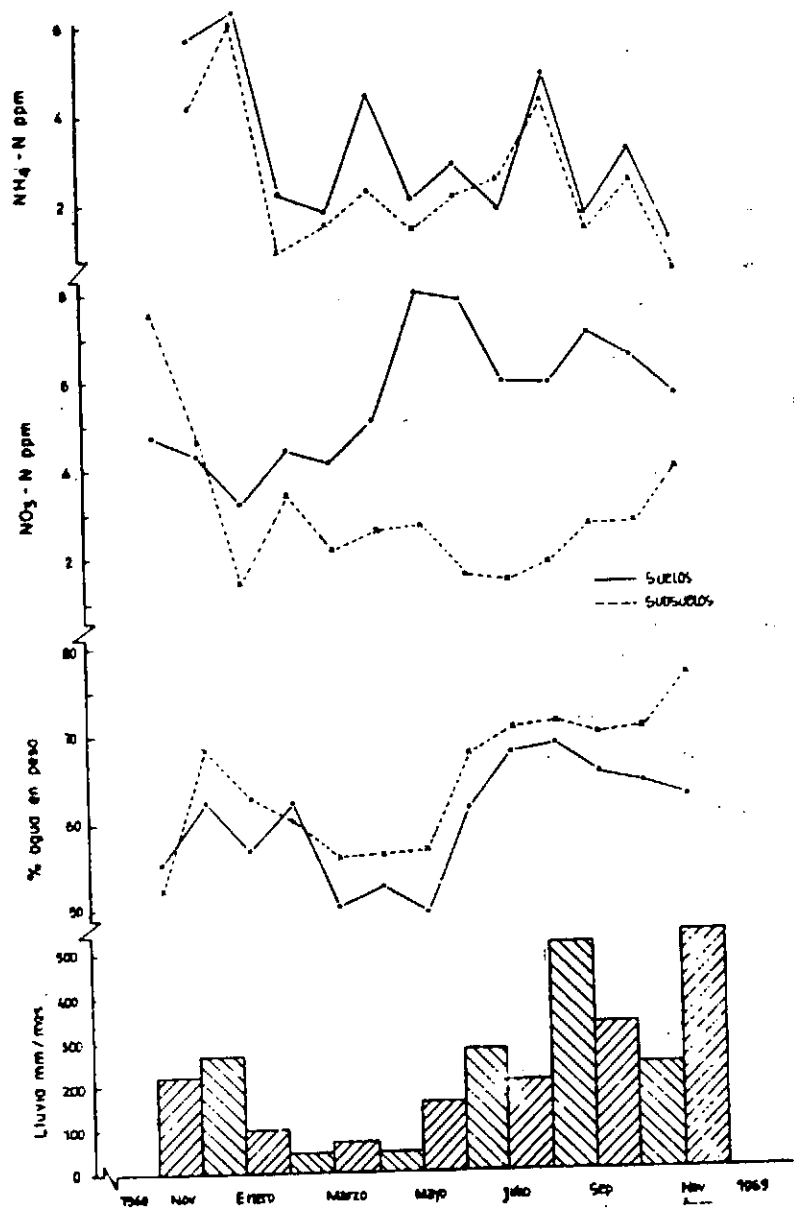
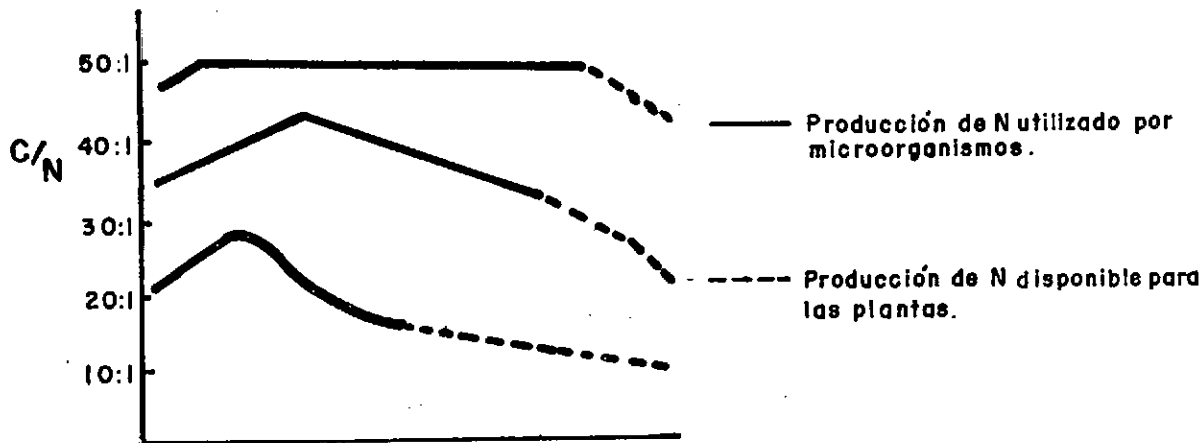


FIGURA 1. VARIACIONES ESTACIONALES DEL CONTENIDO DE HUMEDAD, NITRATOS Y AMONIO EN SUELOS DE COSTA RICA.



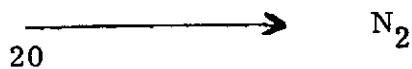
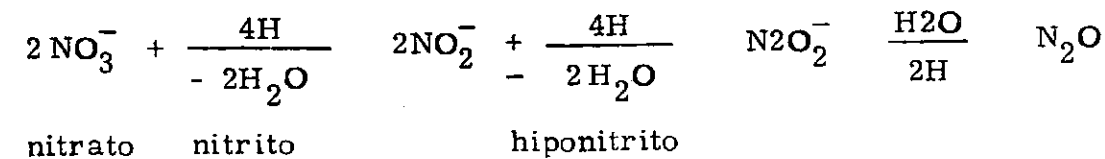
(1) y (3) suelos con N disponible inicial
 (2) Suelos sin N disponible inicial.

FIGURA 8 - RELACION ENTRE EL NITROGENO DISPONIBLE Y VELOCIDAD DE NITRIFICACION Y C/N.

Tomada de Romero, s.f.

reducen el nitrógeno y lo asimilan a sus células. Otra reducción desamilitaria y se presenta en presencia de la reductasa desasimilitaria; aquí los organismos emplean en anaerobiosis los nitratos como aceptores de electrones en lugar del oxígeno, puesto que ellos son normalmente aeróbicos.

Las reacciones de desnitrificación consideran los siguientes pasos intermedios (Fassbender, 1975):



Como reductores de nitratos estrictamente, sólo intervienen algunas bacterias, tales como Achromobacter, Bacillus, Micrococcus y Pseudomonas; especies más importantes: Pseudomonas denitrificans, P. aureoginosa, P. stutzeri, Micrococcus denitrificans, Bacillus ligneniformes; de mucho interés es el género Thiobacillus denitrificans, bacteria oxidadora del azufre y que en condiciones de anaerobiosis emplea los nitratos en cantidad considerable como aceptores de electrones.

3.3.1. Factores que Afectan la Desnitrificación.

3.3.1.1. La temperatura.

Blasco (1970) sostiene que la volatilización aumenta rápidamente entre 2 y 25°C y que luego hay un incremento más lento hasta los 60°C inhibiéndose a 70°C; los aumentos de temperatura afectan el equilibrio NH_4^+ (adsorbido NH_4^+ en solución), puesto que la temperatura incrementa la hidrólisis del amonio.

3.3.1.2. El pH.

Las mayores pérdidas por desnitrificación se presentan en pH básicos; por encima de 5,5 las bacterias actúan en forma más eficiente. No obstante, en suelos ácidos se puede presentar también la desnitrificación.

3.3.1.3. Humedad.

En los extremos de humedad, la inundación y la sequía es donde se produce mayormente; en el primer estado es donde realmente ocurre la desnitrificación y agravado por la evaporación del agua; en el segundo caso, la presión parcial del amoníaco es la mayor responsable.

3.3.1.4. La textura.

Aumentos en los contenidos de arcilla disminuyen la volatilización, pues el NH_4 puede ser fijado inmediatamente. No sucede así con la desnitrificación, la cual se presenta normalmente.

3.3.1.5. La M.O.

Con adiciones de M.O. de fácil descomposición (ejemplo, glucosa), la desnitrificación puede ser intensa, lo que no ocurre cuando la M.O. es de difícil descomposición como en el caso de la lignina.

3.3.1.6. La localización de los fertilizantes.

Los materiales orgánicos nitrogenados se pierden en grandes cantidades cuando son localizados cerca de la superficie, puesto que la producción de amoníaco eleva el pH localmente; así, por un meq de amoníaco volatilizado desaparece un meq de H.

3.3.1.7. Concentración y forma de abono nitrogenado.

A mayor concentración de N, mayor es la pérdida; la forma como se presenta el N es también importante y el nitrato de amonio se pierde con mayor facilidad que el nitrato de potasio.

3.4. INMOVILIZACION DE N

Los microorganismos utilizan en su metabolismo relativamente altas concentraciones de nutrimentos, pudiéndose presentar en ciertos suelos donde el equilibrio ecológico se rompe, cierta competencia con las plantas en un momento determinado; sin embargo, por la razón de un mayor dinamismo en los microorganismos, esta competencia no

afecta radicalmente un cultivo y por el contrario evita pérdidas de elementos muy fugaces en el suelo, tales como los nitratos.

Para ilustración de dicha inmovilización, obsérvese la Tabla 2, tomada de Romero (s. f.).

TABLA 2. Cantidades de nutrientes que consumen las bacterias del suelo. Resultados en % de materia seca.

Nutrientes	% de materia seca
Nitrógeno	9,74 - 11,30
Fósforo	4,70 - 5,0
Potasio	2,27 - 2,4
Residuos	8,5 - 9,7

3.5. FIJACION DE N ATMOSFERICO

Del 80% del N del aire se está incorporando periódicamente gran parte al suelo, ya sea por fijación industrial como fertilizantes o como fijación biológica; esta última nos ocupa especialmente en este artículo y a ella se da un especial interés más adelante.

3.6. MINERALIZACION DEL AZUFRE

Los microorganismos que actúan en este proceso pueden ser bacterias aeróbicas, anaeróbicas, heterotróficas, así como hongos. Entre

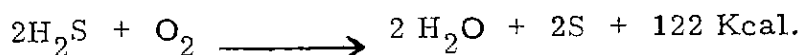
las bacterias se destacan Proteus vulgaris, Serratia marcescens, Pseudomonas; aureoginosas: Alcalingens faecalis, Escherichia coli; hongos: Scopulariosis brevicaulis, Aspergillus sp., Microsporium gypseum (Fassbender, 1975).

La mineralización consiste en la despolimerización de los compuestos orgánicos hasta el estado de aminoácidos o compuestos simples de S. Los productos finales pueden ser SH_2 si hay reducción o $\text{SO}_4^=$ si ocurre una oxidación posterior a la mineralización.

3.6.1. Oxido - Reducción del Azufre.

Estos procesos son realizados exclusivamente por microorganismos. La oxidación muy importante en el suministro de los iones sulfatos que requieren las plantas es realizada por cinco bacterias aeróbicas de las cuales cuatro son autotróficas; ellas son: Thiobacillus thioparus, T. denitrificans, T. ferroxidans, T. nevelus (autotrofa facultativa) y anaeróbicas, tales como Clostridium sp. y Chromatium sp.

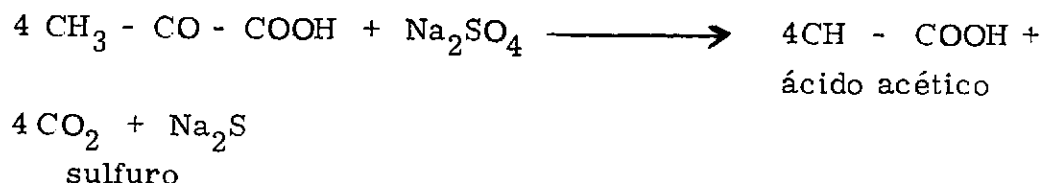
La reacción puede ser como sigue:



Las bacterias oxidantes del S obtienen por su carácter de autotrofia la energía necesaria para sus funciones metabólicas de estas reacciones.

En cuanto a la reducción del S en medios poco aireados, el $\text{SO}_4^=$ es llevado rápidamente a formas sulfúricas por bacterias como Desulfovibrio.

La reacción podría ser similar a la siguiente:



El proceso de reducción de SO_4^{--} (sulfatos) es similar a la desnitrificación y se realiza paralelamente; es particularmente un problema en suelos muy pesados y en cultivo de arroz de inundación. En este último caso, puede ser un problema grave, pues el sulfuro puede precipitar alrededor de las raíces alternando su fisiología. Este fenómeno es difícilmente observable debido al carácter fugaz de los sulfuros, los cuales en contacto con el aire pueden ser oxidados rápidamente.

3.7. LIBERACION DEL FOSFORO

La naturaleza de estabilidad del fósforo en el suelo, debida a su baja solubilidad o alto poder de fijación, invita a estudiar una serie de reacciones de transformación y mineralización en la cual están estrechamente ligados una serie de microorganismos que a la postre facilitarían el manejo en el suelo.

El fósforo orgánico ha sido considerado como la reserva fosforada de los suelos tropicales (Blasco, 1971). Los contenidos de P orgánico en el trópico son sin embargo variables (Fassbender, 1975); algunos datos para Colombia se muestran en la Tabla 3.

A pesar de que los datos de la Tabla 3, muestran relativamente bajos contenidos en porcentaje de P orgánico, el mismo autor (Fassbender, 1975) encontró que el contenido de fósforo total está ligado con

TABLA 3. Contenido de P y formas en algunos suelos de Colombia*.

Autor	Región	No. de muestras	Total	P ocluído	Al-P	Fe-P	Ca-P	P orgánico	% P orgánico
Tafur y Blasco	Valledupar	11	415	151	27	49	67	114	27
Bastidas y Blasco	Putumayo	45	1270	431	226	189	40	379	30
Blasco	Nariño, Altiplano Medio.	8	1442 534	858	155 57	177 48	138 53	123	8
Blasco y Bohórquez	Cauca	11	591	344	32	54	36	120	20

* Tomada de Fassbender, 1975.

los contenidos de M.O y que al aumentarse ésta, se obtiene un aumento en el fósforo total.

Con la mineralización del P orgánico ocurren reacciones que en forma escueta son similares a la del N; a partir de compuestos polimerizados (núcleo proteínas) se forman compuestos más simples (proteínas, ácidos nucleicos) y de aquí se libera ácido fosfórico.

La participación de los microorganismos es importante; se encuentran entre ellos bacterias: Serratia carollera var phosphaticum; Bacillus megaterium var phosfaticus, B. meseuterius, B. vulgaris, B. subtilis; hongos: Sacharomyces ellipsoidus, Arpergillus sp., Penicillium sp., Rhizopus sp., productores de fosfatasa, fitasas o nucleotidosas (Blasco, 1971).

Son organismos rizosféricos que liberan los iones fosfatos directamente a la raíz, lo que hace que se puedan utilizar estos organismos inoculados al suelo para aprovechar el potencial de P orgánico. En Rusia se ha ensayado por ejemplo, el Bacillus megaterium var. phosforicum. Los resultados no son aún claros. Blasco (1971) considera que los flujos iniciales más o menos continuados de P mineralizado, a partir de residuos orgánicos frescos, son los de mayor valor en la nutrición de las plantas.

Otros procesos tocantes al ciclo de P son la adsorción de fosfatos a la superficie de los coloides; precipitación de fosfatos es otro proceso relevante. Existen trabajos (Fassbender, 1975) que indican, que en suelos lateríticos de Hawaii, tres días después de la aplicación de dosis elevadas de fosfatos, hasta el 76% del P aplicado se fijó y en su mayor proporción al Al y Fe; Blasco (1969) encontró que en muchos suelos de Nariño las principales formas de fósforo se encuentran como fosfatos de Fe y Al.

Cabe hacer una reflexión: Al costo actual de los fertilizantes fosforados químicos, sí se justificará las aplicaciones de dosis tan altas como las recomendadas en algunos suelos de los nuestros, donde gran parte de éste no va a ser utilizado por la planta? Acaso no sería mejor comenzar a estudiar los organismos solubilizantes y las condiciones que los rigen para aprovechar el 'pool' de P que la mayoría de nuestros suelos tiene?

4. ECONOMIA DE N EN EL SUELO

4.1. BALANCE DEL N EN EL SUELO

El nitrógeno se acumula en los suelos a través de diversos procesos, entre los cuales los más importantes son la deposición de restos animales y vegetales o mediante la fijación biológica y la fijación química. Este nitrógeno sufre una serie de transformaciones de orden biológico o químico, convirtiéndose en formas aprovechables por las plantas y demás seres vivos del suelo o en formas hábiles que van a parar, ya sea a los ríos, lagunas, océanos o al aire, estableciéndose un comportamiento cíclico del elemento. Este ciclo se ilustra en la Figura 3.

Jenny (1960-1961) y Dean (1930), citados por Guerrero (1979), encontraron en sus investigaciones que los niveles de nitrógeno en suelos tropicales presentan hasta cinco veces más nitrógeno que los de la zona templada. Esto indica que los ecosistemas tropicales funcionan en forma muy positiva con respecto del nitrógeno. Jenny (1961) ilustra el hecho con los datos anotados en la Tabla 4.

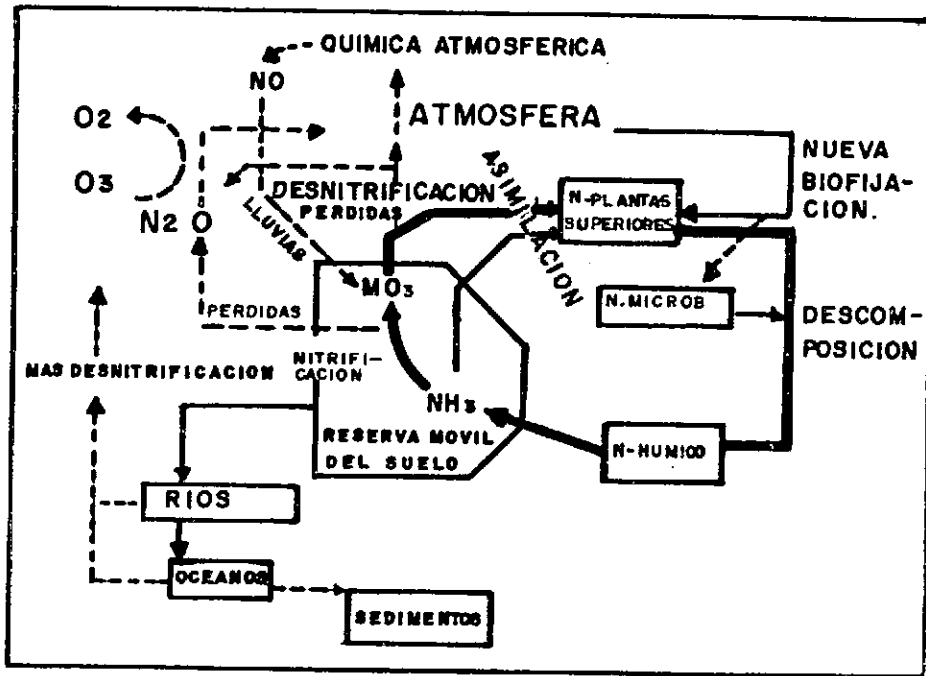


FIGURA 3.- CICLO DEL N.

- PROCESOS MAS IMPORTANTES.
- PROCESOS INTERMEDIOS
- PROCESOS DE MENOR IMPORTANCIA

Tomado de (Vicent 1978)

TABLA 4. Ganancias actuales de materia orgánica (kg/Ha) y de N total en los ecosistemas forestales (Jenny 1961, citado por Guerrero 1979).

Materiales	Bosque Tropical		Bosque Templado	
	Calima	Chinchiná	Robles	Pinos
Hojas				
Peso	6.511,0	8.340,0	1.330,0	2.720,0
N total	72,8	140,0	10,3	13,7
Residuos orgánicos				
Peso	3.853,0	12.978,6	22.451,0	112.704,2
N total	78,5	315,7	276,4	1.046,3
% pérdidas				
Peso	62,8	39,1	5,6	2,4
N total	54,2	30,7	3,9	1,3

El encuentra una explicación del fenómeno observado en la Tabla 4 a la presencia de un 50% de especies forestales leguminosas en el trópico, al aporte de N en las aguas lluvias y a la fijación simbiótica y asimbiótica.

De acuerdo con los datos sobre contenidos de N total anotados por Blasco et al (1971), para el Amazonas de Colombia en el horizonte A de suelos cultivados 0,67%, suelos de pradera 0,53% y pantano 0,92%; (Blasco, 1969) para Nariño en un Andosol subalpino 0,56%, montano 0,33%, subtropical 0,27% y trópico 0,70%; y por FAO (1966) en los

Llanos Orientales de 0,16% y los niveles de N_t de acuerdo con el nivel de fertilidad recogidos de varios autores por De Benavides (1972), los cuales se citan en la Tabla 5, se deduce que todos los suelos estudiados se encuentran por encima de un nivel de mediano (normal) a muy ricos en N.

TABLA 5. Contenido de N_t (%).

Nivel de fertilidad	Ancizar (1934)	Lafaurie (1946)	IGAC (1963)
Límite inferior de productividad	-	0,02	-
Muy pobre	0,03	0,02 - 0,03	0,00 - 0,10
Pobre	0,03 - 0,06	0,03 - 0,06	0,10 - 0,15
Mediano (normal)	0,06 - 0,10	0,06 - 0,1	0,15 - 0,25
Bueno	0,10 - 0,20	0,10 - 0,20	-
Rico	0,20 - 0,30	0,20 - 0,30	0,25 - 0,30
Muy rico	0,30	0,30	0,30

No obstante y estos datos, las recomendaciones de nitrógeno para los cultivos son un poco englobadas. Se hace necesario, con base en los datos anotados, en vez de dedicar tantos esfuerzos a la respuesta a los fertilizantes nitrogenados, tratar de aunar esfuerzos en la búsqueda de un mejor aprovechamiento del potencial natural del N mediante la

introducción y/o el manejo de organismos que vuelven aprovechable este nitrógeno para las plantas; o la búsqueda de formas de impactar sobre la mineralización de la M.O, de modo controlado, de tal manera que el balance entre las ganancias y las pérdidas de N y otros elementos se mantenga.

4.2. GANANCIAS BIOLÓGICAS DE NITRÓGENO PARA EL SUELO

El N vuelve al suelo de diferentes modos: Por fijación biológica, disuelto en las aguas lluvias o por absorción directa.

En el suelo existen organismos que pueden tomar, mediante mecanismos que solamente ahora empiezan a esclarecerse, el N del aire y pasarlo al suelo en forma de amonio. Estos organismos pueden vivir libremente en el suelo o en simbiosis con otros organismos con los cuales comparten el N fijado a cambio de carbón fijado por ellos.

La fijación biológica mundial ha sido sugerida por Donald (1960), citado por Graham (1972) en 100 millones de toneladas por año.

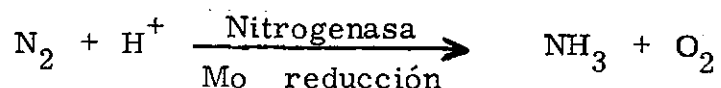
4.3. FIJACION BIOLÓGICA DE N

Entre los organismos fijadores de N simbióticamente, el más familiar es el Rhizobium asociado con leguminosas; sin embargo, como quedó demostrado anteriormente, existen en la naturaleza otros organismos tan efectivos o más en esta función que el mismo Rhizobium, como algunos actinomicetos asociados con especies forestales y algas verde-azules asociadas a otras plantas u organismos.

Los tipos de fijación son: Fijación simbiótica y asimbiótica.

4.3.1. Fijación Simbiótica.

Esta fijación presenta el siguiente mecanismo:



Se discute seguidamente los elementos que conforman la reacción:

.1. El nitrógeno.

El nitrógeno molecular N_2 posee un triple enlace $\text{N} \equiv \text{N}$ similar al enlace del acetileno $\text{CH} \equiv \text{CH}$ y otros compuestos, enlace cuya ruptura sugiere de mucha energía por ser de los enlaces químicamente más estables.

.2. La nitrogenasa.

La fijación del N_2 en forma de NH_3 requiere del rompimiento del triple enlace entre los átomos de N. La nitrogenasa es la enzima que activa ese proceso.

La Nitrogenasa se halla compuesta de dos proteínas, componentes que se han denominado como componentes I y II. El primero es una ferromolibdoproteína y es la parte activa de la enzima; su peso molecular es de 80.000 mientras que la parte dos está compuesta por hierro y sulfuros y su peso molecular es 40.000. La nitrogenasa es probablemente similar para todos los organismos fijadores de N (Donald 1960, citado por De Benavides 1972). Este último concepto le da las bases a Alexander (1961) para afirmar que el sistema global de fijación de nitrógeno es similar para todos los organismos y que lo que cambia son los organismos y algunos mecanismos.

La habilidad de la nitrogenasa de romper el triple enlace del acetileno $\text{CH} \equiv \text{CH}$ para reducirlo a $\text{CH}_2 \equiv \text{CH}_2$ ha permitido establecer la metodología más actualizada para determinar la capacidad y la cantidad de N fijado por un organismo determinado. El método es simple; consiste en introducir una cantidad conocida de acetileno en una atmósfera emitida donde se quiere evaluar la actividad de la nitrogenasa, un volumen no mayor de 1/10 del volumen del recipiente.

Se extrae una muestra luego de media hora y por cromatografía de gases se obtiene el etileno producido.

La reducción del acetileno es tres veces más eficiente que la del nitrógeno, lo que facilita aún más el método. La cantidad de N fijado se mide como $\text{nmC}_2\text{H}_4/\text{g de prot.}/\text{tiempo}$ o como $\text{nmC}_2\text{H}_4/\text{cm}^2/\text{h}$.

.3. Los hidrógenos.

Los hidrógenos para la reacción provienen del proceso de respiración a partir de carbohidratos fotosintetizados por la planta especialmente $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ que sirve a la vez como productor de energía y de hidrógenos mediante las reacciones que se ilustran en la Figura 4.

En la fijación química, los hidrógenos se obtienen del gas natural mediante la reacción: $\text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{CO}_2 + 4\text{H}_2$ (altas presiones y temperatura). Se puede establecer una comparación con la anterior reacción. Uno de los pasos donde posiblemente la fijación simbiótica se hace más cara es en la producción de los hidrógenos, por un lado por la poca eficiencia y por otro parece que existe una serie de reacciones colaterales de producción de hidrógenos que no necesita la simbiosis en el proceso. Un gramo de N cuesta a la planta el equivalente a 188 g de glucosa (Vicent, 1978) es decir una eficiencia del 12 - 16%.

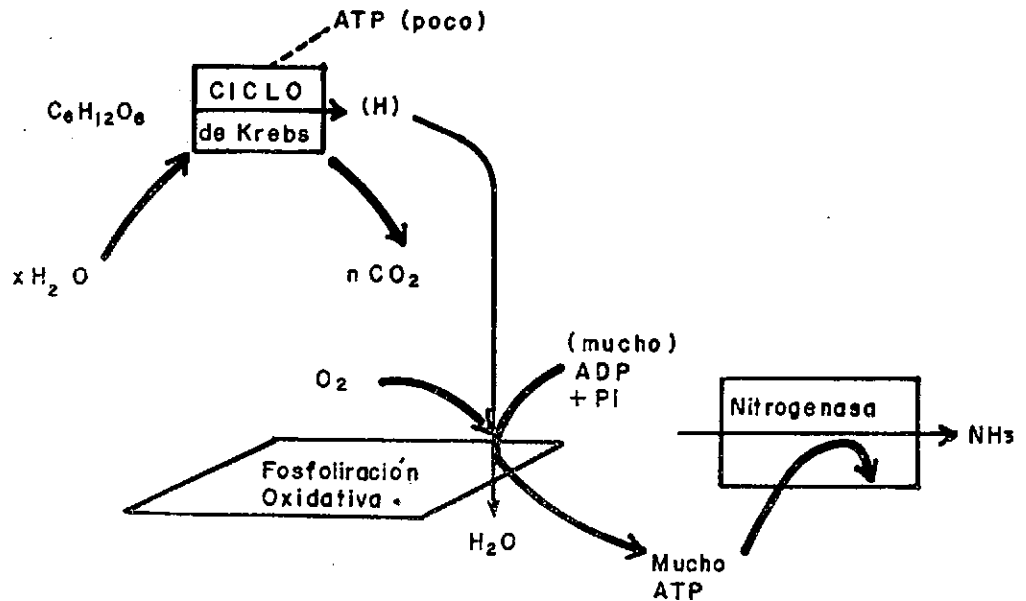


FIGURA 4- LA RESPIRACION MOTOR DE LA FIJACION DE NITROGENO

(Tomado de Vicent 1978)

4. La Leghemoglobina.

Es un pigmento rojo similar a la hemoglobina de los mamíferos; no es sintetizada por el simbiote, sólo parece que una parte hemo es producida por el organismo y la globina por la planta (Becking, 1970 citado por De Benavides, 1972).

Se ha encontrado correlación entre el contenido de leghemoglobina y N fijado por el nódulo (De Benavides, 1972). La función de la leghemoglobina parece ser producida por el compuesto que atrapa el O_2 durante el proceso de reducción, pudiéndose explorar así un proceso de reducción anaeróbico donde hay la aerobiosis. La leghemoglobina es

En el caso del Rhizobium, la leghemoglobina colorea de rojo los nódulos indicando la existencia de la fijación; cuando los nódulos envejecen o sufren una adversidad a la leghemoglobina, la acompaña una degradación a biliverdina haciendo que los nódulos se tornen azul-verdosos. En nódulos formados por actinomicetos, tales como los de Alnus y Casuarina, se presenta un compuesto parecido a la hemoglobina desoxigenada, la cual en contraste con la leghemoglobina no es extractible en solventes acuosos y parece estar íntimamente ligado a residuos de las células (Brecking, 1970 citado por De Benavides, 1972).

4.3.2. Tipos de Asociaciones Simbióticas Fijadoras de N.

Son Rhizobium - leguminosas; actinomicetos - varias familias vegetales; algas - otras familias vegetales.

4.3.3. Rhizobium - Leguminosas.

Se conocen unas veinte razas de Rhizobium, entre las cuales algunas establecen simbiosis específica con un grupo determinado de leguminosas; ejemplo, el Rhizobium meliloti con alfalfa.

Este tipo de relación específica presenta la mayor efectividad en la fijación del Nitrógeno.

Hay cepas menos específicas que pueden infectar un mayor número de especies de leguminosas, pero su efectividad es menor o ninguna. Es necesario tener presente entonces los conceptos de especificidad, infectividad y efectividad del Rhizobium.

La infectividad se refiere a la disposición de una cepa a formar nódulos con una especie, así fije o no nitrógeno.

La efectividad dice del mayor o menor grado de fijación que pueda presentar la cepa con la leguminosa.

La especificidad de una cepa se define como la habilidad de formar nódulos y fijar nitrógeno exclusivamente o en la forma más efectiva con un género o especie determinado de leguminosa. Estos conceptos tienen un interés práctico cuando se quiere inocular un cultivo.

Se conocen las siguientes interacciones Rh - planta:

<u>Rh. melitoti</u>	alfalfa
<u>Rh. trifoli</u>	trébol
<u>Rh. phaseoli</u>	Phaseolus
<u>Rh. leguminosarum</u>	arvejas
<u>Rh. lupini</u>	lupinus
<u>Rh. japonicum</u>	soya
<u>Rh. cowpea</u>	cowpea

Pueden existir grupos de inoculación cruzada entre los Rh. trifoli, leguminosarum, phaseoli y entre japonicum, lupini y cowpea.

Las cantidades de N fijado por especies de leguminosas, las más efectivas dentro de los grupos citados anteriormente, son estimadas por Nutman (1965) en:

Alfalfa	50 - 350 kg/Ha
Tréboles	50 - 200 kg/Ha
Guisantes	30 - 140 kg/Ha
Pastos + leguminosas	10 - 550 kg/Ha

La contribución de las leguminosas puede ser vital para el mantenimiento de la productividad por largos períodos. Una leguminosa puede aportar al suelo hasta 500 kg/Ha de N (National Academy of Science, 1979).

En el trópico hay buenas perspectivas con leguminosas como Stylosanthes humilis, S. guyanensis y Macroptilium artropurperum para ser utilizado en pastoreo intensivo asociadas con pastos.

4.3.2.2. Actinomicetos - Varias familias vegetales.

El mecanismo de fijación llevado a cabo por estos organismos asociados, parece seguir los mismos patrones enunciados cuando se habló de la fijación simbiótica, numeral 4.3., con la diferencia que se anotaba más adelante en la leghemoglobina, es decir, la protección del O_2 muy similar a la presentada en simb. Rhizobium - leguminosas.

Sobre la economía de N que implica la asociación, también se ha discutido en el numeral 2.3. En cuanto a los nódulos en este tipo de asociación, se conocen dos tipos: El tipo Alnus o coraloide, y del tipo Myrica, filamentosos y de geotropismo negativo, estos últimos.

4.3.2.3. Algas - Algunas familias vegetales.

Los mecanismos de fijación por las asociaciones algales, conservan los patrones más comunes de fijación como son la producción de la nitrogenasa, la reducción del N a NH_3 , pero presenta una serie de variantes de interés. Con algunos angiospermas, éstas pueden formar estructuras nodulares en o muy cerca de la superficie; ejemplo, Eucalyptus banksia en el oeste de Australia (Halliday and Pate 1976, citados por Peters 1978).

Posiblemente en el Oriente Antioqueño, un tipo de estructura en la base de eucalipto con características muy similares a la descrita por los autores citados anteriormente, corresponde a este tipo de asociación.

El mecanismo de protección del oxígeno mediante los heterocitos es sin duda la variante más importante en la fijación por algas. Estos heterocitos son células especializadas, las cuales no tienen fotosistema II y no liberan O₂.

Respecto a la economía de N para el suelo y a la asociación de más futuro ya se ha discutido en el numeral 2.4.

4.3.3. Fijación no Simbiótica.

De acuerdo con Alexander (1961), los organismos fijadores de nitrógeno en forma libre se clasifican en:

4.3.3.1. Bacterias heterotróficas.

Azotobacter, Aerobacter, Achromobacter, Beijerinckia, Clostridium, Pseudomonas. El Azotobacter es la bacteria aeróbica que más se ha estudiado; aún en Rusia se ha utilizado en inoculaciones de semilla para asegurar su presencia en la rizosfera de los cultivos donde es muy activa; fija aeróbicamente; la defensa del O₂ la hace mediante un ritmo acelerado de respiración. El Clostridium es en cambio, el representante anaeróbico más importante en cuanto a la fijación; es de distribución marcadamente tropical; parece que los suelos con altos contenidos de Fe y Al y pobres en bases es su mejor hábitat.

4.3.3.2. Bact. quimioautotróficas: Methanobacillus.

4.3.3.3. Algas verde-azules: Anabaena, Aulosira, Colothrix, Nostoc.

Estudios recientes de Dobereinar (1966) en el Brasil muestran el azospirillum (Azotobacter papalum) como otro elemento rizosférico de mucha importancia en la fijación de N en suelos tropicales. Es un organismo microaerófilo. Se difiere de la nitrogenasa del O mediante su gran movimiento. Pueden ser desnitrificantes en condiciones de anaerobiosis en los cuales pueden respirar NO_2 .

La cantidad de N fijada asimbióticamente no es tan alta como la simbiótica; su fijación puede llegar en los trópicos hasta 100 kg/Ha/año. Sin embargo, son muy importantes de acuerdo a los ecosistemas en que se encuentren.

4.3.4. Pérdidas de N por Acción de los Microorganismos.

El nitrógeno del suelo se puede perder de diferentes maneras; los mecanismos de pérdidas son lixiviación, desnitrificación, volatilización del amonio, erosión y una pérdida parcial por inmovilización.

La desnitrificación es talvez el proceso más importante desde el punto de vista biológico.

4.3.4.1. La desnitrificación.

La define la Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo, como la "reducción biológica de nitrato o nitrito a nitrógeno gaseoso (molecular u óxidos nitrosos)". El proceso en sí y la acción de la microflora del suelo se ha discutido en el numeral 3.3. Aquí sólo se discutirá algunas implicaciones económicas sobre el balance del N.

Greenland (1962), uno de los pocos investigadores que ha estudiado la desnitrificación en el trópico, encontró en suelos de Ghana en condiciones de saturación, una pérdida por desnitrificación de 20% de nitrógeno añadido y en suelos saturados desprendidos encontrados por él ascendieron al 97%.

Ekpete y Cornfield (1965) citados por Guerrero (1979), demostraron que la desnitrificación ocurre inclusive a bajos contenidos de humedad y que inclusive a bajos contenidos de humedad se manifestó a gran escala a pH 4, 7.

No obstante, las pérdidas por desnitrificación sólo revisten alguna importancia cuando los microbios toman los nitratos como aceptor terminal de electrones en el proceso de respiración; ésto en condiciones limitantes de oxígeno, Graham (1972); Broadbent y Clark (1965) citados por Graham (1972), sostienen que las pérdidas por desnitrificación son del 10 - 15% del nitrógeno total, lo que es tolerable, aunque en el trópico las pérdidas pueden ser un poco mayores.

5. LAS MICORRIZAS Y SU ACCION SOBRE EL P EN EL SUELO

Se ha discutido mucho sobre la estabilidad del fósforo en el suelo, ya sea por su poder de fijación con Al, Fe y Ca o por la lenta disponibilidad del P orgánico, el cual presenta valores muy amplios en la mayoría de suelos colombianos.

De la misma forma que para el nitrógeno, se presentan una serie de organismos que influyen sobre la disposición de P en el suelo para las plantas; así, la gran mayoría de especies vegetales presentan una relación simbiótica con un hongo determinado, para asegurar por lo tanto una lucha más equitativa contra las fuerzas que impiden en el suelo la asimilabilidad del fósforo. A esta asociación se denomina micorriza.

Aún no se ha esclarecido si la micorriza es capaz de solubilizar fósforo o si simplemente se limita a la exploración y la toma de

formas no solubles; lo que sí es claro es que plantas micorrizadas presentan un mayor contenido de fósforo y un mayor desarrollo que plantas no micorrizadas y no fertilizadas con fósforo (Azcon and Barea, 1978, Wilcox 1978, Murdoch and Gerdeman 1967, Daft and Nicolson 1969, Azcon et al 1976, entre muchos otros).

Este tipo de simbiosis se presenta en la mayoría de las especies siendo su ocurrencia la regla más que la excepción (Zak, 1964).

La clasificación más amplia de las micorrizas es muy antigua; fue Frank (1885) quien primero las separó en dos grupos, las cuales se conservan aproximadamente igual en nuestros días; él distinguió dos tipos: Endotrofa o endotrófica y ectotrofa o ectotrófica, de acuerdo con la localización de las estructuras del hongo.

5.1. MICORRIZAS DE TIPO ENDOTROFICO

El hongo penetra en las células más internas de la raíz atravesando las membranas celulares, arrimándose en su parte más íntima. Una gran parte de micorrizas de este tipo, forman vesículas y arbuscúlos, por lo que se les ha denominado micorriza vesicular - arbuscular; éstas pertenecen según la clasificación fungal más reciente, al gran grupo de los Endomicetos (antes comprendido) en los ficomicetos que ahora desaparece.

Se presentan otros endofitos diferentes dentro de este grupo, tales como Rhizoctonia solani que forma endomicorrizas con orquídeas en donde forman agallas globulares; este hongo pertenece a los hongos imperfectos. Un ascomiceto forma endomicorrizas con la familia de las Ericaceae y Gentianaceae (Kelly, 1950). Los géneros Vaccinium Calluna y Rhododendron (Ericaceae) son más o menos dependientes de los hongos micorizógenos.

Se supone una digestión gradual de las estructuras formadas al interior de las células, aprovechando así el hospedero el cúmulo, particularmente rico en fósforo formado por el hospedante (Haskaylo 1957, Tinker 1974). Cox (1974) afirma, según sus investigaciones que estos orgánulos son gránulos de polyphospato que sería la forma como el hongo los introduce a la planta para luego ocurrir la hidrólisis.

5.2. LAS MICORRIZAS ECTOTROFICAS

Se describe como el tipo de asociación en donde una fase del hongo se establece externamente, formando una capa pseudoparenquimatosa denominada "micoclena" por algunos autores o "rizoclena", según otros. Otra fase se proyecta a las capas epidérmicas más superficiales y penetra a veces profundamente en los espacios intercelulares, constituyendo la red de Harting en honor a Harting (1951) quien la describió por primera vez.

El hongo simbiote formado de este tipo de micorrizas pertenece, con algunas excepciones, al grupo de los Basidiomicetos.

Este tipo de micorriza se presenta únicamente en especies forestales. Se manifiesta su presencia macroscópicamente por formación de raíces cortas e hinchadas, ramificadas dicotómicamente, rodeadas por el manto hifal de color claro u oscuro según el tipo de hongo simbiote.

Una planta puede ser micorrizada por varias especies de hongos y el sistema radicular puede ser infectado en parte o en la totalidad.

Un hongo puede a su vez inocular varias especies vegetales diferentes; sin embargo, Mosse (1973) encontró que algunos endofitos pueden producir mayor crecimiento con unas especies que con otras.

El reconocimiento hasta el presente de la acción de las endomicorrizas ha sido velado. El estímulo que dicha simbiosis puede ocasionar al crecimiento de la planta, puede ser de 10 a 100% (Hyman, 1978).

El papel más importante de las micorrizas en la agricultura, podría ser una mejor utilización de los fertilizantes fosforados. La selección de especies eficaces de hongos para una planta y un suelo determinado, permitiría de una parte reducir la cantidad y la frecuencia de aplicación de fertilizantes y de otra volver posible la utilización de formas insolubles de fósforo menos costosas (Gianinazzi et al, 1976).

Crush et al (1975), encontraron que muchas especies de plantas respondieron en su crecimiento con la inoculación de micorrizas endotróficas, tanto en suelos estériles como en suelos no esterilizados, lo cual indica que, posiblemente el potencial de endofitos en el suelo no es suficiente. Los incrementos en rendimientos fueron considerables.

En pequeñas parcelas, se ha encontrado respuesta a inoculación con endomicorrizas en: Soya (Ross and Harper, 1970), maíz (Khan, 1972), trigo (Khan, 1975), cítricos (Kleinschmidt and Gerderman, 1972).

Los inoculantes de endomicorrizas encuentran una dificultad en la imposibilidad de cultivarse en medios sintéticos. Los inoculantes hasta el presente, se están obteniendo de cultivos del hongo en raíces creciendo normalmente en el suelo. Crush (1975) ensayó con semillas peletizadas con inoculante de raíces o de esporas tanto fresco como liofilizado, y halló que el inóculo liofilizado presenta algunas ventajas sobre el inóculo fresco.

La existencia de una potencialidad de inóculo natural, particularmente en los suelos más pobres en fósforo aprovechable y suelos infértiles en general y la respuesta negativa de las asociaciones micorrizales a la aplicación de fosfatos solubles y de N como lo demuestra Hyman

(1975), muestran que en nuestro medio, el desarrollo de técnicas y la utilización de inoculantes micorrizógenos podría presentarse como una buena alternativa a la fertilización química fosforada.

Se ha puesto algún interés en las endomicorrizas porque éstas tocan más a los objetivos de este artículo, pues ellas influyen de manera especial plantas de ciclo corto o arbustos como cacao, té, cítricos, que reciben normalmente fertilización. Sin embargo, no está por demás citar algunos aspectos tocantes a la utilización práctica de las ectomicorrizas.

La asociación micorrizógena es absolutamente necesaria al desarrollo de ciertos árboles forestales, tales como: Abies, Larix, Picea, Pinus, Fagus y Quercus (Meyer, 1973). Estos árboles son incapaces de desarrollarse en condiciones naturales, sin micorrizas. Los hongos micorrizógenos que forman las micorrizas con esas especies, deben ser también dependientes de ellos; de ahí que, la introducción de esas especies haya chocado inicialmente con problemas.

Según Chevalier (1974), los árboles que son introducidos por primera vez o que se plantan después de mucho tiempo de no existir en la zona, no necesariamente dejan de formar micorrizas; ellos pueden ser invadidos por hongos de amplio espectro que forman micorrizas efectivas con las especies nativas presentes. Pero sin el simbiote propio (caso pino exótico) la planta no crece.

Mikola (1973), en "Ectomycorrhiza" ha dado cuenta en forma completa de las técnicas de ayer y de hoy utilizadas en la inoculación.

En el presente, ya han empezado a ser distribuidos inoculantes; sin embargo, la investigación en nuestro medio para la adaptación del hongo al medio, la respuesta de diferentes especies hospederas a diferentes simbioses para asegurar la mayor eficacia no avanza ni siquiera

al ritmo que avanza la fertilización química en bosques la cual ha empezado a convertirse en necesidad.

Para concluir, se ha expuesto aquí el efecto que los microorganismos pueden tener sobre la fertilidad y como sería posible alternar por lo menos la fertilización química con el manejo de algunos microorganismos que influyen a su turno cualquiera de los nutrimentos mayores de las plantas. Se ha hecho énfasis sobre todo en las asociaciones simbióticas que aseguran un mejor aprovechamiento de los "pools" de elementos presentes en los suelos más pobres y degradados, y aunque con impresiones y omisiones inherentes a la extensión del tema, se espera haber creado por lo menos una inquietud.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo con lo expuesto, se puede asegurar que la mayor parte de los nutrimentos vegetales tienen asegurado algún organismo o varios que influyen decididamente en la economía del mismo.

Para mucha gente, las alternativas biológicas para la fertilización pueden parecer una práctica feudalista y retardatoria no aplicable a los modelos económicos tendientes a maximizar los rendimientos y asegurar el alimento humano; sin embargo, la famosa revolución verde que, en síntesis, consistió en un impulso desmedido del uso de fertilizantes químicos y la cual fue ideada para los países tercermundistas, no tuvo eco más que en los países desarrollados. Por lo tanto, no se puede esperar que la panacea para resolver el problema del alimento es la fertilización química.

Algunos datos en el texto muestran las cantidades de nitrógeno fijado por algunas especies, asociaciones, equivalentes a una fertilización, a la que aspiraría un agricultor medio para su parcela.

También se mencionan algunas investigaciones que muestran hasta tres y cinco veces más de crecimiento de algunas especies vegetales micorrizadas respecto de no micorrizadas, lo que muestra que, en el trópico donde el mayor problema del fósforo es la fijación, una micorriza adecuada a la especie podría evitar las grandes pérdidas de fertilizantes por fijación y reducir los costos de la fertilización mediante el uso de fuentes no solubles.

El concepto de la fertilización biológica no se puede quedar en el aire; éste no es utópico y, por el contrario, es demasiado real pero se tiene que emprender una acción decidida en la búsqueda de técnicas apropiadas que garanticen su buen desempeño.

A nivel de profesionales agropecuarios debería intensificarse la preparación sobre biología de suelo, de tal forma que el número de extensionistas sea lo suficientemente amplio como para garantizar la utilización de las técnicas desarrolladas.

A nivel de campesino, se debiera emprender el establecimiento de parcelas comparativas que contrasten los rendimientos con tratamientos biológicos y químicos y a la vez darles conciencia de la preservación del medio ambiente y la ecología en general.

A nivel de investigación se recomienda:

1. Establecimiento de curvas de nitrificación para diferentes períodos climáticos y para diferentes pisos climáticos, de tal manera que la fertilización nitrogenada sea más racional y se eviten las pérdidas y la contaminación.
2. El estudio de las rizosferas de los cultivos tradicionales, en diferentes condiciones de suelos y la acción de los organismos que la componen, a manera de inventario, lo cual abriría la posibilidad de,

mediante ensayos, tratar de introducir especies más eficaces; por ejemplo, en la nitrificación, en la solubilización de fósforo, potasio y otros.

3. El estudio de especies fijadoras de nitrógeno diferentes al Rhizobium, puesto que este último está siendo estudiado por centros fundados exclusivamente para su estudio.

Como fijadores de N de gran interés en nuestro medio y que sería importante empezar a estudiar, se citan el actinomiceto Frankia, el alga Anabaena azolla y las diferentes asociaciones que forman. A manera de ejemplo, ya se ha emprendido en la Universidad Nacional de Medellín, un estudio de la asociación en Alnus jurunjemis. Particularmente valdría la pena estudiar la asociación azolla - anabaena y su utilización como forraje, como fertilizante, como alimento de peces y humano.

4. Estudiar las micorrizas en los cultivos tradicionales formadas naturalmente en diferentes pisos climáticos y establecer ensayos comparativos con especies de hongos micorrizógenos diferentes. De encontrarse diferencias significativas, elaborar una técnica, de acuerdo con nuestros recursos, para preparar inoculantes y difundir su uso entre los agricultores.

7. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

1. ACOSTA, P. C. Producción de fertilizantes fosfatados en Colombia. p. 22. En: El fósforo en zonas tropicales, (Tercer Coloquio de Suelos) H. Medina (ed.) Soc. Col. de la Ciencia del Suelo. Medellín, 1974. 409p.
2. ALEXANDER, M. Introduction to soil microbiology. New York, Wiley, 1961. 472p.
3. AZCON, C. et al. Effects of interactions between different culture fractions of phosphobacteria and Rhizobium on mycorrhizal infection, growth, and nodulation of Medicago nativa. Can J. Microbial 24: 520-522. 1978.
4. BECKING, J.H. Plant endophyte symbiose in non leguminous plant. Plant and Soil 32: 611-654. 1970.
5. BLASCO, L.M. Propiedades químicas de los suelos derivados de cenizas volcánicas de Nariño, Colombia. En: Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina, Turrialba, Costa Rica. IICA, 1969. p. B.8-10.
6. _____. Microbiología del Suelo. Curso IICA-OEA. Turrialba, Costa Rica, 1970. 247p.
7. _____. Nitrification in saline soils acidified with aluminium sulphate. Geoderma 5: 161-164. 1971.
8. BOND, G. The results of the IBP survey of root - nodule formation in nonleguminous angisperms. In: P.S. Nutman, ed. Symbiotic Nitrogen Fixation in plants. Cambridge University Press. Cambridge, England, 1976. p.443-474.

9. BROADBENT y CLARCK, F.E. and CLARK, F. Denitrification
In "Soil Nitrogen" Bartholomew and Clark, Ed. American
Society of Agronomy, Madison. s.f. p.347-362.
10. COX, G. and SANDERS, F. Ultrastructure of the host-jungus in-
terface in a vesicular - arbuscular mycorrhiza. *New Phytol*,
73: 901 - 912. 1974.
11. CRUSH, J.R. and PATTISON, A.C. Preliminary results of vesi-
cular - arbuscular mycorrhizal inoculum by Freeze drying.
p. 428. In: Endomycorrhizas. Sanders F.E. (eds) Acade-
mic Press Inc., N. York, 1975. 485p.
12. CHEVALIER, G. Application pratique de la symbiose ectomyco-
rhizogène. p. 55. In: Morphogenèse et Mycorrhizes (Pro-
blèmes posés aux pépiniéristes, haticulteurs et forestiers).
Tome 4 2^{ème} partie. A Ridacker et Michard, (eds) compte
rendu des séminaires du groupe D'ÉTUDE DE Racines 5 oc-
tobre 1976 - Grenoble. 1976. 113p.
13. DAFT, M.J. and NICOLSON, T.H. Effect of endogone Mycorrhiza
on plant growth. (II Influence of soluble phosphate on endophy-
te and host in maize). *New Phitol.* 68 : 945-952. 1969.
14. DE BENAVIDES, G. La mineralización del nitrógeno en suelos de
Colombia. In: El uso del nitrógeno en el trópico. Ed. Soc.
Col. de la Ciencia del Suelo, 1972.. p. 37-68.
15. DELWICHE, C.C. Legumes Past, Present, and future. *Bioscien-
ce* 28(9):565-570. 1978.
16. DOBEREINAR, J. Azotobacter paspali sp. n, una bacterica fixado-
ra de nitrogenio na rizosfera de Paspalum *Pesq Agrop. Bras.*
1:357-365. 1966.

17. DONALD, C.M. J. Aust. Inst. Agric. Sci. 26:319-338. 1960.
18. EKPETE, D.M. and CORNFIELD, A.H. Effect of pH and addition of organic materials on denitrification losses from soil. Nature 208:1.200. 1965.
19. FASSBENDER, H.W. Química de suelos (con énfasis en suelos de América Latina). IICA Turrialba, Costa Rica, 1975. 398p.
20. FOGG, G.E. et al. The Blue-green Algae. Academic press, New York, 1973.
21. GIANINAZZI et al. Les mycorhizas endotrophes ét at actuel des counaissaues et possibilités d'application dans la parctique culturale. Am Phytopatal. 8(3): 249-256, 1976.
22. GRAHAM, P. 1972. El ciclo del nitrógeno. En: El uso del nitrógeno en el trópico. Ed. Soc. Col. de la Ciencia del Suelo. Medellín, Colombia, 1972. p.119-137.
23. GREENLAND, D.J. Nitrate fluctuations in tropical soils. Journal of Agricultural Science 50(1):82-91. 1958.
24. _____. Denitrification in some tropical soils. Journal of Agricultural Science 58(2):227-233. 1962.
25. GUERRERO, R.R. Algunos aspectos sobre el balance del nitrógeno en suelos tropicales. I. Ganancias. Suelos Ecuatoriales. Soc. Col. de la Ciencia del Suelo (eds) X (1):54-63. 1979(a).
26. _____. Algunos aspectos sobre el balance del nitrógeno en suelos tropicales. I. Pérdidas. Suelos Ecuatoriales. Soc. Col. de la Ciencia del Suelo (eds) X(1): 63-68. 1979(b).

27. HALLYDAY, J. and PATE, J.S. Symbiotic nitrogen fixation by coralloid roots of the cycad Macrozamia riedleyi: Physiological characteristics and ecological significance. Aust. J. Plant Physiol. 3:349-358. 1976.
28. HASKAYLO, E. Mycorrhizae of trees with special emphasis on physiology of ectotrophic types. Rep. from the Ohio Journal of Science 57(6):350-357. 1957.
29. HYMAN, D.S. The occurrence of mycorrhiza in crops as affected by soil fertility. In: Endomycorrhizas. F.E. Sanders et al (eds) Academic Press, New York, 1975. 625p.
30. _____. Endomycorrhizae capio. In: Interaction between non-pathogenic soil microorganisms and plants, Y.R. Dommergues and S.V. Krupa eds. Elsevier, Amsterdam, 1978.
31. HARDY, R.W.F. and HAVELKA, V.D. Nitrogen fixation research; a key to world food?. Science 188:633-643. 1975.
32. JENNY, H. Comparison of soil nitrogen and carbon in tropical and temperate regions. As observed in India and the Americas. Missouri, College of Agriculture, Agricultural Experiment Station, 1961. p.5-31. (Research Bull. No. 765).
33. KELLY, A.P. Mycotrophy in plants. Waltham, mass, chronica Botánica Co. 1950.
34. KHAN, A.G. The effect of vesicular - arbuscular mycorrhizal associations in the growth of cereales. In: Effects in maize growth. New Phytol 71:613-619. 1972.

35. KHAN, A.G. Growth effects of VA Mycorrhiza on crops in the field. p.429-433. In: Endomycorrhizas. F.E. Sanders et al (eds) Academic Press Inc. , N. York, 1975. 625p.
36. KLEINSCHMIDT, G.D. and GERDEMAN, J.W. Studing of citrus seedlings in fumigated nursery soils related to the absence of endomycorrhizae. *Phytopath.* 62:1447-1453. 1972.
37. LOZANO, A. EnCurso ecología de los microorganismos del suelo. Bogotá, Colombia, Universidad Nacional, Facultad de Ciencias, 1979. (Notas).
38. MEYER, F.H. Distribution of ectomycorrhiza in native and man-made forest. p. 79. In: Ectomycorrhizae: Their ecology and physiology, G.C. Marks and T.T. Kozlowski (eds). Academic Press Inc. , New York, 1973. 444p.
39. MIKOLA, P. Application of mycorrhizal symbiosis in forestry practice. p. 383. In: Ectomycorrhizae: Their ecology and physiology, G.C. Marks and T.T. Kozlowski (eds). Academic Press Inc. , New York, 1973. 444p.
40. MILLABANK, J.W. Lower plant association in R.W.F. Hardy and W.S. Silver (eds). A treatise on Dinitrogen Fixation section III. Biology, Wiley and Sons, New York, 1977. p.125-151.
41. MOSSE, B. Advances in the study of vesicular - arbuscular mycorrhiza. *A. Rev. Phytopatol.* II:171-196. 1973.
42. MURDOCH, C.L. and GERDEMAN, J. Utilization of Phosphorus sources of different availability by mycorrhizal and Non - Mycorrhizal maize. *Plant and soil* XXXII(3). 1967.

43. NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE. Tropical legumes; Resources for the future. Washington, D. C., National Academy of Science, 1979. 331p.
44. NUTMAN, P.S. Symbiotic nitrogen fixation. In: Bartholomew, W.E. y Clark, E.F. (eds) Soil Nitrogen. Am. Soc. of Agron., 1965. 615p. (Agronomy Series No. 10).
45. OROZCO, F. Alteration des mineraux dans la rhizosphere de maïs, a Nancy - Francia. Universidad Nancy I, 1978. (Tesis D.E.A.).
46. PETERS, A. Blue - Green Alga and Algal Associations. Bioscience 28(9):580-585. 1978.
47. RODRIGUEZ, B.R. The occurrence of nitrogen - fixing root nodules on non - leguminous plants. Bot. J. Linn. Soc. 62:77-84. 1968.
48. _____ and BOND, G. A discussion of the results of cross - inoculations trails between Alnus gutinosa and Myrica gale. p. 561-566. In: P.S. Nutman, ed. Symbiotic nitrogen fixation in plants. Cambridge University Press, Cambridge, England, 1976.
49. ROMERO, V.M. Los organismos del suelo. Cap. VII. In: Programa de Suelos I, Fac. de Agronomía, Bogotá. s.f. (Mimeografiado).
50. ROSS, J.P. and HAEPER, J.A. Effects of Endogome mycorrhiza on soybean yields. Phytopathology 60:1552-1556. 1970.
51. SANTAMARIA DE, A. et al. Solubilización de roca fosfórica mediante bacterias de azufre. Bogotá, VII Congreso de Ing. Química, 1979. (Mimeografiado).

52. SILVESTER, W. B. Endophyte adaptation in gunera - nostoc symbiosis. In: P.S. Mutman, (ed). Symbiotic nitrogen fixation in plants. Cambridge, University Press, New York, 1975.
53. TINKER, B. P. Soil chemistry of phosphorus and Mycorrhizal effects on plant growth. In: Endomycorrhizas. F.E. Sanders et al (eds) Academic Press. New York, 1975. 625p.
54. TORREY, J. G. Nitrogen fixation by Actinomycete - nodulated angiosperms, *Bioscience* 28 (9): 586-592. 1978.
55. TROLDENIER, G. Effects of mineral nutrition of plants and soil oxigen on Rhizosphere organism. p. 235-240. In: Soil Borne plants patogens eds. B. Schippers and W. Gams. Academic Press, New York, 1979. 686p.
56. VICENT, P. GUSSCHICK. Energy and nitrogen fixation *Bioscience* 28 (9): 571-575. 1978. (Salida especial).
57. WANTANABE et al. Biological nitrogen fixation in paddy field studied by in situ acetylene reduction assays IRRI research. Manila, Philippines, The International Rice Research Institute, 1977. (Paper Series No. 3).
58. WILCOX, H. E. Growth and development of pinus resinosa with selected mycorrhizal fungi. 1978.
59. ZAK, B. Role of mycorrhizae in root disease. *Ann. Rev. Phytoph* I: 377-391. 1964.

ASPECTOS SOBRE ACIDEZ Y ENCALAMIENTO

Luis Fernando Sánchez S. **

1. INTRODUCCION

En Colombia, aproximadamente el 80% de los suelos tienen características ácidas, predominando los suelos de las regiones tropicales húmedas, los cuales generalmente tienen un pH menor de 5,0 y comprenden el 59% del área total del país, y los derivados de cenizas volcánicas en las Cordilleras Andinas (8). En estos suelos, las principales limitaciones para el crecimiento normal de las plantas y la producción de cosechas están relacionadas con los efectos nocivos de la acidez del suelo y la baja aprovechabilidad del fósforo.

Algunos cultivos son tolerantes a la acidez del suelo y ellos son los más apropiados para establecer en suelos ácidos, si la acidez no es corregida por el encalamiento. Sin embargo, muchos cultivos son susceptibles, pero al mismo tiempo tienen una gran importancia económica. En este caso, la corrección de la acidez es una práctica imprescindible para obtener rendimientos adecuados.

El encalamiento es solamente parte de un buen manejo de los suelos ácidos, que no reemplaza otras prácticas del manejo del suelo y del

* Contribución del Programa Nacional de Suelos, División de Agronomía del ICA.

** Ingeniero Agrónomo, M.S. Programa de Suelos, Estación Experimental La Libertad, Apartado Aéreo 2011, Villavicencio.

cultivo, pero es la base de ellas. Por ello, el propósito de este artículo es discutir las implicaciones de la acidez del suelo sobre el crecimiento de las plantas, y el efecto del encalado sobre algunas propiedades químicas del suelo y el rendimiento de algunos cultivos.

2. QUE ES UN SUELO ACIDO

La escala usada para medir la reacción del suelo es el pH. La reacción es alcalina cuando el valor del pH está por encima de 7,0 y ácida por debajo de este valor. En términos prácticos, los suelos cuyo pH está entre 6,5 y 7,5 son considerados neutros. Los suelos con pH comprendido entre 5,6 y 6,0 ordinariamente no contienen cantidades tóxicas de aluminio (Al) y manganeso (Mn), pero el pH bajo puede restringir la fijación de nitrógeno (N) por las leguminosas (9).

Los valores de pH menores de 5,5 de los suelos ácidos colombianos predominan en la Orinoquía, Amazonía, Sabana de Bogotá, Cordilleras Andinas y Costa del Pacífico (8). En estos valores bajos de pH se reduce el crecimiento de muchos cultivos, pero numerosas investigaciones han comprobado que esa reducción no se debe al efecto directo de los iones hidrógeno, sino a la ocurrencia de cantidades tóxicas de Al intercambiable y también de Mn, los cuales predominan, principalmente, cuando el pH del suelo es menor de 5,0 (11).

3. CAUSAS DEL MAL DESARROLLO DE LAS PLANTAS EN SUELOS ACIDOS

De acuerdo con el concepto de diferentes investigadores, el pobre crecimiento de las plantas en suelos ácidos se puede resumir en los siguientes puntos (4, 6, 11, 12, 15, 29).

- .1. Toxicidad por exceso de Al
- .2. Toxicidad por exceso de Mn
- .3. Deficiencia de calcio y magnesio por contenidos muy bajos en el suelo.
- .4. Deficiencia de fósforo, debido a baja concentración en el suelo
- .5. Deficiencia de molibdeno, causada por disponibilidad baja
- .6. Alta capacidad de fijación de fertilizantes fosfatados.

3.1. TOXICIDAD DE ALUMINIO

A través de numerosas investigaciones realizadas en las décadas del 60 y 70, se ha demostrado que el Al es el principal componente de la acidez intercambiable del suelo y como tal, es uno de los factores principales que contribuye al mal desarrollo de las plantas en suelos ácidos (3, 11, 12).

La toxicidad es particularmente severa a un pH por debajo de 5,0 pero puede ocurrir a valores de pH tan altos como 5,5. Para un cultivo dado, el pH crítico al cual el Al se vuelve soluble o intercambiable en concentraciones tóxicas, depende de muchos factores del suelo, incluyendo la predominación de arcillas minerales, el contenido de materia

orgánica y las concentraciones de otros cationes, aniones y sales totales. Así mismo, la toxicidad de Al también es muy seria en subsuelos fuertemente ácidos que son difíciles de encalar, debido a que causa una zona radicular poco profunda para las plantas, lo cual disminuye la tolerancia a la sequía, y poco uso de nutrimentos del subsuelo (21).

De acuerdo con el concepto de diferentes investigadores, la toxicidad de Al en las plantas se puede resumir en los siguientes puntos:

- .1. El síntoma primario de toxicidad de Al en especies susceptibles es la inhibición del desarrollo radicular, lo cual se ha asociado con una disminución en la absorción y utilización del P (14, 16).
- .2. Los exámenes anatómicos de raíces de plantas afectadas por toxicidad de Al revelaron materiales extraños en el meristemo apical, punta de la raíz y región cortical. Las raíces tolerantes emergieron como pequeñas protuberancias y su desarrollo fue anormal (14).
- .3. Mediante micrografías electrónicas, se determinó que en las raíces de las plantas afectadas se formaba un precipitado Al-PO_4 , indicando una disminución en la utilización del P (14, 17).
- .4. Con la utilización de microanálisis de Rayos X, examinando secciones transversales de raíces afectadas, se encontró que el Al y P se coprecipitan en las células de la cofia de la raíz y que el Al era el elemento más abundante en el núcleo, citoplasma y paredes celulares (19).
- .5. Muchos investigadores concuerdan que el Al, directa o indirectamente, trastorna el mecanismo asociado con la división celular, aparentemente debido a la interacción con el P (14, 17).

- .6. La toxicidad de Al también se ha asociado con una disminución en la absorción de P, Ca, Mg, K, Fe y B (4, 18).
- .7. Particularmente, el Al también afecta la absorción y translocación del Ca por las plantas (10).
- .8. El Al también afecta la permeabilidad de las células de las raíces, principalmente el plasmalema (4).

3.1.1. Síntomas de Toxicidad de Aluminio.

Los síntomas de toxicidad de Al no son fáciles de identificar. En algunas plantas, los síntomas son semejantes a deficiencias de P, ya que se observa inhibición del crecimiento, presentándose hojas pequeñas y de color verde oscuro; en otros casos, los tallos, hojas y nervaduras presentan un color púrpura; el amarillamiento y muerte de las puntas de las hojas también es común (arroz). El daño causado por Al también puede aparecer como una deficiencia de Ca inducida o como un problema de translocación del Ca; en este caso, las hojas jóvenes se enrollan anormalmente y hay colapso de las puntas de crecimiento (3).

Las raíces dañadas por Al tienen una apariencia característicamente gruesa; las puntas de la raíz principal y de las laterales se tornan espesas o gruesas y se vuelven oscuras. El sistema radicular tiene muchas raíces laterales engrosadas que carecen de ramificaciones finas. La elongación de las raíces de plantas susceptibles también se afecta notoriamente. Por consiguiente, tales raíces son menos eficientes en la absorción de nutrimentos (11, 14, 19, 26).

3.1.2. Tolerancia Diferencial de Plantas a Excesos de Aluminio.

Las especies y variedades de plantas difieren ampliamente en la tolerancia al exceso de Al en el medio de crecimiento. En esta forma, las especies se han clasificado como tolerantes y susceptibles. Las especies clasificadas como tolerantes incluyen la azalea, arándano, trigo sarraceno, caupí, mango, marañón, palma africana y los pastos braquiaria, gordura, negro e imperial. Dentro de las especies susceptibles se pueden mencionar la alfalfa, tomate, lechuga, remolacha, cebada, algodón, sorgo y pasto elefante.

Por otra parte, la clasificación de especies por tolerancia a Al depende de las variedades seleccionadas. La tolerancia diferencial entre especies ha sido encontrada entre variedades de cebada, trigo, arroz, alfalfa, soya, raigras, frijol y girasol (5, 6, 7).

Los mecanismos por los cuales las plantas presentan tolerancia diferencial al Al han sido explicados por los siguientes factores (5, 6, 7, 15, 18):

- .1. Resistencia diferencial de las raíces a daños morfológicos
- .2. Habilidad de algunos cultivares para continuar la elongación radicular a altas concentraciones de Al y la iniciación de nuevas raíces cuando el Al es removido.
- .3. Habilidad diferencial de las plantas para elevar el pH de su zona radicular y por tanto cambiando la solubilidad del Al en el medio de crecimiento.
- .4. Absorción, transporte y acumulación de Al en raíces y partes aéreas asociados con tolerancia diferencial.

- .5. Preferencia en la absorción de iones de menor valencia, excluyendo los de mayor valencia.
- .6. Absorción de Ca, Mg, K y P, y uso de ellos, asociándolo con sensibilidad a Al en un amplio rango de plantas.
- .7. Las plantas sensitivas contienen mayor concentración de Al en las raíces que las plantas tolerantes, debido probablemente a que tienen mayor capacidad de intercambio de cationes en sus raíces y acumulan mayor cantidad de Al.
- .8. Muchas evidencias indican que la tolerancia de algunas plantas está asociada con la habilidad para absorber y metabolizar P de niveles bajos en el medio de crecimiento.
- .9. La tolerancia diferencial al Al en trigo y cebada también ha sido asociada con factores genéticos. Se ha sugerido que la tolerancia fue controlada por un gen dominante simple (13).
- .10. En trigo, también se ha reportado tolerancia al Al en relación con la procedencia del material (7).

3.2. ESTADO DEL ALUMINIO EN ALGUNOS SUELOS COLOMBIANOS

Para dar una idea del estado del Al en algunos suelos colombianos, se presentan datos obtenidos para las regiones naturales del país. En esta forma, la Tabla 1 muestra el promedio de pH, Al y materia orgánica para cada uno de ellos (1).

Los datos mostraron que, para las regiones naturales de las Cordilleras Andinas, Sabana de Bogotá y Orinoquía, al disminuir el pH el

TABLA 1. Promedio de pH, Al y materia orgánica en varias regiones naturales de Colombia (1).

Región Natural	Número de muestras	% Materia orgánica	pH	Al meq/100 g
Cordilleras Andinas	493	17,15	5,10	2,54
		4,61	5,19	2,55
Sabana de Bogotá	81	21,25	5,26	1,63
		5,53	5,22	1,60
Valle del Alto Magdalena	36	2,91	5,25	1,43
Valle del Cauca	23	4,72	5,24	1,26
Costa del Pacífico	7	3,46	5,32	2,23
Costa del Atlántico	15	2,44	5,47	0,49
Valle del Bajo Magdalena	11	2,14	5,40	1,57
Orinoquía	162	2,89	4,97	2,65
Amazonía	5	6,30	4,90	2,48

contenido de Al intercambiable era mayor, dando una relación inversa altamente significativa entre estas dos variables. En cambio, la relación entre materia orgánica y Al fue menos importante. La Tabla 1 también muestra que los problemas de Al son menores para las regiones naturales de la Costa Atlántica, Valle del Cauca, Valle del Alto Magdalena y Valle del Bajo Magdalena.

3.3. TOXICIDAD DE MANGANESO

La toxicidad de Mn también se ha considerado como una causa del mal desarrollo de las plantas en los suelos ácidos. Ocurre en suelos de pH 5,5 o menor, cuyos materiales parentales son suficientemente altos en Mn total (11). La toxicidad de Mn también se puede presentar a niveles de pH superiores, en suelos pobremente drenados o en suelos inundados, donde las condiciones de reducción favorecen la producción de Mn divalente, que es la forma como es absorbido por las plantas (22). La toxicidad de Mn es menos frecuente que la de Al. Si se presenta, la forma más fácil y económica de reducirla es mediante el encalamiento (11).

4. EL ENCALAMIENTO DE LOS SUELOS ACIDOS

4.1. CONCEPTO ANTIGUO

En los años anteriores a la década del 60, las recomendaciones de cal se basaban en la cantidad de cal requerida para elevar el pH del suelo a un valor dado, que generalmente estaba cercano a la neutralidad, considerando que a ese pH se conseguía un mejor crecimiento de las plantas, debido al aumento de la disponibilidad del P, Mo, Ca y Mg, y de la actividad de los microorganismos.

Teniendo en cuenta ese criterio, las cantidades de cal resultaban muy elevadas, especialmente para los suelos orgánicos. Así por ejemplo, se encontró que un suelo orgánico de Antioquia necesitó 20 t/Ha de CaCO_3 para elevar el pH de 4,7 a 6,0, y 40 t/Ha para alcanzar un valor de 6,5, después de 90 días de encalado (2). Estas cantidades resultaban antieconómicas, no sólo por su valor en sí, sino por el costo de transporte y aplicación.

4.2. EL ALUMINIO INTERCAMBIABLE COMO CRITERIO DE ENCALAMIENTO.

El Al es el principal componente de la acidez intercambiable que afecta el desarrollo de las plantas. En suelos minerales ácidos, existe muy poco hidrógeno intercambiable y solamente en suelos ácidos con un alto contenido de materia orgánica se encuentra algo de H intercambiable (11, 12).

Habiendo identificado el Al como uno de los factores fundamentales responsables del pobre crecimiento de las plantas en suelos ácidos, a finales de la década del 60 se desarrolló el criterio mediante el cual el propósito del encalamiento debía tener como base la neutralización del Al intercambiable, del Mn y suministrar Ca y Mg como nutrimentos. La neutralización del Al intercambiable también trae como consecuencia una disminución en la fijación de P. Las pruebas de incubación de diferentes suelos con contenidos variables de Al y materia orgánica, condujeron al hallazgo de tres factores de encalamiento que se pueden resumir de la siguiente manera (11, 12):

.1. Para cultivos muy susceptibles a toxicidad de Al

Cal requerida en t/Ha = $2,0 \times \text{Al}$ (meq/100 g)

.2. Para cultivos menos susceptibles a toxicidad de Al

Cal requerida en t/Ha = $1,5 \times \text{Al}$ (meq/100 g)

.3. Para suelos orgánicos con alto contenido de Al

Cal requerida en t/Ha = $3,0 \times \text{Al}$ (meq/100 g)

La cal aplicada bajo estos criterios neutraliza entre 86 y 95% del Al intercambiable, quedando una cantidad pequeña que no afecta el crecimiento de los cultivos. Es más conveniente el empleo de calizas

dolomíticas, porque con ellas se suministra Ca y Mg, y se mantiene una relación adecuada entre estos elementos.

4.3. MATERIALES DE ENCALAMIENTO

En la Tabla 2 se incluyen los principales materiales usados en la agricultura para corregir los suelos ácidos. Los porcentajes de Ca se indican para dar una idea de la concentración del elemento en el material respectivo, pero puede variar de acuerdo con el origen del material. Las Escorias Thomas se incluyen por su contenido de Ca y debe tenerse en cuenta que no actúan como un correctivo inmediato, y que su uso es principalmente como fuente de P, puesto que desde este punto de vista, es la fuente más económica en Colombia para los suelos ácidos. Las rocas fosfóricas también tienen alto porcentaje de Ca y como fuentes de P son menos eficientes a corto plazo que las Escorias Thomas.

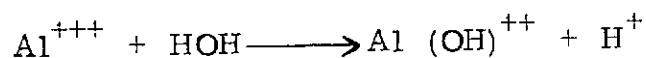
TABLA 2. Principales materiales usados como correctivos y compuestos con alto porcentaje de Ca.

Material	Fórmula	% Ca
Cal calcítica	CaCO_3	31
Cal viva	CaO	60
Cal hidratada	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	46
Cal dolomítica*	$\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$	21
Escorias de alto horno	CaSiO_3	29
Roca fosfórica	$3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaF}_2$	33
Escorias Thomas	Compleja	29

* También contiene 8 - 11% de Mg.

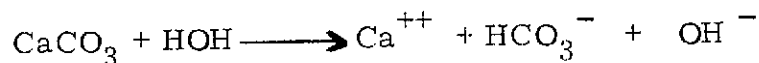
4.4. COMO REACCIONA UNA CAL EN EL SUELO

Cuando se reemplaza el Al intercambiable de un suelo ácido, éste se hidroliza en solución para formar hidróxido de Al e H^+ , como se indica en la siguiente reacción (11):



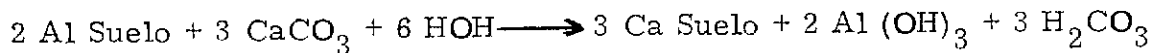
A medida que el pH de la solución se aumenta, la hidrólisis del Al continúa hasta la formación de $Al(OH)_3$.

La aplicación de cal a un suelo húmedo (por ejemplo $CaCO_3$) produce la siguiente reacción:



Al añadir cal a un suelo ácido, el H^+ resultante de la hidrólisis del Al y que causa la acidez del suelo, reacciona con el OH^- que se origina de la hidrólisis de la cal para formar agua y así neutralizar la acidez producida por el Al. El Ca ocupa las posiciones de intercambio dejadas por el Al hidrolizado.

La reacción completa que ocurre cuando se neutraliza un suelo ácido puede ser de la siguiente manera:



4.5. EFECTO DE LOS CORRECTIVOS SOBRE LAS PROPIEDADES QUIMICAS DEL SUELO.

El encalamiento es el primer paso en el manejo de los suelos ácidos con alto contenido de Al intercambiable. Así pues, la adición de cal no

modifica todas las propiedades del suelo, tal como se ha reportado en numerosos trabajos realizados sobre este aspecto (23,27,29). Para ello, se ha recurrido al análisis de suelos, antes y después del enca-lamiento en diferentes zonas del país. En este trabajo, solamente se incluyen datos obtenidos y reportados en suelos ácidos minerales de los Llanos Orientales y en suelos orgánicos de Antioquia (23,27,29).

4.5.1. Efecto sobre el pH y Aluminio Intercambiable.

La aplicación de dosis crecientes de correctivos tuvo el mismo efecto general en el suelo de La Libertad y en el de La Selva, al elevar progresivamente el pH y disminuir el Al intercambiable, tal como se muestra en las Tablas 3 y 4, respectivamente. El aumento del pH fue más notorio en el suelo de La Libertad que en el de La Selva, lo cual se explicó porque este último tiene una mayor capacidad amortiguadora debido a su mayor contenido de materia orgánica y su origen volcánico (27). Para disminuir el contenido de Al intercambiable a cantidades bajas que posiblemente ya no sean tóxicas para las plantas (0,8 meq/100 g), se necesitaron 1,58 y 2,96 t/Ha de los correctivos en los suelos de La Libertad y La Selva, respectivamente (Tablas 3 y 4). Estos valores se ajustan a las recomendaciones de cal en base al Al intercambiable y el contenido de materia orgánica (11,12).

4.5.2. Efecto Sobre los Cationes Intercambiables, Capacidad de Intercambio y Fósforo del Suelo.

Las Tablas 5 y 6, muestran que las aplicaciones crecientes de los correctivos aumentaron progresivamente los contenidos de Ca y Mg en los dos suelos y no tuvieron ningún efecto sobre el potasio del suelo. El uso de las enmiendas en el suelo de La Libertad afectó muy poco la capacidad de intercambio de cationes (CIC). Esto se explicó debido a

TABLA 3. Efecto de los carbonatos de calcio y magnesio sobre el pH y Al intercambiable en un suelo mineral de La Libertad (27).

Cal t/Ha	pH	Al ⁺⁺⁺ (meq/100 g)	Neutraliza- ción de Al (%)	Al ⁺⁺⁺ neutrali- zado por t de cal (meq/100 g)
0	4,40	3,30	-	-
1	4,55	2,47	25,2	0,83
2	4,90	1,80	45,5	0,75
4	5,30	0,77	76,7	0,63
8	5,80	0,20	94,0	0,38
16	6,90	0,05	98,5	0,20

TABLA 4. Efecto de los carbonatos de calcio y magnesio sobre el pH y Al intercambiable en un suelo orgánico de La Selva (27).

Cal t/Ha	pH	Al ⁺⁺⁺ (meq/100 g)	Neutraliza- ción de Al (%)	Al ⁺⁺⁺ neutrali- zado por t de cal (meq/100 g)
0	4,90	3,5	-	-
1	5,15	3,2	8,57	0,30
2	5,20	2,9	17,14	0,30
4	5,30	2,5	28,57	0,25
8	5,40	0,8	77,14	0,33
16	5,60	0,3	91,42	0,20

TABLA 5. Efecto de los carbonatos de Ca y Mg sobre los cationes intercambiables, CIC y Fósforo en el suelo mineral de La Libertad (27).

Cal t/Ha	Miliequivalentes/100 g de suelo				P (ppm - B II)
	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	CIC	
0	0,80	0,37	0,09	11,0	4,40
1	0,85	0,37	0,09	11,0	4,40
2	0,92	0,48	0,09	12,0	4,50
4	2,40	1,50	0,09	13,0	4,38
8	2,80	2,75	0,09	13,0	3,30
16	4,80	4,17	0,09	12,6	3,20

TABLA 6. Efecto de los carbonatos de Ca y Mg sobre los cationes intercambiables, CIC y fósforo en el suelo orgánico de La Selva (27).

Cal t/Ha	Miliequivalentes/100 g de suelo				P (ppm) Bray II
	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	CIC	
0	0,40	0,38	0,18	56,0	4,80
1	0,40	0,38	0,18	56,4	4,80
2	2,20	1,36	0,18	58,4	4,90
4	2,32	1,86	0,18	59,0	4,80
8	4,00	3,46	0,18	60,8	4,20
16	5,20	4,94	0,18	61,2	3,80

que esta propiedad en esos suelos parece ser poco dependiente del pH por su bajo contenido de materia orgánica y la escasa o ninguna influencia de cenizas volcánicas en los Llanos Orientales. En el suelo de La Selva, se observó un mayor aumento de la CIC, lo cual se atribuyó a su dependencia del pH, por su alto contenido de materia orgánica y la presencia de alofana en estos suelos (27). Los correctivos poco influyeron sobre la disponibilidad del P del suelo, y en cambio, como se observa en las Tablas 5 y 6, cuando se hizo un encalamiento excesivo, la cantidad de P extraído en la solución de Bray II fue menor.

Los datos reportados en las Tablas 3, 4, 5 y 6 permiten confirmar que, los efectos inmediatos de los correctivos en los suelos ácidos consisten en neutralizar el Al intercambiable, aumentar el pH, suministrar Ca y Mg como nutrimentos (Mg si la cal lo contiene) y un efecto a más largo plazo sobre las demás propiedades del suelo, tales como la de favorecer la descomposición de la materia orgánica y mejorar algunas propiedades físicas del suelo (29).

4.6. ENCALAMIENTO EN BASE AL CULTIVO

El encalamiento de los suelos ácidos debe tener como base fundamental el cultivo que se desea establecer, ya que tal como se demostró en secciones anteriores, no todas las especies tienen la misma susceptibilidad a excesos de Al interminable.

Se ha reportado que cuando el algodónero es cultivado en suelos ácidos, éstos deben tener 10% o menos de saturación de Al en la capa arable para obtener plantas cuyo desarrollo pueda ser rentable (12, 20).

En un experimento de campo con soya en un suelo de pH 4,9 y un contenido de Al de 1,04 meq/100 g se demostró que los rendimientos

disminuyeron cuando la saturación de Al era del 40% o mayor; el encalamiento, por encima de un pH de 5,4 no aumentó los rendimientos. En un suelo orgánico (18% de materia orgánica), el rendimiento de la soya no se aumentó elevando el pH por encima de 4,9 (2).

Para el cultivo de alfalfa, el encalamiento por encima del necesario para neutralizar el 85% de Al intercambiable no aumentó la producción de forraje (11).

El crecimiento del maíz fue grandemente afectado cuando la saturación de Al de la capacidad de intercambio efectiva era mayor del 55%.

Los datos experimentales mencionados someramente, muestran otro concepto de encalamiento respecto al cultivo y su tolerancia a determinado porcentaje de saturación de Al. Desde este punto de vista, los resultados obtenidos en el país son escasos y hasta ahora se están haciendo algunos trabajos para determinar el máximo porcentaje de saturación de Al que puedan tolerar diferentes cultivos para alcanzar el 90% de su rendimiento.

4.7. RESPUESTA DE ALGUNOS CULTIVOS AL ENCALAMIENTO

La literatura sobre este aspecto es muy extensa en el país y en las diferentes revistas y tesis de grado se encuentran datos sobre encalamiento de diferentes cultivos. Para dar una idea de la forma como responden algunos cultivos con diferente grado de tolerancia al Al intercambiable, en este trabajo se incluyen datos para un cultivo muy susceptible, uno medianamente susceptible y otro tolerante.

4.7.1. Respuesta del Algodonero.

En un suelo de terraza alta del Pie de Monte Llanero, con un pH de 4,5 y un contenido de Al de 3,0 meq/100 g, se estudió la respuesta de seis variedades de algodón al encalamiento, utilizando una fertilización constante de N, P, K, Mg y Zn. Se tomó el rendimiento de algodón-semilla. En la Tabla 7 se muestra el rendimiento de las seis variedades para las distintas dosis de cal aplicadas. Nótese que cuando no se aplicó cal, el rendimiento fue solamente de 242 kg/Ha de algodón-semilla, el cual fue aumentando paulatinamente hasta llegar a 1.298 kg/Ha con la dosis de 6,0 t/Ha de cal, que fue la dosis máxima empleada, confirmando la susceptibilidad de este cultivo a los excesos de Al intercambiable. Ninguna de las variedades probadas mostró tolerancia, ya que todas produjeron sus mayores rendimientos con la dosis más alta de cal.

TABLA 7. Efecto del encalamiento sobre el rendimiento del algodone-ro en un suelo de terraza alta (promedio de seis variedades)*.

Cal (t/Ha)	Algodón-Semilla (kg/Ha)	Rendimiento relativo
0	242	100
2	651	269
4	886	336
6	1.298	536

* Datos sin publicar tomados del Archivo del Programa de Suelos, Es-tación Experimental La Libertad, Villavicencio.

4.7.2. Efecto del Encalamiento Sobre el Rendimiento del Maní.

Investigaciones realizadas en un suelo de terraza alta de los Llanos Orientales, el cual presentaba un pH de 4,4 y un contenido de Al de 3,5 meq/100 g de suelo, con el fin de estudiar la respuesta del maní al encalamiento, indicaron que esta práctica fue fundamental para alcanzar los mejores rendimientos, pero las dosis no fueron tan elevadas como en el caso del algodón. En la Tabla 8 se presenta el efecto de la cal sobre los componentes del rendimiento y la producción de maní en cáscara (28).

TABLA 8. Efecto de la cal sobre el número de cápsulas por planta y el rendimiento del maní en terraza alta (28).

Cal* (kg/Ha)	No. de cápsulas por planta			Cápsulas vacías %	Maní en cáscara (kg/Ha)**
	Llenas	Vacías	Total**		
0	12	11	23 a	47,1	790 a
1000	16	5	21 a	23,8	1.649 b
2000	22	2	24 a	8,3	1.927 bc
3000	22	2	24 a	8,3	2.066 c

* Fertilización constante: NPK = 40-150-60 kg/Ha, respectivamente.

** Tratamientos con letra en común no son significativamente diferentes al nivel del 5%.

La Tabla 8 muestra que la aplicación de 2.000 kg/Ha de cal agrícola redujo el vaneamiento de cápsulas de 47,1% (con cero cal) a 8,3% y como consecuencia se elevaron significativamente los rendimientos

de maní en cáscara de 790 a 1.927 kg/Ha. El efecto benéfico de la cal se atribuyó al suministro de Ca como nutrimento e indicando que el maní puede crecer y producir con dosis medias de cal (28).

4.7.3. El Encalamiento en el Cultivo del Cauquí.

En los mismos suelos usados para las investigaciones de maní, se estudió el efecto del encalamiento sobre la producción de grano de 24 variedades de cauquí. En la Figura 1 se presenta el rendimiento promedio de los 24 cultivares con cada una de las dosis de cal utilizadas (30). Se puede observar que cuando no se aplicó cal, el rendimiento promedio estuvo cerca a los 1.200 kg/Ha de grano, el cual se aumentó ligeramente con las dosis de 0,5 y 2,0 t/Ha de cal, siendo la dosis de 6,0 t/Ha excesiva para todas las variedades. Los resultados se explicaron porque el cauquí ha sido reportado como un cultivo tolerante al Al intercambiable, y por tanto, con dosis bajas de cal, se pueden obtener rendimientos satisfactorios.

4.7.4. Encalamiento de Suelos Volcánicos de Antioquia y Caldas.

Numerosas investigaciones realizadas y reportadas en suelos volcánicos con alto contenido de materia orgánica de Antioquia y Caldas con diferentes cultivos indicaron lo siguiente (23, 24, 25):

En suelos negros volcánicos con un contenido de 3,5 meq/100 g de Al intercambiable, fue necesario aplicar más de 9,0 t/Ha de CaCO_3 para neutralizarlo. Esto ocurrió a un pH de 5,6.

Para cultivos de lechuga y alfalfa, las mejores dosis de CaCO_3 estuvieron comprendidas entre 6,0 y 8,0 t/Ha, y las de MgCO_3 por encima de 3,36 t/Ha. La lechuga no se desarrolló sin aplicaciones de cal.

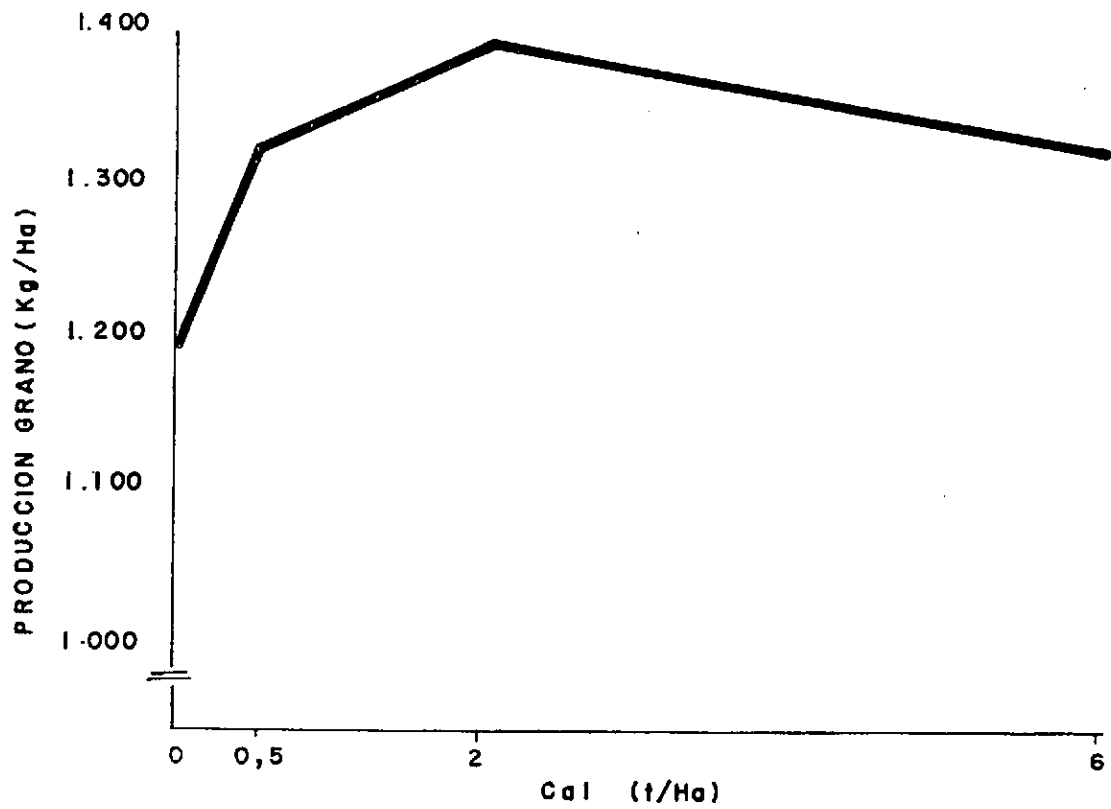


FIGURA 1. RESPUESTA DEL CAUPI AL ENCALAMIENTO EN UN OXISOL DEL PIEDEMONTTE LLANERO (PROMEDIO DE 24 CULTIVARES).

En suelos volcánicos de los climas fríos de Sonsón, Tesorito, Urrao y La Selva, la alverja produjo sus mayores rendimientos (máximo físico) con dosis de cal dolomítica comprendidas entre 1,21 y 4,89 t/Ha. La dosis promedio podrá ser de 3,0 t/Ha de cal dolomítica.

En los mismos suelos anteriores, cuyo pH osciló entre 4,6 y 5,7 y el Al entre 0 y 2,1 meq/100 g, los óptimos económicos para el fríjol se encontraron con aplicaciones de cal dolomítica comprendidas entre 0 y 1,89 t/Ha. En estos suelos, el P fue el elemento que más aumentó los rendimientos.

5. CONCLUSIONES

De acuerdo con los conceptos emitidos por los diferentes autores que se consultaron para la elaboración del presente trabajo, se puede concluir lo siguiente:

1. El 80% de los suelos colombianos son ácidos y los valores de pH inferiores a 5,5 predominan en la Orinoquía, Amazonía, Sabana de Bogotá, Cordilleras Andinas y Costa del Pacífico.
2. Los factores que limitan el crecimiento de la planta en suelos ácidos son la toxicidad de Al y/o Mn, las deficiencias de Ca, Mg, P y Mo.
3. La toxicidad de Al es particularmente severa en suelos cuyo pH es inferior a 5,0, lo cual, también depende del cultivo y la concentración de otros cationes, aniones y sales totales.

4. El exceso de Al en la planta afecta el metabolismo del P, debido a que se coprecipitan en las raíces y, además, disminuye la absorción de Ca, Mg, K, Fe y B, lo cual se atribuye a que el Al disminuye la permeabilidad de las células de las raíces.
5. Los síntomas de toxicidad de Al son difíciles de identificar, debido a que en algunas plantas son semejantes a deficiencias de P y en otras puede aparecer como una deficiencia de Ca. El síntoma primario de toxicidad de Al es la inhibición del crecimiento radicular.
6. Las especies y variedades de plantas difieren en su tolerancia al Al en el medio de crecimiento y, por ello, se han clasificado como tolerantes y susceptibles, lo que se ha explicado por la ocurrencia de diversos mecanismos dentro de la planta y alrededor de su medio de crecimiento.
7. En el manejo de los suelos ácidos y desde el punto de vista del encalamamiento, esta práctica se debe basar en el cultivo a establecer, dependiendo de su tolerancia o susceptibilidad al Al intercambiable.
8. El encalamamiento es solamente un paso en el manejo de los suelos ácidos, ya que la adición de correctivos trae como consecuencia la neutralización del Al intercambiable, disminución de la fijación de P, aumento de las concentraciones de Ca y Mg, y poco o ningún efecto sobre otras propiedades químicas del suelo.
9. Experimentos sobre encalamamiento con especies de diferente grado de susceptibilidad al exceso de Al confirmaron su mayor o menor requerimiento de cal para obtener rendimientos satisfactorios.

6. RESUMEN

El presente trabajo se elaboró con el objeto de presentar en forma concisa cierta información sobre acidez y enclamiento, teniendo en cuenta que aproximadamente el 80% de los suelos del país tienen características ácidas, predominando estas condiciones en la Orinoquía, Amazonía, Sabana de Bogotá, Cordilleras Andinas y Costa del Pacífico. En estos suelos, los principales factores que limitan el crecimiento de las plantas son la toxicidad de Al y/o Mn, las deficiencias de P, Ca, Mg y Mo y su alta capacidad de fijación de fosfatos.

Diversos autores concuerdan en que la toxicidad de Al es más severa en suelos cuyo pH es inferior a 5,0. El exceso de Al en plantas susceptibles afecta el metabolismo del P, debido a que estos dos elementos se coprecipitan en la cofia de la raíz; además, inhibe el desarrollo radicular, disminuye la permeabilidad de las membranas y afecta la absorción de Ca, Mg, K, Fe y B. Se ha encontrado tolerancia diferencial al Al intercambiable entre especies y variedades de plantas y por ello, la corrección de los suelos ácidos se debe basar en los requerimientos de cal que en particular necesita cada cultivo.

El enclamiento es solamente un paso en el manejo de los suelos ácidos con exceso de Al intercambiable, ya que el propósito de la aplicación de cal es neutralizar este elemento y, además, suministrar Ca y Mg como nutrimento y disminuir la fijación de fosfatos.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. CERVANTES, O.; LEON, A.; MARIN, G. Relaciones entre pH, aluminio y materia orgánica en algunos suelos de Colombia. Revista ICA (Col.) 5(1):43-64. 1970.
2. CORREA, J. Requerimientos de cal de los suelos orgánicos de "La Selva", Rionegro (Antioquia). Agricultura Tropical (Colombia) 15(1):27-32. 1959.
3. FOY, C.D. Effects of aluminum on plant root. In: E.W. Carson (ed.), The plant root and its environment. Univ. Station Charlottesville, Va., 1974. p.601-642.
4. _____; BROWN, J.C. Toxic factors in acid soils; I. Characterization of aluminum toxicity in cotton. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 27:403-407. 1963.
5. _____; CERLOFF, G.G.; GABELMAN, W.H. Differential effects of aluminum on the vegetative growth of tomato cultivars in acid soil and nutrient solution. J.Amer. Soc. Hort. Sci. 98:427-432, 1973.
6. _____; ORELLANA, R.G.; SCHARTZ, J.W.; FLEMING, A.L. Response of sunflower genotypes to aluminum in acid soil and nutrient solution. Agron. J. 66:293-296. 1974.
7. _____; LAFEVER, H.N.; SCHARTZ, J.W.; FLEMING, A.L. Aluminum tolerance of wheat cultivars related to region of origin. Agron. J. 66:751-758. 1974.

8. GUERRERO, M.R. Suelos de Colombia y su relación con la 7a. aproximación. *Agricultura Tropical (Colombia)* v.21 no.1, p.49-59. 1965.
9. HOYT, P.B.; BORG, M.N.; PENNEY, D.C. Farming acid soils in Alberta and Nertheastern Brittish Columbia. Canada Department of Agriculture, Ottawa, 1974. 14p. Publication 1521.
10. JOHNSON, R.E.; JACKSON, W.A. Calcium uptake and transport by wheat seedlings as affected by aluminum. *Soil Sc. Soc. Amer. Proc.* 28:381-386. 1964.
11. KAMPRATH, E.J. Soil acidity and response to liming. North Carolina State University. *Agric. Exp. Stn.* 20p. Tech Bull. No. 4.
12. _____. Exchangeable aluminum as a criterion for liming leached mineral soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 34(2):252-254. 1970.
13. KERRIDGE, P.C.; KRONSTAD, W.E. Evidence of genetic resistance to aluminum toxicity in wheat. *Agron. J.* 60:710-711. 1968.
14. KESER, M.; NEUBAUER, B.F.; HUTCHINSON, F.E. Influence of aluminum ions on developmental morphology of sugarbeet roots. *Agron. J.* 67:84-88. 1975.
15. _____; NEUBAUER, B.F.; HUTCHINSON, F.E.; VERRILL, D.B. Differential aluminum tolerance of sugarbeet cultivars, as evidenced by anatomical structure. *Agron. J.* 69:347-350. 1977.

16. McCORMICK, L.H.; BORDEN, F. Phosphate fixation by aluminum in plant roots. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 36:799-802. 1972.
17. _____; BORDEN, F. The occurrence of aluminum phosphate precipitate in plant roots. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 38: 931-934. 1974.
18. MUGWIRA, L.M.; ELGANHARY, S.M.; PATEL, K.I. Differential tolerances of triticale, wheat, Rye, and Barley to aluminum in nutrient solution. *Agron. J.* 68:782-786. 1976.
19. NAIDOO, G.; STEWART, J.M.; LEWIS, R.J. Accumulation sites of Al in snapbean and cotton roots. *Agron. J.* 70:489-492. 1978.
20. OWEN, E.J.; SUAREZ, J.G.; SANCHEZ, L.F. Efecto del aluminio en el desarrollo del algodónero (Gossypium hirsutum L.) en el departamento del Meta. *Revista ICA (Col.)* 13(2): 229-237. 1978.
21. PEARSON, R.W. Problemas de acidez en el subsuelo. *Suelos Ecuatoriales (Col.)* 3(1):294-309.
22. PONNAMPERUMA, F. Behavior of minor elements in paddy soils. *IRRI Research.* 1977. 15p. Paper Series No. 8.
23. RODRIGUEZ, J.M. Encalamiento en suelos volcánicos de la penillanura central de Antioquia. *Revista ICA (Colombia)* 9(1): 61-76. 1974.

24. RODRIGUEZ, J.M. Fertilización y encalado de alverja (Pisum sativum L.) en suelos volcánicos de Antioquia y Caldas. Revista ICA (Col.) 11(1):1-22. 1976.
25. _____. Fertilización y encalado de fríjol (Phaseolus vulgaris L.) en suelos volcánicos de Antioquia y Caldas. Revista ICA (Col.) 11(1):23-44. 1976.
26. SARTAIN, J.B.; KAMPRATH, E.J. Effect of soil Al saturation on nutrient concentration of soybean tops, roots, and nodules. Agron. J. 69:843-845. 1977.
27. SANCHEZ, L.F. Influencia de enmiendas sobre la fijación de fósforo en tres suelos ácidos colombianos. Bogotá, Universidad Nacional, 1974. 115p. (Tesis M.S.).
28. _____; OWEN, E.J. Influencia de la fertilización con N, P, K y cal sobre el rendimiento del maní (Arachis hypogaea L.) cultivado en suelos de terraza alta de los Llanos Orientales. Revista ICA (Col.) 13(3):465-471. 1978.
29. _____. Efecto de la aplicación de enmiendas sobre algunas propiedades químicas de un suelo de Sabana de los Llanos Orientales. Arroz (Colombia) 28(298):20-30. 1979.
30. _____. Comportamiento del caupí (Vigna unguiculata) en el Pie de Monte Llanero. ICA, División de Agronomía, Programa Nacional de Suelos, Estación Experimental La Libertad, 1980. 20p. (Boletín de Divulgación en impresión).

DISPONIBILIDAD EN EL SUELO DE MICRONUTRIMENTOS ESENCIALES PARA LA PLANTA

Rodrigo Lora Silva* . . .

1. INTRODUCCION

Actualmente se conoce la existencia de 16 elementos esenciales para las plantas. A siete de estos elementos se les denomina elementos menores, oligoelementos, elementos trazas o micronutrientes, principalmente debido a la pequeña cantidad tomada y utilizada por la planta. Ellos son: Hierro (Fe), manganeso (Mn), cobre (Cu), zinc (Z), boro (B), molibdeno (Mo) y cloro (Cl).

En general, los elementos esenciales para los animales son casi los mismos que necesita la planta. Excepciones son el Co-I-Se y Na. Sin embargo, debido a que generalmente, las plantas son fuentes de micronutrientes para los animales, es conveniente que los Nutricionistas y Fisiólogos animales, consideren este aspecto dentro de la relación planta animal.

2. FUENTES DE ELEMENTOS MENORES EN EL SUELO

2.1. ELEMENTOS MENORES EN LAS ROCAS IGNEAS

La última fuente de elementos menores son las rocas ígneas que constituyen la mayor parte de la corteza exterior de la tierra.

* Ingeniero Químico, M. S. Programa de Suelos, ICA. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias Tibaitatá, Apartado Aéreo 151123, Bogotá.

En la Tabla 1 aparece la composición media de la corteza terrestre en lo que se refiere a elementos menores. Sin embargo, estas cifras no dicen nada de la variabilidad de los elementos menores en diferentes minerales y rocas. La Tabla 2 muestra cualitativamente los distintos elementos menores que están presentes en cada uno de los minerales; será posible predecir cuáles serán las rocas ricas o pobres en un micro-elemento particular.

TABLA 1. Abundancias relativas de elementos menores en la corteza terrestre (Según R.L. Mitchell).

Elemento	ppm
Fe	50000
Mn	1000
Cl	480
V	150
Ni	100
Zn	80
Cu	70
Co	40
B	10
As	5
Mo	2,3
Se	0,09

TABLA 2. Ocurrencia de los elementos en diversos minerales y su velocidad relativa de intemperización (Según R.L. Mitchell).

Estabilidad	Mineral	Constituyente
Fácilmente Intemperizables.	Olivina	Fe-Mn-Zn-Cu-Mo-Ni-Co
	Granate	Fe-Mn
	Augita	Fe-Mn-Zn-Cu-Ni-Co-V
	Hom-blenda	Fe-Mn-Zn-Cu-Ni-Co-V
	Biotita	Fe-Mn-Zn-Cu-Ni-Co-V
	Apatita	F
	Anordita	Cu-Mn
	Andesina	Cu-Mn
	Oligoclasa	Cu
	Albita	Cu
Difícilmente Intemperizable.	Ottoclasa	Cu
	Tetanita	V
	Ilmenita	Fe-Co-Ni-V
	Magnetita	Fe-Zn-Co-Ni-V
	Turmalina	Fe-B
	Zircon	-
Cuarzo	-	

La razón de la presencia de ciertos elementos menores en determinados minerales se explica por los principios de la sustitución isomórfica, es decir, un ión puede ser sustituido por otro en un cristal cuando ambos iones son de tamaño similar. La Tabla 3 muestra el tamaño de algunos iones importantes (36).

TABLA 3. Radio iónico de varios iones importantes en minerales (Según R. L. Mitchell).

Elemento	Radio ^o (Å)	Elemento	Radio ^o (Å)
B ⁺⁺⁺	0,20	Mg ⁺⁺	0,78
P ⁺⁺⁺⁺⁺	0,35	Ni ⁺⁺	0,78
Si ⁺⁺⁺⁺	0,39	Co ⁺⁺	0,82
Al ⁺⁺⁺	0,57	Cu ⁺⁺	0,83
Ti ⁺⁺⁺⁺	0,64	Fe ⁺⁺	0,83
Cr ⁺⁺⁺	0,64	Zn ⁺⁺	0,83
V ⁺⁺⁺	0,65	Mn ⁺⁺	0,91
Fe ⁺⁺⁺	0,67	Cu ⁺	0,96
Mo ⁺⁺⁺⁺	0,68	Na ⁺⁺	0,98
Li ⁺	0,78	Ca ⁺⁺	1,06
		K ⁺	1,33

En la Tabla 3 se puede ver por qué los minerales que contienen Fe^{++} y Mg^{++} (radios 0,83 Å y 0,78 Å) contienen Zn^{++} (0,83 Å), Cu^{++} (0,83), Co^{++} (0,82) y Ni (0,78 Å). La similitud de los radios del Fe^{+++} (0,67) y el V^{+++} (0,65) podría explicar la presencia del vanadio en minerales que contienen Fe^{+++} . La presencia del Cu^+ ($r = 0,96$) en los feldespatos alcalinos, posiblemente se debe a la sustitución por Cu^+ (0,96) del Na^+ (0,96) o el K^+ (1,33).

En términos generales, se puede decir que el Fe y Mn son menos abundantes en rocas ácidas que en las básicas; el Mo es más abundante en rocas ácidas que en las básicas; el Mo es más abundante en las rocas ultrabásicas ricas en calcio y en mediana abundancia en las rocas muy ácidas. El contenido de Zn, Ni, Co y V disminuye al aumentar la acidez de la roca. Por su parte, el Cu existe en cantidades casi uniformes en todas las rocas ígneas por su presencia en las rocas ferromagnesianas y en los feldespatos, aunque puede ser relativamente escaso en ciertas rocas muy ácidas. El B, en general, es más abundante en las rocas básicas a causa de su mayor contenido de turmalina (36).

2.2. ELEMENTOS MENORES EN ROCAS SEDIMENTARIAS

Un cuadro muy general del contenido de elementos menores en estas rocas aparece en la Tabla 4. Su discusión es difícil a causa de las diversas fuentes de muchos de los sedimentos.

Generalmente, los suelos derivados de areniscas, especialmente en las regiones húmedas, son susceptibles a mostrar deficiencia de elementos menores.

Las pizarras generalmente poseen un contenido satisfactorio de elementos menores. En ciertos casos, algunos suelos derivados de

TABLA 4. Distribución de los elementos menores en las rocas sedimentarias. (Según R. L. Mitchell).

Roca	Minerales dominantes	Elementos menores asociados
Arenisca	Cuarzo	-
Pizarra	Illita, Clorita	Mn, Cu, Zn
	Montmorillonita	Mo, B, Se, Ni
	Caolinita	Co, V, As
Caliza	Calcita, dolomita	Mn
Yacimientos salinos	Halita y otros	B, I,
Agua de mar		B, I, F

pizarras en las regiones subhúmedas a áridas muestran toxicidades de B, Se, As, Mo. La Tabla 5 muestra los ámbitos normales de elementos menores en las pizarras.

Los altos valores de Mo y Se posiblemente pueden atribuirse a la precipitación de estos elementos en forma de sulfuros durante la formación del yacimiento. Los altos contenidos de B son el resultado de la concentración alta de este elemento en el agua de mar, donde se formaron las pizarras (36).

2.3. ELEMENTOS MENORES EN ROCAS METAMORFICAS

Formados por efectos del calor y presión en las rocas pre-existentes, dando como resultado una recristalización parcial unas veces y completa

TABLA 5. Distribución de los elementos menores en las pizarras.
(Según R. L. Mitchell).

Elemento	Concentración (ppm)
Mn	500 - 5000
Cu	20 - 200
Zn	20 - 100
B	20 - 100
Mo*	1 - 5
Co	10 - 50
Se*	1 - 5
V	100 - 250

* A veces llegan a ser tan altos como 200 ppm.

otras. En general, las cuarcitas (areniscas metamorfoseadas) serán pobres en elementos menores fácilmente aprovechables, debido a que la arenisca original contenía muy poco de estos elementos y porque el cuarzo es tan resistente a la intemperización que cualquier elemento menor, que se hubiese incorporado a la roca durante el metamorfismo, será liberado muy lentamente. Las rocas metamórficas básicas casi siempre son ricas en la mayor parte de los elementos menores. Los yacimientos minerales muy ricos en elementos menores son comunes en áreas de metamorfismo intenso.

3. EFECTO DE LAS REACCIONES DE INTEMPERIZACION EN EL APROVECHAMIENTO DE LOS ELEMENTOS MENORES

Los elementos menores que son liberados de los minerales primarios por intemperización, pueden ser:

- .1. Incorporados a los minerales silíceos secundarios
- .2. Pueden co-precipitar juntamente con los hidróxidos de Fe y Al o carbonatos de calcio.
- .3. Pueden ser retenidos por los agentes complejantes orgánicos e insolubles.
- .4. Finalmente, pueden permanecer en solución, generalmente como aniones o complejos solubles, en cuyo caso están sujetos a la acción del lavado.

Las reacciones de Oxido-reducción son de gran importancia en la disponibilidad de micronutrientes, ya que las formas oxidadas son las menos aprovechables y por el contrario las reducidas serán las más utilizadas por la planta pero también las más susceptibles a perderse por lixiviación (20).

4. REACCIONES BIOLÓGICAS

Alexander (1962) citado por Hodson (20), enumera seis formas cómo los micro-organismos afectan el aprovechamiento de los nutrientes. En éstas, las cinco primeras afectan a los elementos menores. Las seis formas son:

- . 1. Liberación de iones inorgánicos durante la descomposición microbiana.
- . 2. Oxidación de un elemento, casi siempre hasta una forma menos aprovechable.
- . 3. Reducción de una forma oxidada cuando la difusión de O_2 es limitada.
- . 4. Cambios en el valor del pH y/o en el potencial de oxidación del sistema; dichos cambios afectan la forma y solubilidad de los elementos.
- . 5. Inmovilización consecuente a la incorporación en las estructuras microbianas.
- . 6. Cambios en la cantidad de un elemento presente (ejemplo: Volatilización del Nitrógeno como N_2).

Es evidente que los microorganismos desempeñan un papel muy importante, que a veces predomina, en lo que concierne a la regulación del aprovechamiento de los elementos menores. Si se tiene en cuenta que las reacciones biológicas son de índole compleja y que dependen de:

- Naturaleza del Microorganismo
- De la temperatura
- Del potencial de oxidación
- De la provisión de carbohidratos fermentables
- Nutrimientos minerales
- Otros factores; no es raro que las investigaciones realizadas con elementos menores parezcan contradictorias y confusas algunas veces.

5. CONCENTRACION Y FORMAS EN QUE SE ENCUENTRAN LOS ELEMENTOS MENORES EN LOS SUELOS

La Tabla 1 muestra el contenido total promedio de los elementos menores en la corteza terrestre. Por su parte, la Figura 1 muestra el contenido promedio en los suelos. Se puede ver que el "Contenido Medio" en los suelos es muy similar al contenido medio en la corteza terrestre (36).

Las reacciones que afectan la concentración de un elemento en solución, condición ligada al aprovechamiento, se ven en la Figura 2 (20).

Por su parte, en la Figura 3 se observa la manera como las fases sólidas inorgánicas interactúan con otros componentes en el suelo. A medida que la planta remueve nutrientes de la solución del suelo (reacción 1), decrece la concentración de este nutriente. Si el nutriente es retenido en el complejo de cambio del suelo, algo del nutriente adsorbido es liberado (reacción 4) para establecer su nivel en la solución. El agotamiento del nutriente en la solución hace que se disuelvan minerales cristalinos y otros precipitados (reacción 6) para reabastecer la solución del suelo y restaurar los sitios de intercambio agotados (reacción 3). En el curso de sus actividades metabólicas, los microorganismos pueden remover nutrientes de la solución (reacción 7). Durante la descomposición de la materia orgánica, se pueden liberar nutrientes a la solución del suelo (reacción 8). Las reacciones 7 y 8 que aparecen en línea discontinua indican que los microorganismos están envueltos en estas reacciones y que la relación de equilibrio puede ser modificada por las relaciones metabólicas de energía de los organismos (29).

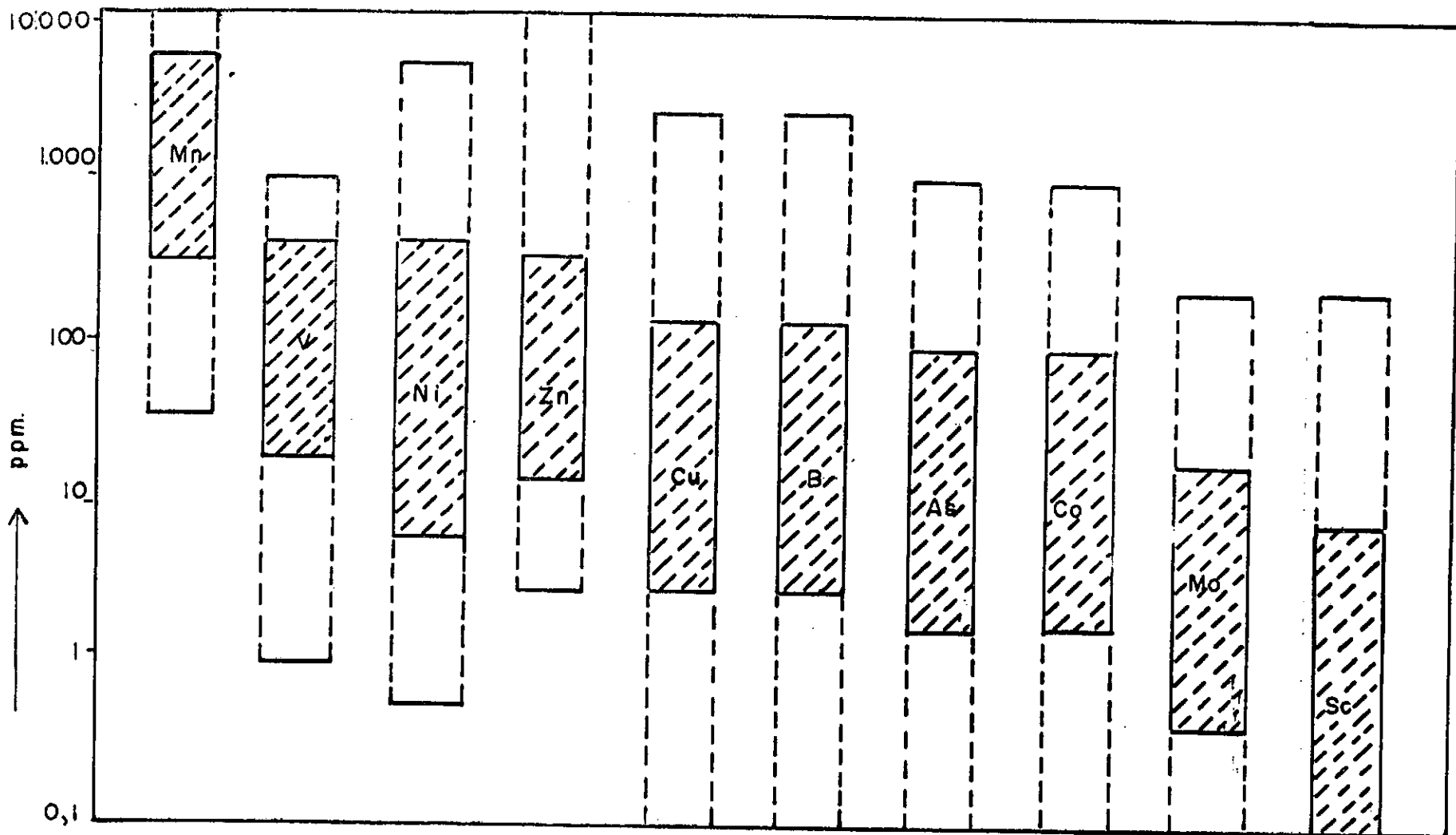


FIGURA 1-ORDENACION DEL CONTENIDO DE ALGUNOS ELEMENTOS MENORES Y ELEMENTOS TRAZAS COMUNES EN LOS SUELOS MINERALES. LOS VALORES DENTRO DE LAS LINEAS DISCONTINUAS INDICAN VALORES POCO COMUNES. SE HAN OMITIDO LOS VALORES EXTREMADAMENTE ALTOS ENCONTRADOS EN AREAS INFLUENCIADAS POR ALGUN YACIMIENTO.

(Según R. L. Mitchell).

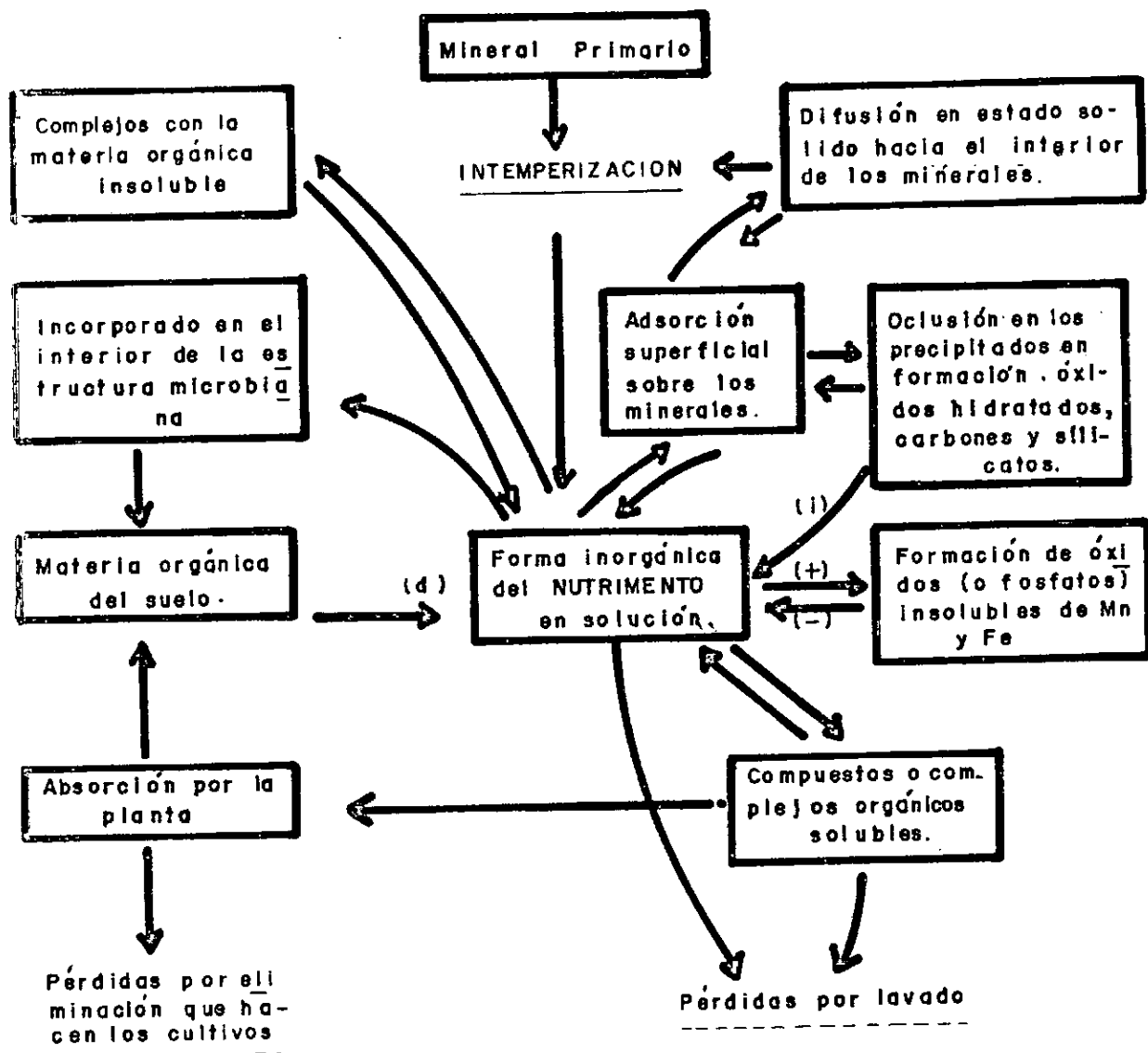


FIGURA 2- Diagrama ilustrativo de las reacciones que regulan la concentración de micronutrientes en solución (+) = oxidación, (-) = reducción; (d) = descomposición; (i) = intemperización.

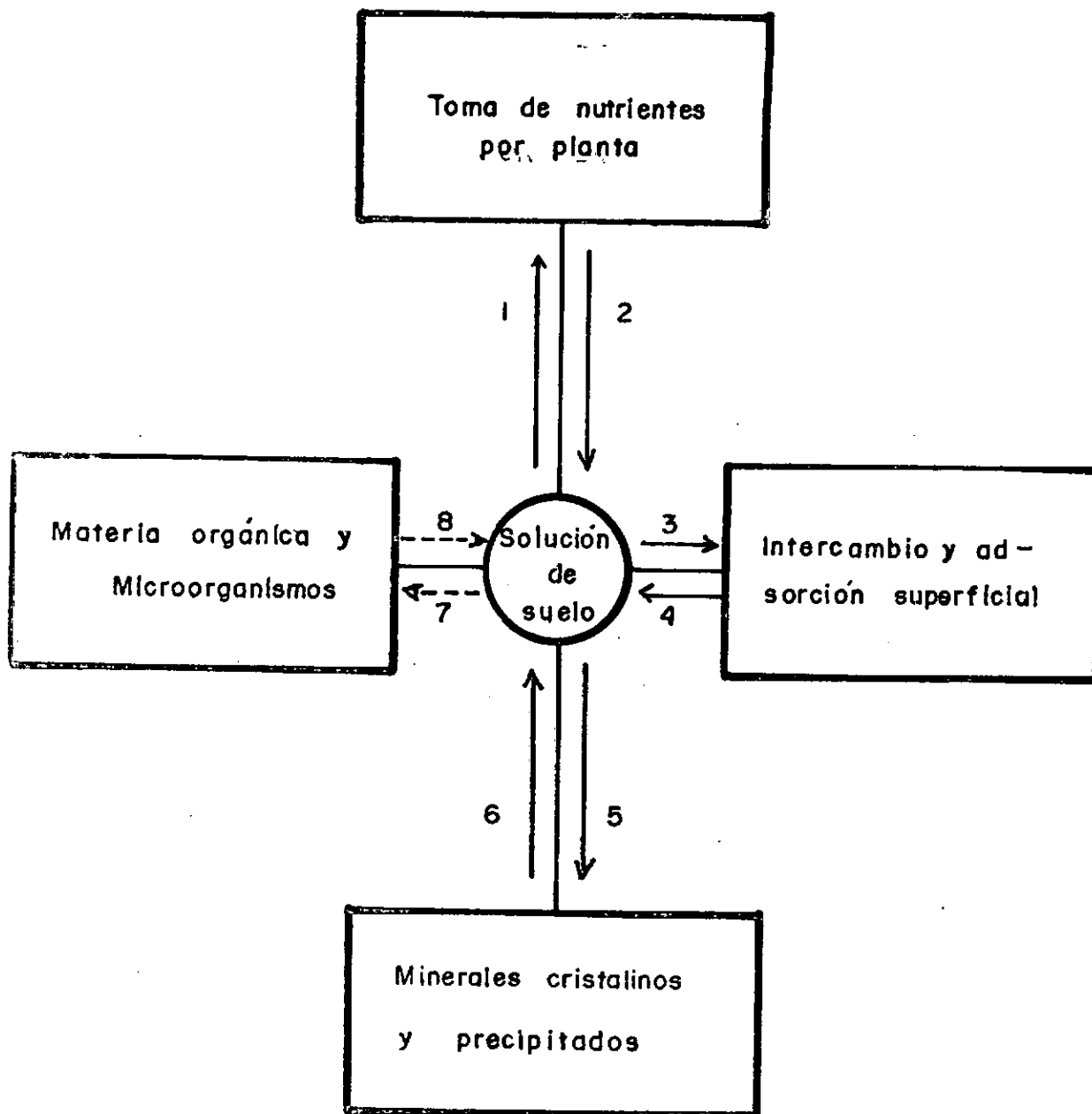


FIGURA 3- REPRESENTACION DIAGRAMATICA DEL EQUILIBRIO DINAMICO EN LOS SUELOS.

6. BORO

A pesar de que la esencialidad de este nutrimento fue mostrada desde 1926 por Sommer y Lipman, no se sabe aún mucho sobre sus funciones en la vida vegetal. La deficiencia se manifiesta por una paralización del desarrollo del tejido meristemático; en muchos cultivos se presenta un cuadro sintomatológico muy semejante al observado cuando hay carencia de calcio. En plantas con deficiencia de boro ocurre una serie de alteraciones fisiológicas y cambios morfológicos que difieren con las especies y las condiciones ambientales. Por su parte, la acumulación de carbohidratos, compuestos de amonio y otros compuestos nitrogenados solubles, en plantas con deficiencia de boro, indica un trastorno de la síntesis de proteínas. Actúa como regulador de la relación K: Ca y en la absorción del nitrógeno y el calcio.

La función más importante es la del transporte de azúcares (carbohidratos) a través de la pared celular. Esta función se explica en parte por la influencia en la producción de los compuestos pécticos de la laminilla media; como el calcio es parte integrante de los pectatos, es posible que faltando boro haya un desarreglo en el metabolismo del primero, de lo que resulta la formación de un sistema conductor defectuoso y éste afectaría la traslocación de azúcares.

El boro es adsorbido en forma de ión borato y no se trasloca fácilmente de un órgano a otro, en lo cual se asemeja al calcio.

Para un desarrollo normal de la planta, debe existir dentro de ella un balance adecuado Ca: B y K-B. Este balance depende de la especie de planta, pero en general, para la relación Ca: B está en el intervalo de 80: 1 - 1.200: 1. Por ejemplo, para tabaco es 1.200: 1, para soya es de 500: 1 (25). Por su parte la relación K: B es de 25: 1 - 250: 1 (5).

En el suelo, el boro total se encuentra en formas inorgánicas y orgánicas (16). Las formas inorgánicas están constituídas por ácido bórico disuelto en la solución del suelo; en forma de boratos solubles; adsorbido sobre la superficie de arcillas, óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio; precipitado en compuestos de baja solubilidad en combinación con hierro, aluminio y calcio; como constituyente de minerales primarios, principalmente turmalina. El boro orgánico se encuentra como ésteres del ácido bórico con compuestos hidroxílicos procedentes de la materia orgánica; en esta forma no es disponible para las plantas y es necesario su mineralización (16).

6.1. DISPONIBILIDAD DE BORO EN EL SUELO

La disponibilidad de boro para la planta está afectada tanto por los factores que favorecen su fijación, como por aquellos relacionados con el clima, material parental, interacciones con otros elementos, materia orgánica y textura del suelo. En términos generales, la relación entre el boro y los factores en cuestión es la siguiente:

6.1.1. pH y Nivel de Cal.

La fijación del boro por hidróxidos de hierro y aluminio como por arcillas, aumenta con el pH, siendo mínima a pH cercano a 5 y máxima entre pH 8 y 9. El encalado disminuye la disponibilidad de boro por fijación sobre los hidróxidos de hierro y aluminio recién precipitado (20).

6.1.2. Arcillas.

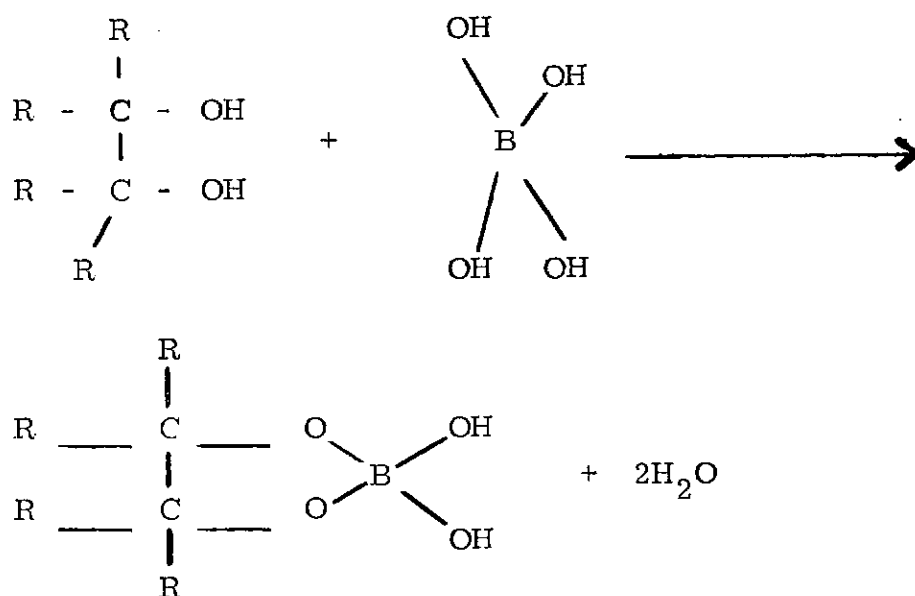
Las arcillas con estructuras micáceas como vermiculita, tienen mayor habilidad para fijar boro, siendo en general: Vermiculita, caolinita, montmorillonita (15).

6.1.3. Hidróxidos de Hierro y Aluminio.

En general, los óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio contribuyen en alto porcentaje a la fijación de boro. Posiblemente esta fijación se deba a intercambio aniónico, adsorción de moléculas de ácido bórico y a enlaces de hidrógeno (49).

6.1.4. Materia Orgánica.

La fijación por humus son reacciones con dihidróxi-compuestos de la materia orgánica. Según Sims y Bingham (49) la ecuación siguiente ilustra dicha reacción.



6.1.5. Interacciones con otros elementos.

En suelos con alto contenido de calcio se presentan generalmente deficiencias de boro, debido a que se aumenta la absorción de calcio y por tanto se aumentan los requerimientos de boro para mantener una relación apropiada entre estos dos nutrientes. Parece que el potasio y el nitrógeno tienen efectos similares al calcio (25).

6.1.6. Clima.

Varios investigadores han encontrado aumento en la retención de boro por el secamiento del suelo. Se cree que el secamiento favorece la sustitución de boro por aluminio en la estructura de aluminio - silicatos. Por otra parte, la falta de agua reduce la mineralización de la materia orgánica y por lo tanto el suministro de boro (5).

6.1.7. Material Parental.

En las regiones húmedas, la turmalina es la única fuente de boro. Este mineral es altamente resistente a la meteorización. Se podría pensar que la disponibilidad del boro en el suelo no dependiera del contenido de turmalina, pero a medida que este mineral se descompone el boro se hace disponible (5).

6.1.8. Textura.

Su efecto es menos importante que el pH o materia orgánica. Los suelos arenosos son generalmente más bajos en boro que los arcillosos, debido a la mayor capacidad de retención del nutrimento de estas últimas (5).

6.2. TOXICIDAD DE BORO

La toxicidad de boro puede llegar a ser un problema más grave que la deficiencia. Podría haber toxicidad en los siguientes casos (19):

- .1. Suelos de regiones áridas o semiáridas que reciben aguas de drenaje provenientes de sedimentos marinos ricos en boro.
- .2. Suelos regados con agua con más de 0,5 ppm de boro
- .3. Suelos altamente fertilizados con boro.

6.3. SITUACION EN COLOMBIA

Se ha encontrado deficiencia de boro en suelos diferentes y bajo condiciones ecológicas variables. Las causas han sido poco estudiadas. En el Valle del Cauca se encontró que la deficiencia estaba asociada con: a) Boro hidrosoluble menor de 0,3 ppm; b) Bajo contenido de boro total (15 ppm); c) Altos contenidos de carbonato de calcio; d) pH superiores a 7,3; e) Bajo contenido de carbón orgánico; f) Alta densidad aparente (mayor de 1,4 g/cc); g) Desarrollo de características vérticas en el perfil; h) Alto contenido de arcillas de relación 2:1; i) Alta proporción de vermiculita en la fracción arcilla; j) Ausencia de turmalina u otro mineral que aporte boro; k) Alta capacidad de fijación de boro (18).

6.4. CORRECCION DE DEFICIENCIA Y TOXICIDAD DE BORO

En general depende del cultivo y del suelo principalmente. Como fuentes de boro están el bórax con 10 - 11% de boro y el solubor con 20% de boro. La corrección de deficiencia, se puede hacer aplicando el fertilizante boratado al suelo o haciendo aspersiones foliares (38).

La toxicidad puede ser corregida lavando el exceso de boro, elevando el pH o aumentando la cantidad de calcio disponible para la planta (38).

7. CLORO

La esencialidad del Cloro fue demostrada por Broyer y colaboradores (14). Posiblemente interviene en el metabolismo del agua. Estimula la fosforilación en la fotosíntesis, pero su papel exacto en este proceso aún no ha sido definido. La deficiencia de este nutrimento se

manifiesta porque las hojas presentan marchitamiento, clorosis y necrosis; en el caso del tomate, una tonalidad bronceada característica. Algunas especies de plantas son sensibles al exceso de cloruros, principalmente manifestando reducción en la calidad de la cosecha; tal es el caso del tomate, papa y tabaco.

En el suelo, el cloro está presente principalmente en forma iónica soluble. La fijación o adsorción de cloruros decrece cuando aumenta el pH (34).

Para corregir deficiencias de cloro, se puede emplear el cloruro de amonio, el cloruro de potasio, el cloruro de calcio, el cloruro de magnesio o en último caso el cloruro de sodio. Por su parte, el exceso de este nutrimento puede ser corregido por lavado después de convertir los cloruros insolubles a solubles.

En Colombia no se ha reportado deficiencia de cloro. Por su parte, exceso de cloruro existe en varias zonas salinas del país.

8. COBRE

En el año de 1927, Bortels demostró su esencialidad para las plantas inferiores; en 1931, Sommer, Lipman y Mackney determinaron su esencialidad para las plantas superiores (42).

El cobre funciona como activador de varias enzimas involucradas en ciertas reacciones biológicas. En las plantas, posiblemente existe en forma cúprica (Cu^{+++}) aunque alternativamente sufre oxidación y reducción cuando actúa como transportador de electrones y parte de ciertas enzimas. La síntesis de clorofila requiere la presencia de cobre. Posiblemente debido a esta función, la intensidad fotosintética en

las hojas de plantas deficientes es baja. Es parte necesaria de la plastocianina, compuesto que interviene en el transporte de electrones. Cataliza la oxidación en el último estado de respiración aeróbica en el cual el hidrógeno es removido de coenzimas reducidas durante el ciclo de Krebs para dar H_2O como uno de los productos finales de respiración (39).

Parte del cobre total del suelo se encuentra en la solución o en forma intercambiable tal como ocurre con otros cationes como K^+ , Ca^{++} y Mg^{++} ; parte se encuentra fijada en forma no disponible para la planta. Se cree que esta fijación es debida a la formación de complejos y quelatos de cobre con lignoproteínas o con otros constituyentes orgánicos en menor grado de formas como los minerales de arcilla. En suelos turbosos, los complejos de cobre posiblemente se forman con los grupos R-SH y R-COOH y con los grupos funcionales de aminas aromáticos secundarios o terciarios. Las bacterias productoras de H_2S en el suelo, pueden en parte ser responsables por fijación del cobre debido a la precipitación de la sal correspondiente (34).

Es estado natural el cobre se presenta como cobre metálico, minerales de cobre, sales neutras insolubles, compuestos solubles en agua, cobre adsorbido por las arcillas y cobre formando compuestos con la materia orgánica, en la mayoría estables.

En relación a la interacción del cobre con otros elementos, se ha encontrado que altos niveles de N y P pueden inducir deficiencia de cobre. Existe un antagonismo mutuo entre cobre y molibdeno; parece que el cobre interfiere con la función del molibdeno en la reducción enzimática de los nitratos. Por su parte, el exceso de zinc puede inducir deficiencia de cobre. En suelos con deficiencia simultánea de Zn y Cu, se necesita cuidadoso control en la rata de aplicación de Zn especialmente en suelos de textura gruesa. Por otra parte, existe interacción negativa cobre x hierro. En algunos cultivos como avena, por

ejemplo, es necesaria la aplicación simultánea de estos dos nutrimentos para aumentar los rendimientos (39).

8.1. FACTORES QUE AFECTAN LA DISPONIBILIDAD DEL COBRE EN EL SUELO (52).

8.1.1. Materia Orgánica.

La retención de cobre aumenta con el contenido de materia orgánica.

8.1.2. pH.

Al aumentar el pH disminuye la disponibilidad de este nutrimento.

8.1.3. Acción Microbiana.

8.1.4. Presencia de otros Iones.

Calcio, fósforo, aluminio, hierro, zinc y molibdeno.

8.2. DEFICIENCIA DE COBRE EN EL SUELO

Los suelos donde podría haber deficiencia de cobre son:

- .1. Suelos orgánicos
- .2. Suelos cuarcíticos
- .3. Suelos calcáreos
- .4. Suelos fuertemente fertilizados con nitrógeno

5. Suelos ácidos naturalmente pobres en cobre que se han encalado excesivamente (42).

Por su parte, la toxicidad se presenta generalmente en suelos de bajo contenido de arcilla y materia orgánica; igualmente, se puede presentar el problema de zonas cultivadas con plantas asperjadas continuamente con fungicidas a base de cobre. Generalmente, la toxicidad se corrige por encalamiento o por adiciones de hierro (42).

La corrección de deficiencias de cobre se puede hacer utilizando varios compuestos, algunos de los cuales aparecen en la Tabla 6.

TABLA 6. Algunos compuestos de cobre usados para aplicación foliar o al suelo.

Fuente	Fórmula	% Cu
Sulfato cúprico pentahidratado	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	25
Sulfato cúprico monohidratado	$\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	35
Azufrita	$2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$	55
Oxido cuproso	Cu_2O	89
Quelatos de cobre	$\text{Na}_2 \text{Cu EDTA}$	13
	NaCu HEDTA	9
Poliflavonoides de cobre		5 - 7

Algunos de los productos anteriores pueden ser aplicados al suelo, tratamiento a la semilla o por vía foliar. Las cantidades dependen del

suelo, del cultivo y del método de aplicación. Es de anotar que se debe tener en cuenta el efecto residual de las aplicaciones de cobre, para evitar acumulación del nutrimento a niveles tóxicos. Este factor depende de la magnitud de la aplicación y del tipo de suelo (38).

8.3. SITUACION EN COLOMBIA

En Colombia ha habido respuesta a la aplicación de cobre en Tolima y Huila, principalmente en algodón, sorgo y ajonjolí (23); en Cundinamarca, en suelos orgánicos, principalmente en avena, pudiéndose observar en este caso respuesta diferente de acuerdo a la variedad (24).

8.4. DETERMINACION DE COBRE DISPONIBLE

Una gran variedad de soluciones extractantes han sido utilizadas para determinar el nivel de cobre disponible en el suelo. Algunas han tenido éxito, pero muchos investigadores están de acuerdo en que aún se necesita más investigación a este respecto, especialmente si se considera, como reune con otros micronutrientes que la respuesta varía con los cultivos tal como se observa en la Tabla 7 (9).

9. HIERRO

La esencialidad del hierro para las plantas fue demostrada en soluciones nutritivas hace más de un siglo después de los trabajos de Gris (41). Aún cuando no forma parte de la molécula de clorofila, este elemento parece catalizar la formación de dicha sustancia. Es metal activo en el sistema de citocromas, en el grupo prostético de enzimas y en la hierro-porfirina, estando por ello implicado en el transporte electrónico de las oxidaciones terminales que tienen lugar en la respiración.

TABLA 7. Respuesta más común a micronutrientos para algunos cultivos (Según R. E. Lucas y B. D. Knezck).

Cultivo	Boro	Cobre	Hierro	Manganeso	Zin	Molibdeno
Alfalfa	Alta	Alta	Media	Media	Baja	Media
Manzana	Alta	Media	Baja	Alta	Alta	Baja
Cebada	Baja	Alta	Alta	Media	Media	Baja
Fríjol	Baja	Baja	Alta	Alta	Alta	Baja
Repollo	Media	Media	Media	Media	-	Media
Coliflor	Alta	Media	Alta	Media	-	Alta
Maíz	Baja	Media	Media	Baja	Alta	Baja
Algodón	Media	Media	Baja	Media	Alta	Baja
Avena	Baja	Alta	Media	Alta	Baja	Media
Tomate	Media	Media	Alta	Media	Media	Media
Soya	Baja	Baja	Alta	Alta	Media	Media
Trigo	Baja	Alta	Baja	Alta	Baja	Baja
Rosas	Alta	Baja	Alta	Alta	Baja	Baja
Papa	Baja	Baja	Baja	Media	Media	Baja
Sorgo	Media	Media	Alta	Alta	Alta	Baja
Arroz	Baja	Baja	Alta	Media	Media	Baja
Naranja	Baja	Alta	Alta	Alta	Alta	Media
Uvas	Media	Baja	Alta	Alta	Baja	Baja

Otras enzimas de óxido-reducción que contienen hierro son las catalasas y las peroxidasas. Dentro de la planta, el hierro es muy poco móvil de modo que la deficiencia se manifiesta siempre en las hojas nuevas. Parece que su movimiento en la planta se produce en forma de quelatos de los ácidos málico y malónico (41).

El hierro es fisiológicamente activo en forma ferrosa (Fe^{++}) y aunque algunas veces es absorbido en forma férrica (Fe^{+++}), mucho de él es rápidamente reducido dentro de la célula. La cantidad de manganeso en las células es uno de los factores que regula la reducción del hierro. La cantidad total de hierro en el suelo es mayor que la de cualquier otro micronutriente. En los suelos, el hierro procede de la descomposición de minerales ferromagnesianos, de las piritas y de los minerales primarios (41).

9.1. DISPONIBILIDAD DE HIERRO

Los principales factores del medio que gobiernan la disponibilidad del hierro para las plantas son (34):

9.1.1. Cantidad Total de Hierro Presente.

En igualdad de condiciones, un suelo con mayor cantidad de hierro total puede aportar más hierro a la planta, que un suelo más pobre en dicho nutriente.

9.1.2. pH del Suelo.

A pH elevado es bastante común la carencia de hierro. Esto se debe probablemente de la conversión del Fe^{++} a Fe^{+++} , oxidación seguida por la precipitación de $\text{Fe}(\text{OH})_3$ de baja disponibilidad para la planta.

9.1.3. Grado de Aireación.

La presencia de oxígeno favorece la conversión del hierro a formas insolubles. En suelos inundados o sobresaturados de agua, se produce solubilización debido a las condiciones reductoras imperantes.

9.1.4. Concentraciones de Mn, Cu y Zn.

Concentraciones elevadas de manganeso, cobre o zinc, pueden inducir deficiencia de hierro. En algunos casos, el exceso de fósforo también puede ocasionar el mismo problema; parece que el anión HCO_3^- interfiere en el metabolismo del hierro.

9.2. INTERACCIONES DEL Fe CON OTROS ELEMENTOS

Es de anotar que el hierro se encuentra involucrado en las siguientes interacciones (39): Hierro x fósforo; zinc x hierro; hierro x manganeso; hierro x molibdeno; cobre x hierro.

El exceso de hierro afecta las reacciones metabólicas de Ca, Zn y Mn y por su parte disminuye la absorción y transporte de N, P, K, Ca y Mg.

La deficiencia de potasio origina muchas veces deficiencia de hierro, debido posiblemente a la función que tiene este macronutriente en la síntesis y transporte de carbohidratos, algunos de los cuales pueden ser los compuestos que complejan el hierro (20).

9.3. FACTORES QUE AFECTAN LA ABSORCIÓN Y UTILIZACIÓN DEL HIERRO POR LAS PLANTAS (20).

El "Factor Capacidad" que renueva la provisión de formas absorbibles solubles, cuando la concentración baja a consecuencia de la absorción por parte de las plantas o por otros medios.

Los factores que afectan la velocidad de movimiento de la forma absorbible hacia la superficie de la raíz, por difusión o por flujo de masa.

Los factores que afectan la velocidad de absorción a través de las membranas radiculares.

Los factores que afectan el transporte de las sustancias hasta las regiones donde van a ser utilizadas.

Los factores que afectan la formación de compuestos dentro de la planta.

9.4. CORRECCION DE DEFICIENCIAS

En suelos calcáreos y en suelos bajos en materia orgánica, generalmente se presentan deficiencias de hierro. Por su parte, en la Tabla 8 se enumeran los ácidos cuyas sales constituyen los quelatos más comúnmente usados como fuentes no solamente de hierro, sino de otros micronutrientes. En la Tabla 9 aparecen algunas fuentes de fertilizantes de hierro (38). A su vez, en la Tabla 10 se observan algunas dosis y métodos de aplicación de fertilizantes de hierro para algunos cultivos (38).

La efectividad de estas fuentes ha sido extremadamente variable debido a las reacciones que ocurren entre el hierro aplicado y los componentes del suelo. Algunos de estos fertilizantes pueden ser aplicados al suelo o por vía foliar. Para suelos calcáreos, por ejemplo, se pueden utilizar aspersiones foliares de sulfato ferroso, o la aplicación al suelo de Fe-APGA. En general, se recomienda que las aplicaciones al suelo se hagan antes o al momento de la siembra, en combinación con fertilizantes nitrogenados para aumentar la eficiencia en la toma de hierro. Algunos investigadores están de acuerdo en que la aplicación de hierro vía foliar parece más recomendable que la aplicación al suelo para corregir deficiencias de hierro (38).

TABLA 8. Algunos de los quelatos comúnmente usados en agricultura. Para cobre, hierro, manganeso y zinc son sales de los siguientes ácidos:

Abreviatura	Nombre del Acido
EDTA	Acido etilendiamino tetra-acético
HEDTA	Acido hidroxy etilendiamino tetra-acético
DTPA	Acido dietilenetriamino penta-acético
EDDHA	Acido etilenediamino di (o-hydroxifenil-acético)
EGTA	Acido etilenglicol-bis (2-amino-etileter-tetra-acético)

TABLA 9. Algunas fuentes de fertilizantes de hierro.

Fuente	Fórmula	% Fe
Sulfato Ferroso	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	19
Sulfato Férrico	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	23
Oxido Ferroso	FeO	77
Oxido Férrico	Fe_2O_3	69
Fosfato Amónico Ferroso	$\text{Fe}(\text{NH}_4)\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	29
Fritas (vidrios) de hierro	Varias	Varias
Quélatos de Hierro	NaFeEDTA	5-14
	NaFeHEDTA	5-9
	NaFeEDDHA	6
	NaFeDTPA	10
	FeAPGA	11
Poliflavonoides de Hierro		9-10
Lignisulfonatos de Hierro		5-8

La Tabla 10 muestra para varios cultivos las dosis recomendadas de hierro (38).

En Colombia se han detectado deficiencias de hierro en la Costa Atlántica y en algunas zonas de suelos calcáreos.

TABLA 10. Dosis recomendadas de hierro para varios cultivos.

Cultivo	Fuente de Fe	Método de aplicación	Nivel
Sorgo de grano	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Foliar	1,25 kg/100 L de agua.
Hortalizas	Quelatos	Foliar	0,5-1,10 kg Fe/Ha
Cítricos	Quelatos	Localizado	12 - 24 g Fe/árbol.
Fríjol	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Foliar	600 g/200 L de agua.
Frutales perennes	Poliflavonoide	Foliar	60-100 g/100 L de agua.

10. MANGANESO

Los trabajos de Bertrand (1897 - 1926) demostraron la esencialidad del manganeso para las plantas (28).

Junto con el hierro interviene en la biosíntesis de la clorofila y desempeña igualmente un papel en la fotosíntesis y respiración; participa en cerca de 30 reacciones enzimáticas; controla el estado de varios sistemas de Oxido-reducción de las plantas; posiblemente actúa en el metabolismo del nitrógeno en la planta, debido a que las plantas deficientes en manganeso son más ricas en nitratos y amino-ácidos. En general, una nutrición adecuada de manganeso influye en una apropiada

distribución del hierro divalente o sea la forma útil y activa. Por su parte, la cantidad total de hierro en las hojas deficientes en manganeso es mayor que en las hojas normales, lo cual explica el hecho de que el manganeso promueve el movimiento del hierro dentro de la planta. El exceso de manganeso puede determinar la aparición de síntomas de deficiencia de hierro (34).

Por ser un elemento poco móvil en la planta, los síntomas de deficiencia aparecen primero en las hojas más jóvenes.

10.1. INTERACCION CON OTROS ELEMENTOS

El exceso de manganeso puede inducir desorden en el metabolismo de molibdeno. La principal interacción es la del manganeso con el hierro. Se ha reportado que el manganeso interviene en el transporte del hierro de la raíz al tallo; la absorción de hierro por las raíces se puede aumentar incrementando la concentración de manganeso en el substrato. Por su parte, parece que el exceso de hierro reduce la toma de manganeso por la planta (39).

10.2. FORMAS DE MANGANESO EN EL SUELO

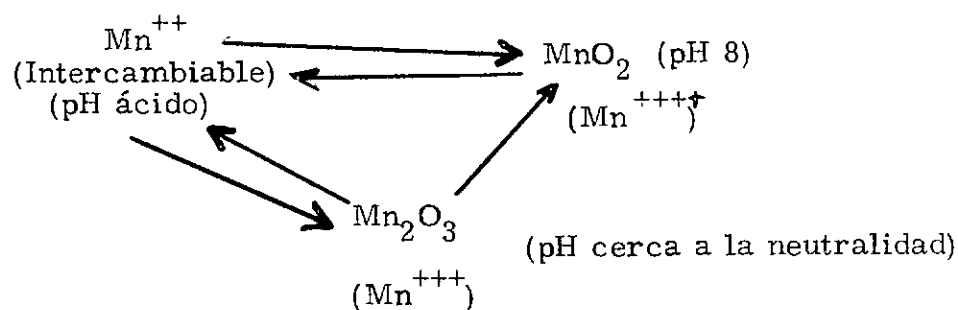
En el suelo, el elemento se deriva principalmente de la descomposición de las rocas ferromagnesianas. Oxidos, silicatos y carbonatos, son fuentes de este nutrimento; algunos son:

Pirocroita	$Mn(OH)_2$	Rodonita	$MnSiO_3$
Manganita	MnO_4	Rodocrosita	$MnCO_3$
Pirolusita	B- MnO_2		

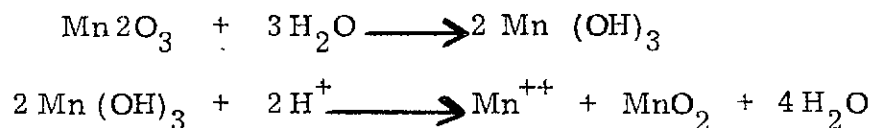
En el suelo, el manganeso existe en tres estados de valencia:

- .1. Divalente, Mn^{++} , el cual está presente como catión adsorbido o en la solución del suelo; ésta es la forma adsorbida por la planta.
- .2. Trivalente, la cual se supone que aparece como óxido altamente reactivo, Mn_2O_3 .
- .3. Tetraivalente, que existe como MnO_2 , muy inerte.

Se cree que estas tres formas existen en equilibrio dinámico, representado así (52):



De acuerdo con este concepto, el Mn^{++} está en equilibrio con las formas tri y tetraivalentes, lo cual se ve favorecido por condiciones de oxidación y por pH elevado. A partir del Mn_2O_3 , posiblemente se origina Mn^{++} y Mn^{++++} de acuerdo a la siguiente ecuación:



10.3. FACTORES QUE AFECTAN LA ABSORCIÓN DE MANGANESO POR LAS PLANTAS.

Los factores principales son:

- .1. Concentración de las formas solubles y susceptibles de absorberse.

- .2. Factores de capacidad que afectan el transporte hasta la superficie de la raíz.
- .3. Los factores que afectan la absorción, transporte y utilización dentro de la planta. En casi todos los suelos pobres en materia orgánica, las formas absorbibles son los iones Mn^{++} cuya concentración de equilibrio está regulada por el pH y el potencial de oxidación. Por tanto, las deficiencias en estos suelos pueden ocurrir a pH alcalino y bajo condiciones de oxidación. Por su parte, las toxicidades ocurrirán a bajos valores de pH y bajo condiciones de reducción total o parcial. El factor microbial es importante debido a la oxidación selectiva del Mn^{++} que realizan ciertos microorganismos (20).

10.4. FACTORES QUE AFECTAN LA DISPONIBILIDAD DE MANGANESO.

Los factores más importantes que afectan la disponibilidad de manganeso para las plantas están relacionados con las propiedades físicas, químicas y biológicas que influyen en la forma Mn^{++} que es la asimilable. Algunos de esos factores son:

10.4.1. Materia Orgánica.

En suelos altos en M. O y pH cercano a la neutralidad, ocurre deficiencia de manganeso, posiblemente debido a la formación de complejos insolubles entre aquella y este micronutriente. A bajos valores de pH y en presencia de elevadas cantidades de materia orgánica, también puede ocurrir deficiencia de manganeso.

10.4.2. pH.

En general, la disponibilidad de manganeso disminuye al aumentar el pH. Tisdale (52), encontró una correlación negativa entre la

cantidad de manganeso divalente extraído con acetato de amonio y el pH del suelo. En la Figura 4 se observa esta tendencia.

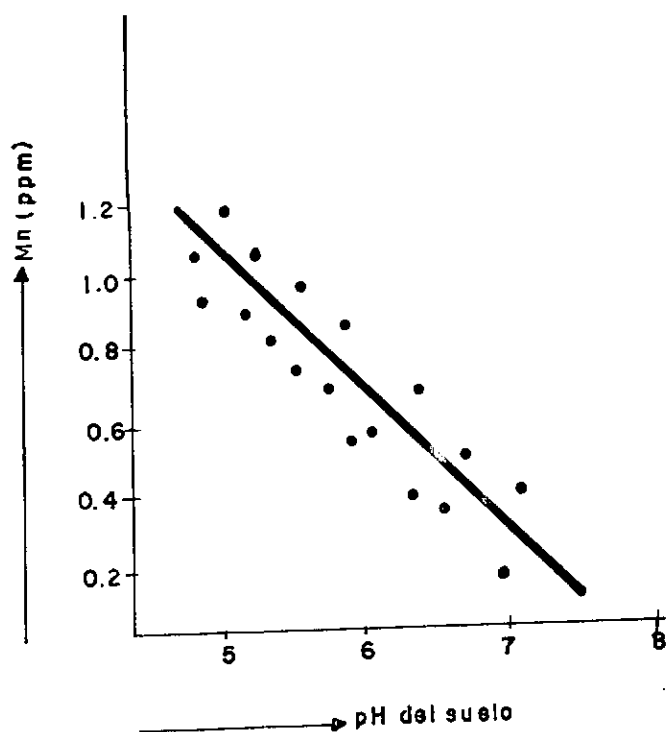


FIGURA 4. Relación entre pH del suelo y manganeso extraído con acetato de amonio (Tisdale, S.L., 1949).

La alcalinidad resultante del encalamiento reduce la solubilidad y disponibilidad del manganeso, debido a la oxidación.

10.4.3. Condiciones de Oxido-Reducción.

Condiciones de reducción (sobre-saturación, compactación, etc.), pueden inducir reducción de las formas mangánicas a manganeso divalente aprovechable, el cual puede acumularse hasta llegar a niveles

tóxicos para la planta. Por su parte, condiciones de oxidación, como ya se dijo, pueden inducir deficiencia en ciertos casos por paso de Mn^{++} a formas más oxidadas de baja disponibilidad para la planta.

10.5. SUELOS CON POSIBLE DEFICIENCIA DE MANGANESO (28)

- .1. Suelos desarrollados sobre material calcáreo
- .2. Suelos aluviales derivados de materias calcáreas
- .3. Suelos arenosos minerales ácidos, bajos en Mn nativo
- .4. Suelos altamente orgánicos calcáreos, pobremente drenados
- .5. Suelos calcáreos.

10.6. CORRECCION DE DEFICIENCIAS

Varias fuentes, orgánicas e inorgánicas y métodos de aplicación, han sido utilizados para la corrección de deficiencias de manganeso; en la Tabla 11 aparecen algunos fertilizantes de manganeso.

Generalmente la aplicación de sulfato de manganeso vía foliar o al suelo ha tenido éxito. Por su parte, los quelatos han tenido buen éxito principalmente vía foliar. Cuando la aplicación es localizada, la cantidad empleada es menor que cuando se aplica al voleo. Por ejemplo, 5, 6 kg/Ha de Mn como $MnSO_4$ en banda fue equivalente a 67 kg/Ha de Mn al voleo para corregir deficiencia en soya. En árboles frutales, la aplicación foliar es una buena técnica; por ejemplo, la aplicación anual de 1, 12 kg/Ha de Mn. En la Tabla 12 se presentan los niveles y fuentes de fertilidad de manganeso aplicados al suelo (38).

TABLA 11. Fertilizantes de manganeso comúnmente empleados.

Fuentes	Fórmulas	% Mn
Sulfato de Manganeso	$MnSO_4 \cdot 3H_2O$	26 - 28
Oxido Manganeso	MnO	41 - 68
Quelato de Manganeso	MnEDTA	12
Poliflavonoides de Manganeso		8 - 10
Oxido de Manganeso	MnO_2	63
Fritas de Manganeso (Vidrio)		10 - 25

TABLA 12. Niveles aplicados al suelo de fertilizantes de Mn para algunos cultivos.

Cultivo	Fuente de Mn	Dosis de Mn (kg/Ha)	Método de aplicación
Soya	$Mn SO_4 \cdot 3H_2O$	67	Voleo
Soya	$Mn SO_4 \cdot 3H_2O$	6	Banda
Cebolla	$Mn SO_4$	11	Banda
Cebolla	$Mn SO_4$	60	Voleo
Cebolla	$Mn SO_4$	4	Foliar
Algodón	$Mn SO_4 \cdot 3H_2O$	2	Banda
Soya	Mn EDTA	0,51 (tres aspersiones de 0,17 c/u)	Foliar

En relación al efecto residual, algunos estudios han mostrado que cuando se aplican altas cantidades de Mn, ocurre respuesta residual.

En general, cuando la fuente es Mn EDTA o fritas de Mn, el efecto es mayor que cuando es $MnSO_4$. Sin embargo, cuando las dosis son medias no se observa efecto residual en rendimiento bajo condiciones de campo (38).

La toxicidad de manganeso puede ser corregida por encalamiento y mejorando las condiciones de oxidación del suelo.

10.7. DETERMINACION DE MANGANESO DISPONIBLE

Para evaluar la disponibilidad de este micronutriente en el suelo, los investigadores han dedicado bastante esfuerzo y trabajo. Entre los extractantes más comúnmente empleados están:

1. Agentes reductores como la hidroquinona
2. Soluciones de fosfato (H_3PO_4 o $NH_4H_2PO_4$)
3. Agentes quelatantes como el ácido EDTA
4. Agua
5. Manganeso extraído y pH del suelo; en este caso, cuando el pH es incluido en la interpretación del método de extracción de Mn, los resultados en algunos casos son satisfactorios. Posiblemente incluyendo otros factores además del pH, se podrá predecir mejor la disponibilidad de Mn para los cultivos (9).

10.8. SITUACION EN COLOMBIA

En 15 series de la Sabana de Bogotá en la capa arable, Benavides (4) concluyó que con excepción de la Serie Zipaquirá, el contenido total

de manganeso está dentro de los límites normales. Por su parte, en la mayoría de las series estudiadas, las formas reducidas están por debajo de los límites reportados por la literatura como normales.

Investigaciones realizadas por el Programa de Suelos del ICA, han mostrado deficiencia de manganeso en las series Bermeo y Tibaitatá, principalmente con respuestas altamente significativas en fríjol y avena forrajera y aumentos hasta de 5 t/Ha en papa (21).

Bajo condiciones de invernadero ha habido respuesta de este nutriente en la serie Tibaitatá y en algunos suelos de Boyacá cuyo pH es igual o mayor de 6 (22).

En el departamento de Nariño, Castro (8) concluye que los contenidos de las distintas fracciones de Mn en los suelos de clima medio son relativamente altos; para suelos de clima frío del altiplano de Pasto, Velasco (53), encontró valores bajos tanto de Mn total como de las formas activas.

En suelos de Santander de Quilichao y Villarrica, departamento del Cauca, Dulcey y Ortega (13) encontraron altos contenidos de Mn total y cambiables y sugieren posibles problemas de toxicidad de este nutriente para los cultivos. Igual problema podría presentarse en suelos de Jamundí, departamento del Valle del Cauca.

Por su parte en la zona cafetera del departamento de Caldas, López (30) reporta valores muy bajos de manganeso intercambiable y al hacer aplicaciones de cal se provocan síntomas visuales de este nutriente en café.

Brugés (7), encontró respuesta a la aplicación de Mn en pasto Manawa bajo condiciones de invernadero en algunas series de suelos de la Estación Experimental Caribía del ICA, localizada en el departamento del Magdalena.

Ortega (40) estudiando la disponibilidad de micronutrientes en algunas series de suelos del Centro Experimental Tibaitatá, municipio de Mosquera, concluyó que los inceptisoles de Tibaitatá, tienen buenas reservas de manganeso y que su disponibilidad depende del manejo del suelo y del cultivo.

11. MOLIBDENO

En el año de 1939, Arnan y Scout demostraron la esencialidad de este nutriente para las plantas superiores (1). Ayuda a la fijación del Nitrógeno del aire por las bacterias nitrificantes en simbiosis con las leguminosas; es un fuerte activador de la enzima nitrato reductasa, la cual es esencial en la asimilación de nitratos, puesto que cataliza la primera etapa de la reducción NO_3^- a NH_4^+ . Igualmente, parece que está implicado en el metabolismo del fósforo y del ácido ascórbico (11, 34). Valores de 0,1 a 0,5 ppm expresados en base seca y para la parte aérea de la planta son los de mayor ocurrencia (34).

De los siete micronutrientes esenciales para la planta, es el menos abundante en la corteza terrestre (1,5 ppm). En las rocas ígneas, el contenido promedio del molibdeno es de 1 a 2 ppm, presente principalmente en los feldespatos (27). En las rocas sedimentarias, es mucho más abundante, llegando en algunos casos de pizarras fosforitas ricas en materia orgánica a valores superiores a las 300 ppm (44).

Los minerales más comunes que contienen molibdeno son (26):

Molibdenita	MoS_2
Ilsemanita	$\text{Mo}_3\text{O}_8 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
Wulgenita	Pb MoO_4

Powelita	CaMoO_4
Ferrimolibdita	$\text{Fe}_2(\text{MoO}_4)_3$

El más importante y más abundante de los minerales es la molibdenita en el cual el molibdeno actúa con valencia + 4.

11.1. CONTENIDO Y FORMAS EN EL SUELO

En el suelo, el contenido de molibdeno es de 0,2 a 10 ppm (27). Desde el punto de vista químico, se encuentra en el suelo en las siguientes formas (1):

- .1. Molibdeno soluble en agua bajo la forma de molibdatos
- .2. Molibdeno soluble en hidróxido de amonio, como trióxido de molibdeno.
- .3. Fijación oxidable integrada por los óxidos reducidos de molibdeno.

En relación a localización, el molibdeno en el suelo se encuentra en (12):

- .1. En forma aprovechable
- .2. Retenido como ión molibdato por las arcillas minerales; la aprovechabilidad de este molibdeno depende del pH y posiblemente del estado de los fosfatos.
- .3. En la materia orgánica
- .4. Soluble en agua, el cual es aprovechable pero generalmente muy escaso.

La mayoría del molibdeno aprovechable del suelo se encuentra acumulado en la parte superior del mismo. Excepto para suelos arenosos, el molibdeno adicionado en forma soluble es rápidamente convertido a formas menos solubles (50).

11.2. DEFICIENCIA Y EXCESO

Cuando el molibdeno aprovechable se encuentra más bajo de 0,1 ppm, en general las plantas muestran deficiencia. De acuerdo con la ecuación: $pH(10 \times Mo \text{ total en ppm})$, se puede caracterizar el suplemento del molibdeno en los suelos. Valores menores de 6,3 a 8,2 indican pobre suministro de este nutrimento (11). Por su parte, suelos con más de 100 ppm de molibdeno total se consideran inutilizables por toxicidad (11). Pastos con más de 5 ppm pueden ser tóxicos e inducir el problema denominado molibdenosis (11).

En general se puede esperar deficiencia de molibdeno (12):

- .1. En suelos con cantidades adecuadas de molibdeno total, pero con pH inferior a 6,0, en los cuales el elemento es adsorbido por minerales y coloides.
- .2. En suelos muy meteorizados
- .3. En suelos con alto contenido de alofana
- .4. En suelos con bajo contenido de molibdeno total con pH's neutros y alcalinos cultivados intensamente por varios años.

Particularizando sobre el tipo de suelos en que se puede presentar la deficiencia, se tiene (33):

- .1. Suelos arenosos lavados

- .2. Regasoles ácidos (inceptisoles)
- .3. Podzoles ácidos (spodozoles)
- .4. Suelos orgánicos ácidos (histosoles)

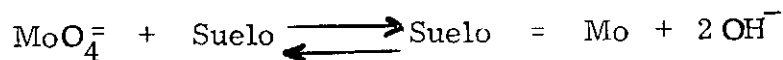
La toxicidad generalmente se presenta en suelos alcalinos orgánicos, en suelos derivados de lluvias volcánicas recientes y en suelos esqueléticos de colina derivados de arcillolita o areniscas (11). En Colombia, posiblemente las zonas seleníferas tienen exceso de molibdeno, ya que los contenidos de este elemento en maíz, trigo, avena y arveja es una zona selenífera como es Villa de Leiva son los más altos entre 50 especies recolectados en todo el mundo (43). Por otra parte, en las pizarras existe alto contenido de selenio y molibdeno, presentándose toxicidad de estos elementos tal como ocurre en los suelos de la formación Villeta (36).

11.3. FACTORES QUE AFECTAN LA APROVECHABILIDAD DE MOLIBDENO.

Los principales factores son los siguientes:

11.3.1. Reacción.

La reacción del suelo es uno de los factores considerados como primordiales en la aprovechabilidad de este nutrimento (12). La disponibilidad aumenta con el pH, debido a que la liberación del molibdeno es el resultado de un intercambio aniónico entre los iones molibdato e hidróxido, según la siguiente reacción (48):



11.3.2. Adsorción y Retención.

El anión molibdato es adsorbido por las partículas coloides cargadas positivamente. El hidróxido de hierro puede adsorberlo posiblemente debido a intercambio con iones OH^- . Los óxidos de hierro adsorben molibdeno con mayor fuerza que los óxidos de aluminio, la caolinita y la nontronita (26).

11.3.3. Otros.

En suelos pantanosos o turbosos, la deficiencia de molibdeno está relacionada con la retención del molibdeno por los ácidos húmicos insolubles derivados de turba. Por otra parte, las condiciones de sequía aumentan la deficiencia de este nutrimento (11).

11.4. INTERACCION DEL MOLIBDENO CON OTROS ELEMENTOS

Las principales interacciones del molibdeno con otros elementos son las siguientes:

11.4.1. Molibdeno - Fósforo.

Se ha encontrado mayor absorción de molibdeno por la planta por la adición de fósforo (39).

11.4.2. Molibdeno - Azufre.

En presencia de azufre se reduce la absorción de molibdeno por las plantas, debido a que los iones MoO_4^- y SO_4^- compiten durante la etapa de absorción por parte de las raíces (39).

11.4.3. Molibdeno - Hierro.

Por concentraciones altas de molibdeno en presencia de bajos niveles de hierro se presenta clorosis y disminución en el rendimiento, debido posiblemente a interferencias en el metabolismo del hierro (39).

11.4.4. Molibdeno - Cobre.

En suelos turbosos, se ha encontrado antagonismo mutuo entre cobre y molibdeno (39). Igualmente, el cobre interfiere en el papel del molibdeno en la reducción enzimática de los nitratos (39).

11.5. CORRECCION DE DEFICIENCIAS

Para corregir deficiencias de molibdeno se utiliza el encalado y la fertilización con compuestos de molibdeno o los dos métodos combinados.

Las fuentes de molibdeno empleadas como fertilizantes aparecen en la Tabla 13 (38).

TABLA 13. Fuentes de molibdeno empleadas como fertilizantes de este elemento.

Fuente	Fórmula	% Mo
Molibdato de sodio	$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	39
Molibdato de amonio	$(\text{NH}_4)_6 \cdot \text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	54
Trióxido de molibdeno	MoO_3	66
Sulfuro de molibdeno	MoS	60
Fritas (vidrios) de molibdeno		2-3

Los métodos de aplicación son: Aplicación directa al suelo, aspersiones foliares y tratamiento a la semilla. La dosis depende del tipo de suelo, método de aplicación, especie de planta y características como pH, contenido de fosfatos, sulfatos y manganesos del suelo. El exceso de fertilizantes debe ser tenido en cuenta, especialmente en zonas de pastoreo o producción de forrajes (38).

En la Tabla 14 aparecen las cantidades de molibdato de amonio y de sodio para varios cultivos. Nótese que, en general, la dosis recomendada es bastante pequeña (38).

El tratamiento a la semilla es un método muy utilizado y presenta varias ventajas como facilidad en la aplicación, economía y efectividad. La cantidad de molibdato a aplicar a la semilla, necesaria para una hectárea, depende de la especie de planta. Por ejemplo, en coliflor se utiliza de 40 a 60 g de molibdato de sodio. Cantidades en el rango de 10 - 100 g/Ha de Mo parece que son adecuadas.

Otro método es utilizar semillas de plantas altamente fertilizadas con molibdeno, con lo cual la semilla tendrá alto contenido de este nutriente suficiente para abastecer las necesidades del cultivo en suelos deficientes.

Cuando se aplican cantidades adecuadas al suelo, la frecuencia de aplicación es cada tres años (38).

11.6. SITUACION EN COLOMBIA

Se ha detectado deficiencia de molibdeno en algunas zonas del país; en suelos rojos de Antioquia se ha encontrado respuesta a molibdeno bajo condiciones de invernadero (45). En suelos de la Sabana de Bogotá, ha habido respuesta a molibdeno en coliflor, aplicado en forma

TABLA 14. Niveles de fertilizantes de molibdeno para algunos cultivos.

Cultivo	Fuente	Dosis (g/Ha)	Método
Coliflor	Molibdato de amonio	2500 - 3500	Localizado
Cereales	Molibdato de amonio	1500 - 2000	Localizado
Soya	Molibdato de amonio	150 - 200	Localizado
Caña de azúcar	Molibdato de amonio	2000 - 2500	Localizado
Leguminosas	Molibdato de amonio	1000 - 1500	Localizado
Coliflor	Molibdato de sodio	100 - 500	Localizado
Soya	Molibdato de sodio	250 - 700	Localizado
Caña de azúcar	Molibdato de sodio	50 - 800	Localizado
Pastos	Molibdato de sodio	5 - 120	Voleo
Cítricos	Molibdato de amonio	1 onza/10 gal de agua	Foliar
Rosas	Molibdato de amonio	1 onza/6 gal de agua	Foliar
Guisantes	Molibdato de amonio	0,5 onzas/gal de agua	Foliar

localizada junto con el fertilizante o por tratamiento a la semilla (32, 37). En el altiplano de Pasto, el contenido total de molibdeno es bajo en suelos y sub-suelos (3) y la aplicación de este nutrimento en coliflor incrementó los rendimientos (2).

12. ZINC

En el año de 1930, Chandler y colaboradores demostraron la esencialidad del Zinc para las plantas superiores (10). Es constituyente de varias enzimas e interviene en la formación de la clorofila y síntesis del triptófano, precursor del ácido indol-acético que es una auxina promotora del crecimiento de las plantas. Enzimas como la aldolasa, anhidrasa carbónica, peptidasas y deshidrogenasa, requieren del Zinc para su actividad. Igualmente, tiene que ver con el funcionamiento de los sulfhidrilos en compuestos como cisteína y en la regulación del potencial de oxidoreducción dentro de las células (41). Parece que es adsorbido de la solución del suelo como ión divalente, Zn^{++} , y posiblemente en formas monovalentes $(ZnCl)^+$ (51).

La cantidad total de Zinc en los suelos varía entre 10 y 500 ppm (34). Es muy inmóvil en el suelo, por lo cual las capas superiores del suelo son más ricas en este nutrimento (34). Se encuentra parte soluble en agua, una porción mayor como Zinc intercambiable y una cantidad mayor aún, en forma relativamente insoluble no disponible para la planta.

12.1. FACTORES QUE AFECTAN LA APROVECHABILIDAD DEL ZINC

Los principales factores que influyen en la disponibilidad del zinc para las plantas son:

12.1.1. pH.

La disponibilidad del Zinc disminuye al aumentar el pH del suelo (55). En suelos con pH mayor que 7,0 posiblemente ésto ocurre debido a la formación de zincato de calcio, ZnO_2Ca , insoluble.

12.1.2. Adsorción y Fijación en Látices Cristalinos.

Reacciones de adsorción del Zinc pueden ocurrir en muchos tipos de superficies que incluyen arcillas minerales, materia orgánica y minerales calcáreos (51). Por otra parte, el Zn^{+++} es muy semejante al Mg^{++} en tamaño y carga; por ésto el zinc puede reaccionar con ciertas arcillas para desplazar al Mg^{++} , volviéndose relativamente no asimilable (51).

12.1.3. Concentración de Fósforo.

Se ha encontrado que el zinc está adversamente afectado en la nutrición de la planta, por un suministro alto de fósforo principalmente en aquellas plantas con moderada a alta sensibilidad a deficiencia de zinc (6). Parece que el problema se debe a una inhibición en la traslocación del zinc de las raíces a otras partes de la planta (31).

12.1.4. Temperatura del Suelo.

Cuando el nivel del Zn en el suelo es adecuado, se puede presentar deficiencia por aplicaciones de fósforo cuando la temperatura del suelo es baja ($10 - 20^{\circ}C$). Estas deficiencias no se presentan a temperaturas más altas (35).

12.1.5. Algunas Propiedades Físicas del Suelo.

Cuando la densidad aparente se aumenta, la concentración de zinc en la planta disminuye por efectos en el mecanismo de respiración y

por disminución en la difusión del zinc de la masa del suelo hacia la raíz (54).

12.1.6. Otros Factores.

Otros factores que afectan la disponibilidad de zinc para la planta son: Materia orgánica, carbonatos, principalmente de calcio y magnesio; óxidos de hierro, potencial de oxidación, contenido de agua del suelo y actividad microbiana (10).

En general, los suelos donde se podría presentar deficiencia o toxicidad de zinc son los siguientes:

12.2. DEFICIENCIA (10)

- .1. Suelos minerales derivados de materiales pobres en zinc
- .2. Suelos con pH 7,0 derivados de material calcáreo
- .3. Suelos orgánicos desarrollados sobre arena cuarcítica pobre en zinc.
- .4. Suelos muy intemperizados muy encalados
- .5. Suelos ricos en fósforo aprovechable.

12.3. TOXICIDAD (10)

- .1. Turbas ácidas de cualquier clase
- .2. Suelos contaminados con zinc de operaciones mineras
- .3. Suelos derivados de rocas y materiales altos en zinc.

12.4. INTERACCION DEL ZINC CON OTROS ELEMENTOS

Las principales interacciones del zinc con otros elementos son las siguientes:

12.4.1. Zinc - Fósforo.

Posiblemente el efecto deprimente del fósforo sobre el zinc es fisiológico.

12.4.2. Zinc - Nitrógeno.

El efecto del nitrógeno sobre la toma y concentración de zinc en la planta depende en muchos casos de ésta. Por ejemplo, en papa y remolacha se aumentó la toma y concentración de zinc con los niveles de nitrógeno aplicados (39). A su vez, en cítricos y trébol subterráneo, el nitrógeno reduce la toma de zinc.

12.4.3. Zinc- Magnesio.

Parece que el magnesio libera zinc de compuestos relativamente insolubles (39). Por otra parte, se sugiere que la interacción positiva Mg-Zn ocurre en un mayor grado dentro de la planta que en el suelo.

12.4.4. Zinc - Hierro.

Debe existir un balance apropiado entre hierro y zinc. En plantas con deficiencia inicial de zinc, se agrava el problema al aumentar el hierro (39); por su parte al aumentar el zinc se pueden agudizar las deficiencias de hierro.

12.4.5. Cobre - Zinc.

En áreas de deficiencia de cobre - zinc, especialmente en suelos de texturas gruesas, el exceso de zinc aplicado induce severas deficiencias de cobre principalmente en trigo y cebada (39).

12.5. CORRECCION DE DEFICIENCIAS DE ZINC

Las fuentes de zinc más comúnmente empleadas para corregir deficiencia de este nutrimento aparecen en la Tabla 15. La cantidad y el método a utilizar dependen del cultivo y tipo de suelo principalmente (38).

TABLA 15. Algunas fuentes de fertilizante de zinc.

Fuente	Fórmula	% Zn
Sulfato de zinc monohidratado	$ZnSO_4 \cdot H_2O$	35
Sulfato básico de zinc	$ZnSO_4 \cdot 4Zn(OH)_2$	55
Oxido de zinc	ZnO	78
Carbonato de zinc	$ZnCO_3$	52
Quelatos de zinc	$Na_2ZnEDTA$	14
	NaZnNTA	13
	NaZnHEDTA	9
Poliflavonoide de zinc		10
Fritas (vidrios) zinc		Varios

Debido a la baja movilidad del zinc en el suelo, es recomendable aplicarlo al voleo incorporándolo, en banda debajo y al lado de la semilla o mezclado con fertilizantes nitrogenados. No es recomendable aplicarlo sobre la superficie en el suelo (38). La aplicación foliar o el tratamiento a la semilla son también métodos apropiados.

Respecto a dosis a aplicar, en la Tabla 16 aparecen las cantidades recomendables para algunos cultivos (38).

TABLA 16. Dosis de zinc recomendadas para varios cultivos.

Cultivo	Fuente	Dosis de Zn (kg/Ha)	Método de aplicación
Maíz	ZnSO ₄ ·H ₂ O	2 - 10	Voleo o banda
Maíz y Sorgo	Quelatos y poli- flavonoides	0,4 - 4,5	Banda
Arroz	ZnSO ₄ ·H ₂ O	8 - 10	Voleo
Arroz	Quelato	1 - 2	Foliar
Cítricos	ZnSO ₄ ·H ₂ O ZnO	265 g Zn/100 L de agua	Foliar
Papa	Quelato	0,3 - 1	Banda
Cebolla y Fríjol	Quelato	3 - 5	Banda

La aplicación de zinc al suelo puede tener efecto residual para varias cosechas, mientras que la aplicación foliar solamente sirve para corregir la deficiencia de una cosecha.

Es conveniente evitar la acumulación de cantidades tóxicas de zinc en el suelo. Posiblemente se puede corregir el problema por medio del encalado, aplicaciones de fósforo o por medio de ciertas prácticas de manejo.

12.6. SITUACION EN COLOMBIA

En algunos suelos del Valle del Cauca hay respuesta altamente significativa a la aplicación de zinc en arroz; cantidades de 10 kg de Zn/Ha al suelo o tratamiento de 100 kg de semilla con 10 kg de Zn, utilizando óxido de zinc como fuente, ha dado buenos resultados (17).

En el Sur del Tolima, el tratamiento a la semilla de arroz ha dado buenos resultados para corregir deficiencias de zinc (46). En cítricos localizados en el Valle del Cauca, Pacho (Cundinamarca), Llanos Orientales (al encalar) y otras zonas del país, se han observado deficiencias severas de zinc. Por su parte, en suelos de la serie Tibaitatá, ha habido respuesta a la aplicación de zinc en papa, trigo y haba (24); igualmente, al aplicar dosis altas de fósforo en maíz se vió la necesidad de aplicar zinc paralelamente (21).

13. ELEMENTOS MENORES EN NUTRICION ANIMAL

Aún cuando el presente artículo pretende informar sobre la importancia de los micronutrientes en los animales, sin embargo, es conveniente tener en cuenta que tanto los animales como el hombre derivan su alimento de las plantas. Bajo esas condiciones, en muchos casos, del nivel de ciertos nutrientes en la planta dependerá el estado nutricional del hombre o del animal.

Los elementos esenciales para los animales y el hombre son: Calcio, Fósforo, Sodio, Potasio, Cloro, Magnesio, Manganeso, Zinc, Hierro, Cobre, Molibdeno, Selenio, Yodo y Cobalto (47).

Cantidades altas de ciertos elementos como Molibdeno y Selenio, por ejemplo, pueden ser tóxicas para el animal o el hombre. En Colombia existen zonas denominadas seleníferas, donde los pastos y otras plantas extraen selenio en cantidades que son tóxicas para el animal, produciendo el trastorno denominado seleniosis. Posiblemente, el contenido de molibdeno en estas mismas zonas es alto, llegando a niveles tóxicos para el animal y produciendo el trastorno denominado molibdenosis.

Un plan para solucionar el problema del exceso de selenio debe incluir lo siguiente:

- .1. Reconocimiento y mapificación de zonas seleníferas
- .2. Lista completa de plantas seleníferas
- .3. Identificación de aguas seleníferas (0,5 ppm de Se)
- .4. Recuperación de suelos seleníferos y tratamiento de animales afectados.
- .5. Deselenización de aguas para animales y humanos.

Actualmente, el Instituto Colombiano Agropecuario, ICA, y la Universidad Nacional de Colombia, están trabajando en un Proyecto de Investigación sobre "Seleniosis en Colombia" con miras a resolver este gran problema.

14. COMENTARIOS GENERALES

Hay acuerdo entre los investigadores sobre la importancia de los micronutrientes para asegurar buenos cultivos, hombres y animales saludables, lo mismo que en el peligro que encierra el uso indiscriminado de estos elementos, algunos de los cuales son deletéreos a ciertas dosis. Es por tanto necesario conocer su comportamiento en el suelo y los factores que afectan su disponibilidad, su bioquímica y sus efectos en la fisiología de plantas, animales y hombres. Se necesita la integración de varias disciplinas para alcanzar buenos resultados en este aspecto.

En algunas zonas de Colombia, existen serios problemas de deficiencia o toxicidad de micronutrientes que afectan a plantas y animales. Es necesario más investigación, la cual es muy costosa pero necesaria, para resolver paulatinamente ciertas incógnitas relacionadas con los elementos menores, lo que permitiría obtener más y mejores cosechas y mejorar la salud de hombres y animales.

15. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. AMIN, J.V. and JOHAM, H.E. A Molybdenum eyele in soils. Soil Sci. 85:156-160. 1958.
2. ARAGON, V.; MONTAÑO, M.; GUERRERO, R. Estudio del efecto de B, Mo y Ca sobre coliflor en dos suelos volcánicos del Altiplano de Pasto. Revista de Ciencias Agrícolas 3(1):39-54. 1971.
3. BARROS, P. Determinación de Mo, Cu y Co en algunos suelos del Altiplano de Pasto. En: Panel sobre suelos volcánicos de América. Pasto, U. de Nariño, Fac. de Ciencias Agrícolas. 1972. p. 74-76.

4. BENAVIDES, T.S. Estado del manganeso en los suelos de la Sabana de Bogotá. Bogotá, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 1959. 44p. (Publicación IT. I.).
5. BERGER, K.C. and TROUNG, E. Boron in soils and crops. *Advances in Agronomy* 1:321-351. 1949.
6. BROWN, A.L.; KRANTZ, B.A. and EDDINGS, J.L. Zinc-phosphorus interactions as measured by plant response and soil analysis. *Soil Sci.* 110:415-420. 1970.
7. BRUGES, J.A. Evaluación general de los micronutrientes en la Estación Experimental Caribia. Bogotá, Universidad Nacional-ICA, 1975. 117p. (Tesis M.S.).
8. CASTRO, J.P. Formas de Mn en suelos de clima medio del departamento de Nariño. En: Panel sobre suelos volcánicos de América. Pasto, U. de Nariño, Fac. Ciencias Agrícolas, 1972. p.77-78.
9. COX, F.R. and KAMBRATH, E.J. Micronutrient soil tes. In: Micronutrients in agriculture, Madison, Wisconsin, Soil Science Society of América, 1972. p.289-315.
10. CHAPMAN, H.D. Zinc. In: Diagnostic criteria for plants and soils. University of California, Division of Agriculture Sciences, 1966. p.484-499.
11. CHENG, B.T. and ONELLETTE, G.J. Molybdenum as a plant nutrient. *Soil fert.* 36:207-215. 1973.
12. DAVIS, E.B. Factors Affecting molybdenum availability in soil. *Soil Sci.* 81:209-221. 1956.

13. DULCEY, G.; ORTEGA, J. Fraccionamiento de Mn en los suelos del Norte del departamento del Cauca. Pasto, Univ. de Nariño, Fac. de Ciencias Agrícolas, 1972. 64p. (Tesis I.A.).
14. EATON, F.M. Chlorine. In: Diagnostic Criteria for plants and soils. University of California, Division of Agriculture Sciences, 1966. p.98-135.
15. ELLIS, B.G. and KNEZEK, B.D. Adsorption Reactions of Micronutrients in soils. In: Micronutrients in Agriculture. Madison, Wisconsin, Soil Science Society of América, 1972. p.59-75.
16. FASSBENDER, H.W. Química de Suelos. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1975. p.362-365.
17. FLOR, C.; CHEANEY, R.; SANCHEZ, P. El problema de la deficiencia de Zn en arroz. En: ICA, Programa Nacional de Arroz, V Reunión Anual, 1973. p.109-122.
18. GARAVITO, F.N. Propiedades del suelo en relación con deficiencias de Boro en el Valle del Cauca. Programa de Estudios para Graduados Universidad Nacional-Instituto Colombiano Agropecuario, 1976. p.1-86. (Tesis M.S.).
19. GORDON, R.B. Boron. In: Diagnostic Criteria for Plants and soils. University of California, Division of Agriculture Sciences, 1966. p.33-61.
20. HODSON, J. Chemistry of the micronutrient elements in soils. *Advances in Agronomy* 15:119-159. 1963.
21. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. Informe Anual de Progreso. Bogotá, Programa de Suelos, Regional 1, 1970. 37p.

22. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. Informe de Labores Programa Suelos. 1973.
23. _____. Informe Anual de Progreso 1973. Bogotá, Programa Suelos, 1974. 53p.
24. _____. Informe Progreso Regional No. 1. ICA, Programa Suelos, 1975. p.1-36. (Mimeografiado).
25. JONES, H.E. and SCARSETH, G.D. The calcium boron balance in plants as related to boron needs. Soil Science 57:15-24. 1944.
26. JONES, L.H.P. The solubility of molibdenum in simplified systems and aqueous soil suspension. J. Soil Sci. 8:313-327. 1957.
27. KRAUSKOPF, K.B. Geochemistry of Micronutrients. In: Micronutrients in Agriculture. Madison, Wisconsin, Soil Science Society of América, 1972. p.7-40.
28. LABANAUSKAS, CH. K. Manganese. In: Diagnostic criteria for plants and Soils. University of California, Division of Agriculture Sciences, 1966. p.264-285.
29. LINDSAY, W.L. Inorganic phase equilibria of micronutrients in soils. In: Micronutrient in Agriculture. Soil Science Society of América, Inc. Madison, Wisconsin, USA, 1972. p.41-57.
30. LOPEZ, M.A. Problemas de Fertilización en suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia. En: Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas en América Latina, I. Turrialba, Costa Rica, 1969.

31. LORA S., R. Availability and distribution of zinc and other micro-nutrients cations in the corn plant as influenced by phosphorus fertilization. North Carolina State University, 1968. 124p. (M.S. Thesis).
32. _____; HIGUITA, F. Respuesta de la coliflor a cá y molibdeno. *Agric. Tropical* 25:437-475. 1969.
33. LUCAS, R.E. and KNEZEK, B.O.K. Climatic and soil conditions promoting micronutrients deficiencies in plants. In: *Micronutrients in Agriculture*. Madison, Wisconsin, Soil Sci. Society of America, 1972. p.265-283.
34. MALAVOLTA, E. Deficiencias minerales. En: *Fitopatología Curso Moderno, Tomo IV*. Editorial Hemisferio Sur. Argentina, dirigido por Abel A. Sarasola. 1975. p.66-166.
35. MARTIN, W.L.; McLEAN, J.G. and QUICK, J. Effect of temperature on the occurrence of phosphorus induced zinc deficiency. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 29:411-413. 1965.
36. MITCHELL, R.L. Trace elements in Soils. In: *Chemistry of the Soil*. Firman E. Bear (Ed.), 1964. p.320-368.
37. MOTTA DE M.B. Efecto de dos métodos de fertilización con molibdeno en los rendimientos de la coliflor (Brassica oleracea) var. Bola de Nieve en un suelo de la Serie Mosquera. 1976. 88p.
38. MURPHY, L.S. and WALSH, L.M. Correction of Micronutrient deficiencies with Fertilizers. In: *Micronutrients in Agriculture*. Madison, Wisconsin, Soil Science Society of America, 1972. p.347-387.

39. OLSEN, S.R. Micronutrient interactions. In: Micronutrients in Agriculture. Madison, Wisconsin, Soil Science Society of America, 1972. p.243-264.
40. ORTEGA, J. Disponibilidad de micronutrientos de varias series de suelos del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias Tibaitatá. Bogotá, UN-ICA, 1976. 154p. (Thesis M.S.).
41. PRICE, C.A.; CLARK, H.E. and FUNKHOUSER, E.A. Functions of Micronutrients in plants. In: Micronutrients in Agriculture Madison, Wisconsin, Soil Science Society of America, 1972. p.231-242.
42. REUTHER, W. and LABANAUSKAS, CH. K. Copper. In: Diagnostic Criteria for plants and soils. University of California, Division of Agriculture Sciences, 1966. p.157-179.
43. ROBINSON, W.O. and EDGINGTON, G.E. Toxic aspect of molybdenum in vegetation. Soil Sci. 66:197-198. 1948.
44. ROBINSON, M. and McCLUNG, A.C. Respuesta al molibdeno en los suelos rojos de Antioquia. Agric. Trop. 20:504-512. 1964.
45. RODRIGUEZ, M. and McCLUNG, A.C. The presence and determination of molybdenum and rare earths in phosphate rock. Soil Sci. 66:317-322. 1964.
46. SANCHEZ, G. Respuesta del arroz a la aplicación de elementos menores. Ibagué, ICA, Programa Nacional de Suelos, 1974. (Mecanografiado).

47. SCOTT, M.L. Trace Elements in Animal Nutrition. In: Micronutrients in Agriculture. Madison, Wisconsin, Soil Sci. of America, 1972. p.555-591.
48. SCOUT, P.R. and JOHNSON, C.M. Molybdenum deficiency in horticultural and field crops. Soil Sci. 81:183-190. 1956.
49. SIMS, J.R. and BINGHAM, F.T. Retention of boron by layer silicates, sesquioxides and soil materials; II. Sesquioxides. Soil Sci. Soc. Amer. 32:364-369. 1967.
50. SMITH, B.H. and LEEPER, G.W. The fate of applied molybdate in acidic Soil. J. Soil Sci. 20:246-254. 1969.
51. THORNE, D.W. Zinc deficiency and its control. In: A.G. Norman (ed.) Advance in Agronomy, New York. Academic Press 9:31-65. 1957.
52. TISDALE, S.L. and NELSON, W.L. Soil Fertility and fertilizers. The McMillan Company. New York, U.S.A., 1967. p.288-356.
53. VELASCO DE LA R. C. Fraccionamiento de las formas de Mn en los suelos del Altiplano de Pasto. En: Panel sobre suelos volcánicos de América. Pasto, U. de Nariño, Fac. de Ciencias Agrícolas, 1972. p.88-90.
54. WARD, R. C. Factors responsible for poor response of corn and grain Sorghum to phosphorus fertilization. III Effect of soil compactation, moisture level and other properties on P-Zn Interactions. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 27:326-330. 1963.
55. WEAH, J.I. Effect of soil pH and calcium on uptake of zinc by plants. Soil Sci. 110:415-420. 1956.

CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS DE LOS FERTILIZANTES

Ricardo Guerrero Riascos*

1. INTRODUCCION

La evolución de la agricultura contemporánea hacia sistemas intensivos de altos rendimientos explica el desarrollo dramático que se ha experimentado en la industria mundial de fertilizantes.

Conforme se muestra en la Figura 1, para el año 2.000 se estima que el mundo necesitará un total de 264 millones de toneladas de N, P_2O_5 y K_2O , de las cuales un 65% corresponderá a los países desarrollados y un 35% a los países en vía de desarrollo. Estas cifras contrastan con los consumos estimados para 1980, en alrededor de 110 millones de toneladas, de las cuales un 80% serán usadas en los países desarrollados.

La demanda de fertilizantes en los países en desarrollo se triplicará en las próximas dos décadas (Figura 1). Sin embargo, en estos países la producción de fertilizantes ha estado tradicionalmente rezagada en relación a sus niveles de uso. Así, en 1976 estos países solamente produjeron el 70% del total de fertilizantes usados y, por consiguiente, han sido países importadores de este insumo. Esto supone que para alcanzar un nivel de autoabastecimiento, en el año 2.000, un 40% de la capacidad mundial instalada de producción de K y P deberá estar localizada en los países en vías de desarrollo (6).

* Ingeniero Agrónomo, M.S. Jefe de Asistencia Técnica, Monómeros Colombo Venezolanos S.A., Apartado Aéreo 17972, Bogotá.

MILLONES DE TONELADAS DE N, P2O5 y K2O

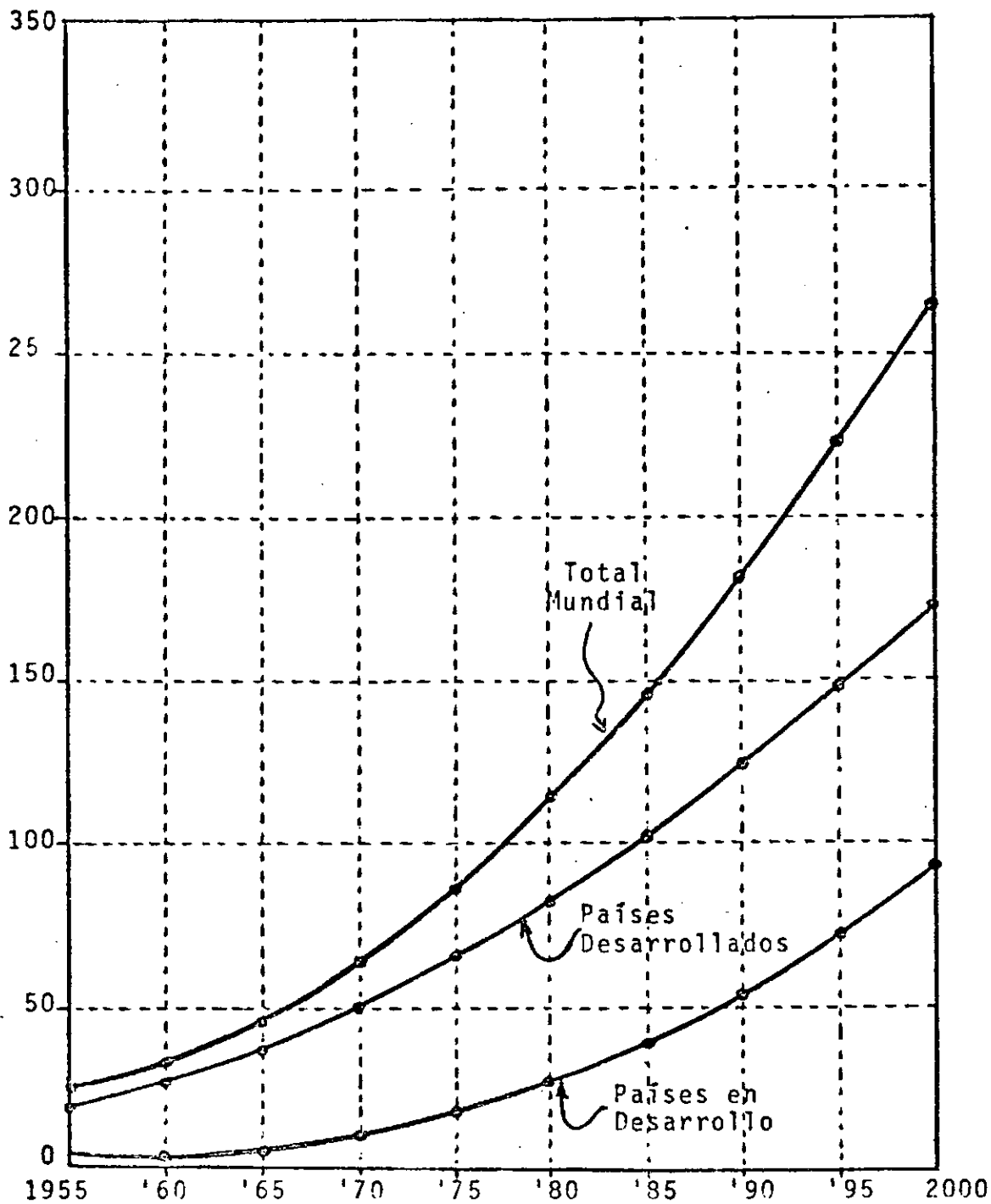


Figura 1. Consumo mundial de fertilizantes.
Según IFDC (6)

A pesar de que las tendencias actuales y futuras señalan que cerca del 90% del P_2O_5 aplicado como fertilizante lo será en forma de fertilizantes compuestos, se considera que sigue teniendo gran importancia el conocimiento de las propiedades físicas y químicas de los materiales o fuentes fertilizantes primarias, ya que en ese conocimiento radica su utilización apropiada para alcanzar una máxima eficiencia agronómica bajo las diferentes condiciones eco-edáficas y tecnológicas.

En el presente artículo se pretende recopilar la información actualizada acerca de las propiedades básicas de las fuentes fertilizantes químicas nitrogenadas, fosfatadas y potásicas. Se incluye, además, un resumen sobre las condiciones del uso agronómico de esas fuentes, con particular énfasis en los fertilizantes fosfatados, y un primer capítulo en donde se desarrollan las definiciones y conceptos generales sobre el tema.

Para la elaboración del presente artículo, el autor se ha basado principalmente en la última versión del "Fertilizer Manual", publicada en 1979 por el "International Fertilizer Development Center (IFDC)" (6).

2. DEFINICIONES Y CONCEPTOS

2.1. DEFINICION GENERAL

Se entiende por fertilizante, 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.

2.2. APROVECHABILIDAD DEL FERTILIZANTE

Un fertilizante comercial es un material que contiene al menos uno de los nutrientes primarios en forma asimilable para las plantas, en

proporción conocida. Los elementos esenciales primarios forman una muy amplia variedad de compuestos químicos con diferentes grados de solubilidad en agua. Sin embargo, la solubilidad en agua no es el único criterio para medir o calificar la aprovechabilidad de un fertilizante.

El caso es que algunos materiales fertilizantes de solubilidad limitada en agua, han demostrado ser aprovechados por la planta y, en algunos casos, ser tan o más efectivos que aquellos fertilizantes altamente solubles en agua. Sin embargo, algunos materiales son tan insolubles que virtualmente no se pueden considerar como fertilizantes. Por ello, la mayoría de los países exigen que una proporción del contenido del nutriente en el fertilizante sea soluble en agua o en otro reactivo, por ejemplo, solución de citrato de amonio neutro.

Puesto que los fertilizantes nitrogenados y potásicos convencionales son de muy alta solubilidad, la solubilidad en agua se acepta usualmente como una medida de la aprovechabilidad nutricional para la planta. Algunos métodos especiales deben ser aplicados para materiales menos solubles, solamente cuando haya evidencia que señale a la solubilidad baja (o controlada) como ventajosa para la planta.

En el caso de los fertilizantes fosfatados hay una variedad muy amplia entre materiales con P total o casi totalmente soluble en agua y materiales de solubilidad limitada, cuya disponibilidad agronómica se evalúa mediante diferentes metodologías. Además de la solubilidad en agua, los métodos más comunes se basan en la solubilidad del P_2O_5 en soluciones neutras o alcalinas de citrato de amonio o en soluciones de ácido cítrico o fórmico. Además, el contenido total de P_2O_5 puede ser aceptado para algunos materiales.

En Colombia, el Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC), estipula o acepta como P-asimilable de los fertilizantes, aquel que resulta de la suma del fósforo soluble en agua y del fósforo soluble en citrato de amonio neutro.

2.3. EXPRESION DEL CONTENIDO NUTRICIONAL

En la actualidad, la mayoría de los países expresan las cantidades o contenidos nutricionales en términos de nitrógeno elemental (N), pentóxido de fósforo (P_2O_5) y de óxido de potasio (K_2O). Los elementos secundarios y los microelementos se expresan usualmente en términos de base elemental; sin embargo, el calcio y el magnesio son expresados algunas veces como óxidos. Algunos países han adoptado la expresión elemental para todos los elementos esenciales.

La Tabla 1 recoge los factores que se deben aplicar para convertir los contenidos nutricionales de base elemental a base óxido o viceversa.

2.4. DEFINICION DE ALGUNOS TERMINOS USUALES

2.4.1. Grado.

El grado de un fertilizante es el contenido nutricional expresado en porcentaje (peso) de N, P_2O_5 , K_2O , en ese orden. En algunos casos el "grado" puede ser denominado "fórmula", pero en realidad este término tiene otro significado.

2.4.2. Fertilizante Químico.

Es un producto manufacturado que contiene cantidades sustanciales de uno o más de los elementos esenciales primarios. El proceso de manufactura envuelve usualmente reacciones químicas, pero también puede consistir simplemente en la refinación de las fuentes fertilizantes naturales; tal el caso del cloruro de potasio.

2.4.3. Fertilizante Simple.

Fertilizante que contiene solamente un nutriente.

TABLA 1. Factores de conversión de la expresión en base óxido a la expresión en base elemental y viceversa.

P_2O_5	x	0,44 (0,4364)*	=	P
P	x	2,29 (2,2914)	=	P_2O_5
K_2O	x	0,83 (0,8302)	=	K
K	x	1,20 (1,2046)	=	K_2O
Ca O	x	0,71 (0,7147)	=	Ca
Ca	x	1,40 (1,3992)	=	CaO
Mg O	x	0,60 (0,6030)	=	Mg
Mg	x	1,66 (1,6582)	=	MgO
SO_3	x	0,40 (0,4005)	=	S
S	x	2,50 (2,4971)	=	SO_3

* Los factores entre paréntesis se deben usar para cálculos que demanden alta precisión.

2.4.4. Fertilizante Compuesto.

Fertilizante que contiene dos o más nutrientes.

2.4.5. Fertilizante Mezclado.

Este es un término que se presta a confusión por cuanto tiene diferentes significados dependiendo del país. En Estados Unidos, se entiende como el resultante de la mezcla de dos o más materiales fertilizantes. En algunos otros países, un fertilizante mezclado se define como el resultado de mezcla mecánica sin que medien reacciones químicas.

2.4.6. Fertilizante Complejo.

Aunque el término es ambiguo, en algunos países se entiende como un fertilizante compuesto, resultante de la mezcla de ingredientes que han reaccionado químicamente.

2.4.7. Fertilizante Granular.

Material fertilizante en el cual las partículas están constituidas por gránulos de tamaño variable y cuyo diámetro oscila generalmente entre 1 y 4 mm. En general, el término granular no implica un proceso específico para obtener la granulación, la cual se puede lograr mediante la agregación de partículas pequeñas, fraccionamiento y tamizado de fragmentos grandes y control del tamaño del cristal en los procesos de cristalización.

En nuestro medio, sin embargo, suele limitarse erróneamente el estado "granular" a los fertilizantes resultantes de reacciones químicas.

2.4.8. Fertilizante "Prilled".

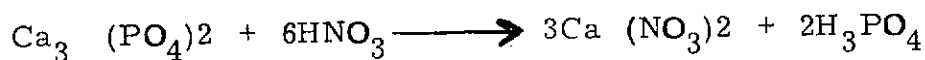
Fertilizante cuya granulación de forma esférica se obtiene mediante la solidificación de gotas durante su caída libre en aire u otro medio fluido; tal es el caso de la úrea.

2.4.9. Fertilizante "Bulk-Blend".

Material resultante de la mezcla de fertilizantes granulares con diámetro similar.

2.4.10. Nitrofosfato.

Un fertilizante cuyo proceso de fabricación incluye la reacción química entre el ácido nítrico y la roca fosfórica:



2.4.11. Fórmula o Formulación.

Un listado de materiales, su contenido nutricional y las cantidades necesarias para obtener un peso dado (por ejemplo una tonelada) de un fertilizante simple o compuesto con un grado específico.

3. LOS FERTILIZANTES NITROGENADOS

El amoníaco sintético (NH_3) es la fuente de más del 95% de los fertilizantes químicos nitrogenados, producidos en el mundo. El proceso de síntesis de amoníaco fue desarrollado principalmente por Fritz Haber en 1904, quien en 1909 probó el proceso a escala de laboratorio. A Carl Bosch se le acredita el desarrollo del proceso a nivel de planta piloto en 1913.

La química del proceso es muy simple; la reacción es:



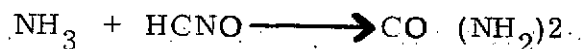
El amoníaco puede ser utilizado directamente como fertilizante o convertido a sales de amonio, nitratos o úrea. Aunque no se tiene un estimativo sobre la proporción en que se usan estos productos en el mundo, en Europa el fertilizante nitrogenado de mayor uso es el nitrato de amonio. En Asia es la úrea el fertilizante preferido. En Norteamérica la fuente más usada como fertilizante es el amoníaco anhidro. En Colombia es la úrea el fertilizante nitrogenado preferido.

El consumo nacional de N en 1980 se estima en 150.000 TM (N), cuyo uso se distribuye así:

Fertilizantes compuestos	33%
Urea	60%
Nitrato de amonio	4%
Sulfato de amonio	3%

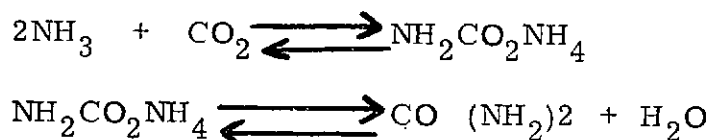
3.1. UREA

La úrea fue obtenida sintéticamente por primera vez en 1828 a partir del amoníaco y del ácido cianúrico (Wöhler):



Esta preparación constituyó un hito en la ciencia, por cuanto la úrea fue el primer compuesto obtenido por síntesis a partir de materiales inorgánicos. La producción industrial de úrea se inició en 1922 en Alemania, en 1932 en Estados Unidos y en 1935 en Inglaterra.

La totalidad de la producción comercial actual de úrea se hace a partir de dióxido de carbono y amoníaco, según las reacciones:



Algunas propiedades de la úrea, que son de interés para su uso como fertilizante, se incluyen en la Tabla 2.

TABLA 2. Características generales de los fertilizantes nitrogenados utilizados en Colombia.

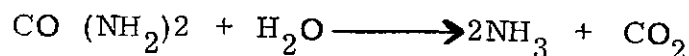
Fertilizante	Fórmula	% N	Solubilidad g/100 g de agua (20°C)	Humedad Re- lativa Crítica 20°C
Urea	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	46	108	81 %
Sulfato de amonio	$\text{SO}_4(\text{NH}_4)_2$	21 (24%S)	80	81 %
Nitrato de amonio	$\text{NO}_3(\text{NH}_4)$	35*	187	63 %

* El producido en Colombia tiene 26% N.

La úrea es menos higroscópica que el nitrato de amonio pero más higroscópica que el sulfato de amonio y requiere protección de la humedad atmosférica en algunos climas. Durante la síntesis de la úrea se forma Biuret ($\text{NH}_2\text{-CO-NH-CO-NH}_2$). Usualmente, el producto contiene alrededor de 1% de biuret, pero el rango oscila entre 0,8 y 2%.

El uso agronómico de la úrea inicialmente fue cuestionado. En Europa ha sido considerada como un fertilizante de lenta liberación, por cuanto debe sufrir dos transformaciones en el suelo antes de estar disponible para la mayoría de los cultivos.

La primera de ellas es de hidrólisis:



Una segunda transformación es la nitrificación, por la cual el amoníaco es oxidado a nitrito y luego a nitrato mediante la acción de bacterias aeróbicas. Estas reacciones bioquímicas son muy rápidas en suelos tibios y húmedos, pero son débiles y lentas en suelos fríos, característicos de los climas templados del Norte de Europa, durante la primavera.

Bajo determinadas circunstancias, la úrea puede ser fitotóxica y causar daños severos a los cultivos, especialmente cuando el fertilizante se aplica en contacto con las semillas. Este efecto fitotóxico puede ser causado por altas concentraciones locales de amoníaco durante la etapa de hidrólisis o por acumulación excesiva de nitritos durante la nitrificación.

El uso de úrea puede llevar a pobres resultados agronómicos, debido a la pérdida de N como amoníaco por volatilización cuando el fertilizante es aplicado superficialmente. Esta pérdida es causada por la formación de amoníaco por la hidrólisis y así escapa hacia la atmósfera.

Debido a las razones anteriores, la úrea no ha sido un fertilizante popular en la mayoría de los países europeos y aún tiene poco uso como fertilizante simple en Europa del Norte, a pesar de que estudios recientes han demostrado que la úrea es tan efectiva como el nitrato de amonio cuando se aplica incorporándola antes o en el momento de la siembra.

En los Estados Unidos, la conclusión general de los programas de investigación es la de que la úrea es tan buena fuente nitrogenada como cualquier otra, siempre y cuando se la use apropiadamente. Así, no se

recomienda para aplicaciones superficiales en praderas de climas húmedos o para aplicaciones localizadas cerca o en contacto con las semillas.

La úrea se ha utilizado en arroz con resultados satisfactorios y es mejor fuente que los nitratos en arroz de inundación, por cuanto éstos son reducidos a N_2O o N_2 en la zona anaeróbica y se pierden en la atmósfera. Además, el arroz, a diferencia de la mayoría de las especies cultivadas, puede utilizar eficientemente la forma amoniacal del nitrógeno.

Para la mayoría de los usos de la úrea como fertilizante, un contenido de biuret inferior al 2% no genera consecuencias agronómicas adversas, siempre y cuando la aplicación no se haga en contacto o cerca de las semillas, pues en este caso el mayor contenido de biuret resultará también en un mayor efecto tóxico. Además, el biuret es tóxico para los cítricos y algunos otros cultivos cuando se aplica foliarmente. Para aplicaciones foliares en cítricos, el contenido de biuret en la úrea debe ser menor a 0,25%. La sensibilidad de otros cultivos al biuret, en aplicaciones foliares, varía ampliamente; así, el maíz y la soya toleran concentraciones del 1,5%.

En las zonas tropicales y subtropicales, la hidrólisis y la nitrificación (bajo condiciones aeróbicas) son procesos muy rápidos e intensivos y, por tanto, no existe un efecto retardado en la fertilización. Por estas razones y debido a su alta concentración y a sus costos favorables de producción, la úrea ha llegado a ser el fertilizante nitrogenado más utilizado en el mundo, conforme se observa en la Figura 2.

Casi toda la úrea que se fabrica en la actualidad viene en forma de "prills" o esferas pequeñas de un diámetro mucho menor que el de los fertilizantes granulados. Sin embargo, en la actualidad la tendencia es hacia la fabricación de úreas granuladas (2-4 mm) por cuanto

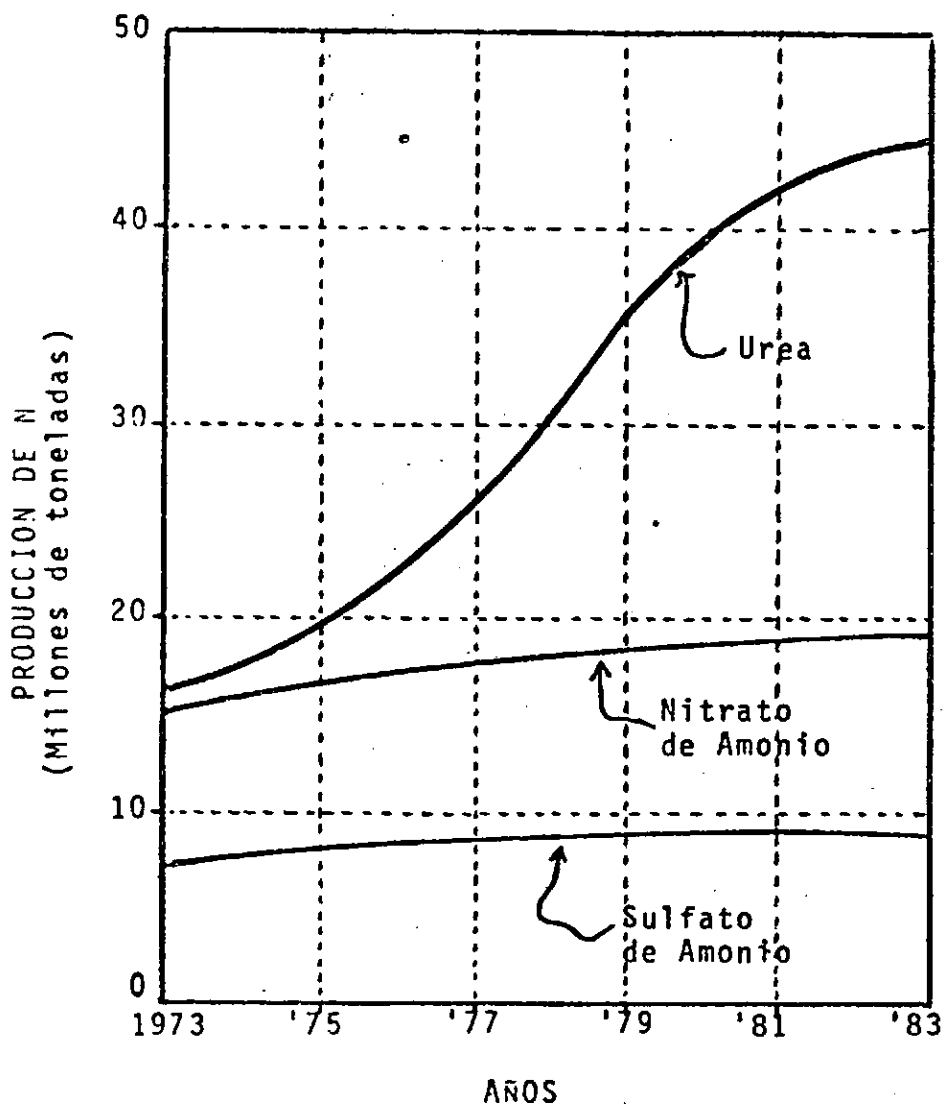


Figura 2. Tendencia de la producción mundial de fertilizantes nitrogenados, según IFDC (6).

ofrecen ventajas para su uso agronómico. Actualmente se fabrican en el mundo 2,5 millones de TM/año de úrea granulada. Entre las ventajas que se pueden señalar a la úrea granulada sobre la úrea "prilled" están:

- .1. Tiene menores problemas de fabricación
- .2. Se puede usar para mezclas "bulk-blending"
- .3. Facilita las aplicaciones aéreas
- .4. Bajo condiciones del trópico se espera mejor comportamiento agronómico por mayor persistencia.

Actualmente, en Colombia únicamente FERTICOL produce úrea en cantidad de 10.000 TM/año, lo cual representa un 5% del consumo nacional estimado en alrededor de 200.000 TM por año. Sin embargo, a mediano plazo se prevé que las necesidades del país serán satisfechas por la producción nacional en base a los proyectos de ABOCOL y FERTICOL.

3.2. SULFATO DE AMONIO

El sulfato de amonio es uno de los fertilizantes nitrogenados más importantes, pero en la actualidad participa con sólo una pequeña proporción del tonelaje total de N producido en el mundo como fertilizante, debido al fuerte incremento de uso que han tenido la úrea, el nitrato de amonio y el amoníaco anhidro. El actual tonelaje de producción de sulfato de amonio no ha disminuído, pero ha permanecido constante en los últimos años (Figura 2) en alrededor de seis millones de TM (en términos de N).

La Tabla 2 recoge las propiedades del sulfato de amonio. Sus principales ventajas son su baja higroscopicidad, buenas propiedades

físicas, estabilidad química y buena efectividad agronómica, siendo también una buena fuente de S.

Su reacción en el suelo es fuertemente ácida, lo cual es una ventaja en suelos alcalinos y para algunos cultivos, pero en otros casos es una desventaja. En Colombia, el sulfato de amonio ha dado muy buenos resultados en el cultivo del algodón, superando a la úrea en muchos casos. Su principal desventaja es el bajo contenido de N (19-21%), lo cual obviamente encarece los costos de empaque, transporte y almacenamiento. Esta situación resulta en mayores costos al agricultor por unidad de N que la úrea o el nitrato de amonio.

Sin embargo, en algunos casos, el sulfato de amonio puede ser la fuente más económica de N cuando debe ser transportado a cortas distancias, cuando está disponible como subproducto a bajo costo o cuando se usa para suplir azufre en suelos deficientes.

El sulfato de amonio se obtiene como subproducto de la producción de caprolactama; tal es el caso del producido por Monómeros Colombo Venezolanos, empresa que además de comercializarlo como fertilizante simple (10.000 TM/año) lo usa como materia prima en su planta de complejos. Sin embargo, existen varias otras formas para producir este fertilizante.

El estado físico del sulfato de amonio es el de cristales de diverso tamaño, dependiendo del uso propuesto. Para aplicaciones directas o para la producción de compuestos por "bulk blending" es preferible cristales grandes en el rango de 1-3 mm de diámetro, aunque los cristales pequeños también pueden ser aceptables para aplicación directa, al igual que para ser usado como materia prima en la fabricación de complejos.

3.3. NITRATO DE AMONIO

El nitrato de amonio es el fertilizante nitrogenado más usado en la mayoría de los países europeos y en algunos otros países de la zona templada. Es también un abono apetecido en Estados Unidos, aunque allí el fertilizante nitrogenado más utilizado es el amoníaco anhidro.

Este fertilizante tiene una mayor rapidez de acción que la úrea o el sulfato de amonio, pues la mayoría de los cultivos utilizan el N principalmente en forma de nitratos, en tanto que el nitrógeno amoniacal se debe convertir a nitrato antes de ser efectivo para la planta. El proceso de nitrificación es lento en suelos fríos (menos de 10°C) y, como se anotó, la úrea es fitotóxica si no se aplica adecuadamente, y el sulfato de amonio acidifica el suelo. Estas circunstancias explican la popularidad del nitrato de amonio en Europa.

Las principales desventajas del nitrato de amonio son:

- .1. Es un producto muy higroscópico (Tabla 2)
- .2. Su contenido de N (26-33%) es inferior al de la úrea
- .3. Se ha encontrado que es un producto que tiende a ser menos efectivo que la úrea y el sulfato de amonio para el arroz de inundación.
- .4. Ofrece mayor susceptibilidad a las pérdidas por lixiviación
- .5. Presenta algún peligro de fuego y, aún, explosión si no se toman las precauciones del caso en su manejo y almacenamiento.

En Colombia, FERTICOL produce unas 24.000 TM/año de nitrato de amonio, conocido comercialmente como NITRON-26 (26% N).

4. LOS FERTILIZANTES FOSFATADOS

Hacia 1840, J. B. Lawes trató roca fosfórica con ácido sulfúrico y demostró en experimentos de campo que el "superfosfato" resultante era mucho más efectivo que la roca no tratada. La industria de los fertilizantes comenzó con el trabajo de Lawes.

Las formas de fosfatos actualmente utilizadas como fertilizantes son ortofosfatos, los cuales pueden ser agrupados tomando en cuenta su solubilidad en agua, así:

.1. Fosfatos solubles en agua.

Este grupo incluye los superfosfatos (simple y triple), cuyo portador de P es el fosfato monocálcico, el fosfato monoamónico (MAP) y el fosfato diamónico (DAP).

.2. Fosfatos de mediana solubilidad.

El fosfato dicálcico es el único fertilizante simple importante en este grupo, aunque se utiliza más que todo como portador de P en fertilizantes compuestos, como resultante del tratamiento de la roca fosfórica con ácido nítrico (nitrofosfatos). Otros fertilizantes con solubilidad análoga, que pueden ser importantes en el futuro, son el fosfato dimagnésico y el fosfato doble de magnesio y amonio.

.3. Fosfatos de baja solubilidad.

Este grupo incluye la roca fosfórica, las Escorias Thomas y los fosfatos térmicos.

Aunque el presente artículo versa exclusivamente sobre las llamadas fuentes fertilizantes y no sobre los abonos compuestos, se considera

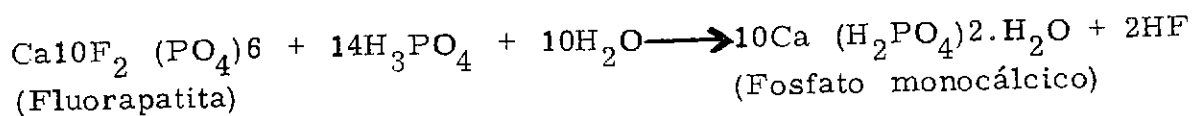
importante señalar que para las próximas dos décadas se estima que un 65% y un 86% del P_2O_5 usado en el mundo, lo será en forma de fertilizantes compuestos, en países en desarrollo y desarrollados, respectivamente. Para 1980, en Colombia, del total de P_2O_5 usado, un 10% será aplicado en fertilizantes simples (calfos, TSP, Roca Fosfórica) y un 90% en fertilizantes compuestos (13-26-6); 10-30-10; 15-15-15).

4.1. FUENTES FOSFATADAS DE ALTA SOLUBILIDAD

4.1.1. Superfosfato Triple (TSP).

A partir de 1965, el superfosfato triple representa aproximadamente entre el 15% y el 20% del total de fertilizante fosfatado utilizado en el mundo.

La reacción química básica envuelta en su producción es la siguiente:



Una de las ventajas del TSP es la de ser la fuente fosfatada simple con mayor concentración de fósforo disponible. Otra ventaja es que, parte de su contenido de P_2O_5 se deriva directamente de la roca fosfórica, la cual es una fuente relativamente barata de P. Además, con una misma cantidad de ácido fosfórico se produce más P_2O_5 como TSP que como fosfato de amonio. El porcentaje de P_2O_5 en el superfosfato triple derivado directamente de la roca, varía entre 25% y 30%, dependiendo de la relación; CaO: P_2O_5 de la roca, la pureza de la roca y el ácido utilizado y otros factores.

Como principales desventajas del superfosfato triple se señalan:

- .1. El contenido total de nutrientes es inferior al de los fosfatos de amonio.
- .2. Es una fuente de compatibilidad limitada para mezcla con úrea, debido a reacciones que causan deterioro a las condiciones físicas del compuesto resultante.
- .3. Su condición ácida puede causar daño a algunos tipos de empaque.

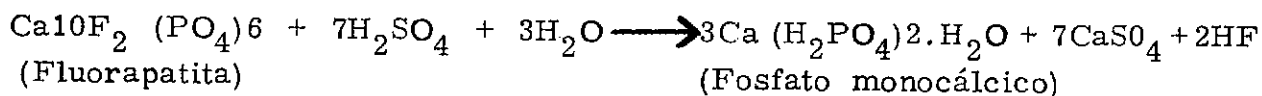
El superfosfato triple se fabrica tanto en forma granular como en polvo. El TSP en polvo es preferido como materia prima en la fabricación de fertilizantes compuestos granulados, mientras que la forma granular se prefiere para la preparación de compuestos por "Bulk-blending". El consumo mundial de esta fuente fue del orden de los 3,4 millones de toneladas de P_2O_5 por año (1977).

La Tabla 3 recoge algunas propiedades del superfosfato triple.

4.1.2. Superfosfato Simple (SSP).

El superfosfato simple fue hasta 1955 la principal fuente fertilizante fosfatada, ya que hasta ese entonces participaba con el 60% de los consumos totales de fertilizante fosfatado a nivel mundial. Actualmente, su importancia ha declinado acentuadamente, pues en 1975 su participación ha caído al 20% en razón de la preponderancia adquirida por las fuentes de P más concentradas; sin embargo, ese 20% significó una producción mundial anual de 7,5 millones de toneladas en 1978, lo que implica que aún tiene alguna importancia.

El SSP resulta de tratar roca fosfórica con ácido sulfúrico, según la siguiente reacción:



LA. Características generales de los fertilizantes fosfatados más importantes.*

FERTILIZANTE	PORTADOR DEL P	% P ₂ O ₅ (Típico)	% de P Soluble en Agua (Rango)	% de P Soluble en Agua (Típico)	pH de la Solución Concentrada	Humedad Relativa Crítica a 20°C	Contenido de otros Nutrientes %
FOSFATO TRIPLE	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ H ₂ O	46	75 - 95	85	1.00	94.1 %	14:Ca
FOSFATO SIMPLE	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ H ₂ O	20	75 - 95	83	1.00	94.1 %	20:Ca 10:S
FOSFATO DIAMONICO	(NH ₄) ₂ HPO ₄	46	90 -100	95	8.00	82.8 %	18:N
FOSFATO MONOAMONICO	NH ₄ H ₂ PO ₄	50	90 -100	95	3.47	91.6 %	10:N
FOSFATO BICALCICO	Ca HPO ₄	40		4			22:Ca
FOSFATOS THOMAS	Silicofosfatos de Calcio	10-20		< 2			30:Ca 2:Mg
FOSFORICA	Apatitas	20-38		< 1			

según IFDC (6), Hill (4), Velayutham (14), Mortvedt (10)

Como se vé, el fósforo del superfosfato simple, al igual que el del superfosfato triple, resulta en forma de fósforo monocálcico, compuesto de alta solubilidad en agua (75 - 95%) (Tabla 3).

Entre las ventajas del superfosfato simple se puede señalar:

- .1. El proceso de fabricación es sencillo y barato
- .2. Su efectividad agronómica es comparable a la de cualquier otra fuente fosfatada de alta solubilidad.
- .3. Además de P suministra dos elementos secundarios, Ca y S.

Su obvia desventaja es su relativa baja concentración de P_2O_5 (16 - 22%), lo cual encarece los costos de transporte, almacenamiento y aplicación.

Al igual que el TSP, el SSP se produce granulado para aplicación directa. Como materia prima en la fabricación de fertilizantes compuestos, se prefiere utilizarlo en polvo.

4.1.3. Fosfatos de Amonio (DAP y MAP).

Los fosfatos de amonio, particularmente el fosfato diamónico (DAP), son las fuentes fosfatadas más utilizadas actualmente en el mundo, debido principalmente a su alta concentración y a sus buenas propiedades físicas. Su consumo mundial a 1977 fue del orden de los cinco millones de toneladas de P_2O_5 por año.

Los grados comerciales más importantes son el 18-46-0 para el fosfato diamónico (DAP) y 15-55-0 o 10-50-0 para el fosfato monoamónico (MAP) (Tabla 3).

Tanto el MAP como el DAP son de muy alta solubilidad en agua (90% a 100%) y su higroscopicidad es relativamente baja, particularmente en el caso del fosfato monoamónico, cuya humedad relativa crítica es del 91,6% (Tabla 3).

Los fosfatos de amonio granulados son muy apetecidos, tanto para aplicación directa como para ser utilizados en la producción de abonos compuestos por el sistema "Bulk-blending"; también se utilizan en la fabricación de compuestos granulados, como materia prima, en cuyo caso se utilizan en polvo. En Colombia, su utilización para aplicación directa es ninguna. Más bien, en el pasado reciente fueron utilizados para la preparación de compuestos en grados de alta concentración por "Bulk-blending", sistema que indudablemente tiene grandes posibilidades en el mediano y largo plazo.

4.1.4. Consideraciones Agronómicas Sobre las Fuentes Fosfatadas de Alta Solubilidad.

Aunque el uso de fertilizantes fosfatados simples en Colombia es muy limitado (10% del total) y, por consiguiente, las posibilidades de escoger una u otra fuente fertilizante para ser utilizada de acuerdo a las condiciones de suelo y cultivo son mínimas, se piensa que resulta interesante, para los propósitos de este trabajo, resumir algunos conceptos básicos sobre el valor agronómico de las fuentes fosfatadas de alta solubilidad, como resultado de las más recientes evidencias experimentales.

Mortvedt (10) señala que los fosfatos solubles en agua se difunden más lejos en el suelo que los insolubles y, por lo tanto, un mayor volumen de suelo es afectado por los fosfatos solubles en agua. Esto aumenta la posibilidad de intercepción con las superficies radiculares, lo cual lleva a una más rápida y mayor respuesta a la fertilización fosfatada; ésto es muy importante en cultivos de ciclo corto.

Dentro del ámbito de los fertilizantes fosfatados de alta solubilidad, Sullivan (12) sostiene que su comportamiento agronómico es muy semejante dentro de un rango amplio de condiciones, siempre y cuando se utilicen correctamente, pero que bajo ciertas condiciones una fuente específica de P puede ser mejor que otra.

Las diferencias en los efectos agronómicos de la aplicación de superfosfatos y los fosfatos mono y diamónicos son causadas parcialmente por los iones acompañantes y también por las acentuadas diferencias existentes en el pH de las soluciones saturadas, generadas por la disolución de los gránulos (3).

Conforme se observa en la Tabla 3, los superfosfatos y el fosfato monoamónico generan una reacción fuertemente ácida al disolverse en el suelo (pH 1,0 a 3,5), en tanto que el fosfato diamónico desarrolla una reacción alcalina (pH 8). En estas circunstancias, el uso de superfosfatos y fosfato monoamónico conduciría a una mayor precipitación a formas menos solubles de Fe y Al en suelos ácidos, en tanto que el fosfato diamónico supondría una mayor intensidad de precipitación a fosfatos apatíticos de baja solubilidad en suelos alcalinos y calcáreos (12).

Se da por sentado que los fosfatos solubles en agua son más efectivos cuando se utilizan granulados que cuando se usan en polvo y cuando se aplican en forma localizada que cuando se aplican al voleo o mezclados con el suelo. El efecto de la granulación en la mejor eficiencia de estas fuentes se debe a que se disminuye la velocidad de disolución en razón de la menor superficie total de las partículas del fertilizante y la consecuente menor interacción con las partículas del suelo. El mismo efecto es causado por la aplicación localizada del fertilizante (3). El tamaño de gránulo óptimo para las fuentes de solubilidad en agua mayor del 75% se ha determinado entre 4- 6 mm de diámetro (13).

Para las condiciones de los suelos tropicales de la India, la reciente revisión de los resultados experimentales sobre el uso de fuentes fosfatadas publicada por Roy y sus colaboradores (11), arroja las siguientes conclusiones en lo tocante a los fertilizantes altamente solubles:

- .1. Los fertilizantes que contienen P casi totalmente soluble en agua, tales como el superfosfato triple y simple y los fosfatos de amonio son particularmente recomendables en áreas cuyos suelos son de reacción cercana a la neutralidad y para cultivos de ciclo corto.
- .2. Los fertilizantes de alta solubilidad se comportan tan eficientemente como los de mediana y lenta solubilidad en suelos ácidos.
- .3. Los materiales fosfatados solubles en agua son más eficientes cuando están granulados y cuando se aplican en forma localizada.

Para el caso de Colombia, no se conocen resultados experimentales con fuentes de máxima solubilidad como los fosfatos de amonio (DAP y MAP), pero de la revisión realizada por León y colaboradores (8) se desprende que el superfosfato triple fue en algunos casos superior o, por lo menos, igualmente eficiente que fuentes fosfatadas menos solubles (Escorias Thomas, Roca Fosfórica), aún en el caso de suelos ácidos, cuando se aplicaron a diferentes cultivos (pastos, maíz, arroz, maní). Resultados con tendencias análogas han sido reportados recientemente por León y Fenster (9) para suelos ácidos del área andina del trópico Latinoamericano y por Castro y García (1) para un suelo del páramo Boyacense en el cultivo de papa.

4.2. FUENTES FOSFATADAS MENOS SOLUBLES

4.2.1. Escorias Thomas.

Las Escorias Thomas, conocidas comercialmente en Colombia como Calfos, son un subproducto de la industria del acero. El rango de contenido de P_2O_5 oscila entre 10 y 20%.

Además de P, las Escorias contienen Si, Ca, Fe. Los rangos típicos de composición son:

P_2O_5	15 - 20%
SiO_2	4 - 6%
CaO	42 - 50%
MnO	3 - 6%
Al_2O_3	0,5 - 2,5%
MgO	2 - 4%
Fe	9 - 13%

Es un típico fertilizante de baja solubilidad. Su solubilidad en agua es inferior al 2%, pero la solubilidad de su P en ácido cítrico al 2% oscila entre 85% y 98% en Escorias de buena calidad agronómica.

El P_2O_5 del Calfos está principalmente en forma de silicofosfatos, tales como la silicocarnotita ($5CaO.P_2O_5.2SiO_2$).

Las Escorias son un fertilizante muy apetecido, particularmente para su aplicación en suelos ácidos, ya que su alto contenido de CaO las convierte en un buen material encalante que permite controlar la acidez y suplir con Ca y, aún, Mg a la planta.

El consumo mundial de este producto fue de 1,2 millones de toneladas de P_2O_5 durante 1973. Sin embargo, su producción ha disminuído recientemente debido a cambios en los procesos industriales del acero y para 1977 la producción mundial tan solo fue de 572.000 toneladas de P_2O_5 , o sea menos de la mitad de la producción mundial de 1973.

En Colombia, Acerías "Paz del Río" produce entre 30.000 y 50.000 T/año de Calfos, lo cual significa 4.200 a 7.000 T/año de P_2O_5 , cifra .

ésta muy pequeña en relación a la demanda nacional de P_2O_5 actual (alrededor de las 70.000 T/año) (ICA). De todas maneras, el Calfos es el fertilizante fosfatado simple más usado en el país.

4.2.2. Fosfato Bicálcico.

Esta fuente fertilizante es de escasa utilización como fertilizante simple para aplicación directa, pero se relaciona en este trabajo por cuanto, de una parte, es la típica fuente fertilizante de mediana solubilidad y, por otra, es un constituyente de los nitrofosfatos en ciertos fertilizantes complejos granulados, como resultado del tratamiento de la roca fosfórica con ácido nítrico.

Su contenido de P_2O_5 (Tabla 3) es de alrededor del 40%, del cual solamente un 4% es soluble en agua y el resto lo es en citrato de amonio neutro. Sin embargo, en el proceso de producción de los nitrofosfatos, solamente la mitad del P_2O_5 queda en forma de fosfato bicálcico y la otra mitad queda en forma de fosfato monoamónico, cuyo P_2O_5 es casi totalmente soluble en agua.

El fosfato bicálcico es utilizado en pequeña escala, para aplicación directa en Europa.

4.2.3. Roca Fosfórica.

La mayoría de las rocas fosfóricas comerciales contienen apatita como fuente primaria y, usualmente, única del fósforo. La fórmula de la fluorapatita pura es $Ca_{10}(PO_4)_6F_2$. Sin embargo, la fluorapatita pura es poco frecuente encontrarla, puesto que la estructura de la apatita sufre muchas sustituciones, de las cuales las más comunes son: Mg, Sr y Na por Ca; OH y Cl por F; As y V por P y $CO_3 + F$ por PO_4 .

Las rocas fosfóricas se pueden clasificar de acuerdo a su origen en sedimentarias, metamórficas o ígneas. Alrededor del 85% de las rocas

fosfóricas usadas comercialmente en el mundo son de origen sedimentario; el resto son principalmente ígneas.

La producción y uso comercial de roca fosfórica comenzó en el siglo XIX. El primer registro estadístico de producción fue de 500 toneladas en Inglaterra en 1847. Desde entonces, la producción mundial de roca fosfórica se ha incrementado notablemente hasta llegar a ser en 1977 de alrededor de 116 millones de toneladas y se estima que en el año 2.000 la producción alcanzará 300 millones de toneladas.

Aunque la roca fosfórica tiene muchos usos, más del 85% de la producción mundial se utiliza como materia prima en la industria de fertilizantes.

Del total de la producción mundial, sólo una pequeña proporción de la roca fosfórica es utilizada para aplicación directa. De acuerdo con la FAO, en 1976 el consumo de roca para aplicación directa fue estimado en 1,2 millones de toneladas métricas en términos de P_2O_5 lo cual representa un 5% del consumo total de P_2O_5 (24 millones de toneladas métricas). Un 70% de esta cifra corresponde a la URSS. En Colombia, su consumo para aplicación directa es aún muy bajo, pues en la actualidad se estima en 600 - 1.000 TM/año (P_2O_5).

Conforme se indica en la Tabla 3, la concentración de P_2O_5 en la roca fosfórica varía muy ampliamente (20-38%). Las rocas de Colombia tienen contenidos de 20,9% de P_2O_5 (Huila) y 19,8 P_2O_5 (Pesca), cifras relativamente bajas en comparación a los contenidos del 30% o más que tienen las rocas del Perú (Sechura), Túnez (Gafsa) o Estados Unidos (Florida, Tennessee). De igual manera, la reactividad de las diferentes rocas, determinada mediante la proporción de P_2O_5 soluble en citrato, varía acentuadamente, según se aprecia en la Tabla 4.

TABLA 4. Contenido de P_2O_5 , reactividad del P y eficiencia agronómica relativa de algunas rocas fosfóricas.*

Roca Fosfórica	P_2O_5 Total %	Solubilidad Absoluta en citrato (%)	Eficiencia agronómica relativa (%)**
Huila, Colombia	20,9	12,2	
Pesca, Colombia	19,8	9,7	
Sechura, Perú	30,0	14,9	
Gafsa, Túnez	30,0	18,5	
North Carolina (Estados Unidos)	29,9	19,8	84
Central Florida (Estados Unidos)	32,7	10,1	37
Tennessee (Estados Unidos)	30,1	5,1	10

* Según IFDC (6)

** Calculada para arroz, partiendo de una base 100 para la respuesta obtenida con aplicación de superfosfato triple.

4.2.4. Consideraciones Agronómicas sobre las fuentes Fosfatadas Menos Solubles.

Varios experimentos para comparar la eficiencia de los fertilizantes fosfatados menos solubles con la de las fuentes de alta solubilidad se han llevado a cabo, tanto bajo condiciones de campo como bajo condiciones de invernadero (3).

Los resultados han sido muy diversos y, con frecuencia, erráticos, dependiendo también de la alta variabilidad de las condiciones bajo las cuales se llevaron a cabo los ensayos.

En general, el comportamiento de las fuentes fosfatadas menos solubles depende de:

- .1. El grado de reactividad del P en el fertilizante
- .2. El tamaño de partícula del fertilizante
- .3. Las características del suelo, particularmente en lo tocante a su reacción (pH), a la naturaleza mineralógica y contenido de materia orgánica.
- .4. La especie cultivada, en lo tocante a período vegetativo, sistema radicular, habilidad para utilizar el fósforo y capacidad genética de producción.
- .5. El clima, con sus variables precipitación pluvial y temperatura
- .6. El sistema de aplicación del fertilizante
- .7. La época de aplicación del fertilizante.

A continuación se resumen algunas conclusiones y tendencias observadas en lo que respecta al comportamiento agronómico de las fuentes de P menos solubles.

Cooke (3) sostiene que la roca fosfórica es una fuente de P barata, pero que únicamente es efectiva en suelos ácidos y su acción es retardada.

Así mismo, las rocas fosfóricas son más efectivas bajo condiciones de clima cálido, en suelos húmedos y en cultivos de ciclo vegetativo largo. Además, hay acuerdo en que deben ser aplicadas en polvo, bien mezcladas con el suelo antes de la siembra (6).

Sin embargo, Khasawneh y Doll (7) en su reciente revisión sobre el uso de la roca fosfórica para aplicación directa, sostienen que aún cuando las condiciones son favorables a la efectividad de la roca fosfórica, los máximos rendimientos obtenidos son casi siempre inferiores a aquellos obtenidos con aplicación de fuentes de P altamente solubles.

Los mismos autores señalan que los resultados experimentales han sido erráticos y algunas veces contradictorios, lo cual ha causado considerable confusión y grandes diferencias de opinión en torno al valor agronómico de la roca fosfórica. Sostienen que lo anterior se explica por los múltiples factores que inciden en la disolución de la roca, de lo cual depende su efectividad agronómica, y que de ellos los principales son:

- .1. Características mineralógicas de la roca
- .2. pH del suelo
- .3. Concentración de P y Ca en la solución del suelo
- .4. Capacidad del cultivo para utilizar P a partir de la roca fosfórica.

Indudablemente, la principal ventaja de la roca fosfórica es su bajo costo. Así, cuando los dos productos deben ser importados, la roca puede costar la mitad de lo que cuesta el superfosfato triple, pero

cuando hay yacimientos de roca en el país, la diferencia en costo puede ser más grande.

Entre sus principales desventajas se señalan:

- .1. La incertidumbre sobre su comportamiento agronómico
- .2. Su bajo contenido de P_2O_5
- .3. Las dificultades que ofrece el material en polvo para su manejo
- .4. Los beneficios de su aplicación no son inmediatos.

Roy y colaboradores (11) concluyen con base en resultados experimentales obtenidos en suelos tropicales de la India, que ciertos tipos de roca fosfórica ofrecen buenas perspectivas en la fertilización de arroz y leguminosas en suelos ácidos, siempre y cuando la aplicación del material finamente dividido se haga con suficiente antelación a la siembra.

Se puede decir que los resultados experimentales obtenidos con la roca fosfórica en Colombia (8,9), encajan dentro de los patrones y tendencias anteriormente expuestos. Esos mismos trabajos, sin embargo, han demostrado que otra fuente de baja solubilidad como son las Escorias Thomas (Calfos) es igual o, en algunos casos, más eficiente que el superfosfato triple en una amplia gama de cultivos.

Finalmente, Khasawneh y Doll (7) en su reciente monografía sobre el uso de la roca fosfórica para aplicación directa, concluyen que puede ser una fuente de P apropiada para sistemas de agricultura extensiva con rendimientos limitados por factores diversos, pero inapropiada para sistemas agrícolas intensivos de altos rendimientos en ciclo corto.

En lo que concierne a las fuentes fosfatadas de mediana solubilidad, la información local es relativamente escasa. Sin embargo, de las investigaciones realizadas en la India por Roy y otros (11) se concluye:

- .1. Los fertilizantes fosfatados parcialmente solubles en agua (más del 30% de solubilidad en agua) son tan buenos como las fuentes de alta solubilidad en suelos ácidos. En suelos neutros, una solubilidad en agua, cercana al 50%, parece ser suficiente.
- .2. En general, un rango de solubilidad en agua de 30% a 50% del contenido total de P en el fertilizante, podría ser adecuada para la mayoría de los cultivos y suelos.

De otra parte, y aunque algunos autores norteamericanos sostienen que cuando un fertilizante tiene la mitad de su P soluble en agua el tamaño del gránulo no es importante, otros sostienen que el tamaño ideal de la granulación para este tipo de fosfatos está entre 1 y 3 mm de diámetro (3, 15).

5. LOS FERTILIZANTES POTASICOS

En la mayoría de los países donde la productividad agrícola se ha incrementado mediante el uso de fertilizantes, el primer nutrimento aplicado fue el fósforo y después el nitrógeno, pero con mucha frecuencia las reservas de potasio en los suelos han sido suficientes para mantener una producción alta durante años; tal ha sido el caso de Colombia, excepción hecha de algunas de sus regiones. Sin embargo, tarde o temprano el potasio se torna deficiente y se hace necesario el uso de fertilizantes potásicos.

El potasio es el séptimo elemento en abundancia en la corteza terrestre y participa con un 2,35% en su composición. El potasio no

ocurre libre en la naturaleza debido a su alta reactividad y fuerte afinidad por otros elementos.

Los yacimientos minerales de potasio son usualmente el resultado de la evaporación de aguas de mar a partir de porciones de agua que por circunstancias geológicas fueron aisladas del océano y en las cuales las sales disueltas precipitan en forma gradual. Las sales cristalizan en proporción inversa a su solubilidad. Normalmente, el orden de sedimentación es: Carbonato de calcio, carbonato de magnesio, sulfato de calcio, cloruro de sodio, sulfato de magnesio, sulfato de calcio, cloruro de sodio, sulfato de magnesio, cloruro de magnesio y finalmente cloruro de potasio.

El mineral potásico más importante es la silvita, la cual normalmente se la encuentra mezclada con el cloruro de sodio; la mezcla se denomina silvinita.

Las reservas potásicas mundiales son enormes y suficientes para satisfacer las necesidades durante muchos siglos. Las reservas de potasio a 1978 se estiman en 12 mil millones de toneladas de K_2O . La posibilidad de obtener K a partir del agua de mar implica recursos casi ilimitados pero, desde luego, más costosos. Cantidades enormes de potasio existen en Canadá y la URSS, países que en conjunto representan más de la mitad de las reservas mundiales. El resto de reservas están distribuidas entre los Estados Unidos, Europa, Medio Oriente, Tailandia, Zaire y Sur América.

El consumo mundial de fertilizantes potásicos se ha incrementado a una rata anual del 6% durante los pasados 20 años. En 1977, el consumo fue de 23,1 millones de toneladas de K_2O , de las cuales los Estados Unidos consumen 5,5 millones de toneladas anuales y América Latina 1,1 millones de toneladas. Colombia se estima que consume actualmente unas 70.000 TM/año de K_2O , de las cuales un 70% corresponde al uso de compuestos y un 30% a simples, principalmente KCl.

Las características de las dos fuentes fertilizantes potásicas más importantes se presentan en la Tabla 5.

TABLA 5. Características generales de los fertilizantes potásicos más importantes. *

Fertilizante	Fórmula	% K_2O	Solubilidad g/100 g de agua 20°C	Humedad Relativa Crítica (20°C)
Cloruro de Potasio	KCl	60	35	84,0
Sulfato de Potasio	K_2SO_4	50 16%S	12	96,3

* Según IFDC (6).

5.1. CLORURO DE POTASIO

El cloruro de potasio, también llamado muriato de potasio, es sin duda la fuente fertilizante potásica más importante, pues provee casi todo el potasio utilizado en la mayoría de los países (90 - 95%).

El cloruro potásico comercial, tiene normalmente una pureza del 95% y su contenido de K_2O es del 60%. Su estado es cristalino y su color blanco o rosado. El tamaño de partícula ha sido principalmente fino, pero en la actualidad la tendencia es a la utilización de KCl granular, ya que facilita su aplicación y su utilización para la fabricación de fertilizantes compuestos por "Bulk-blending".

El cloruro potásico es fácilmente soluble en agua y medianamente higroscópico. En general, es un abono que conviene a todos los suelos y a la mayoría de los cultivos, excepto a aquellos sensibles al cloro, como el tabaco, vid y, en algunos casos, papa y tomate.

El KCl se aplica normalmente al momento de la siembra, pero se puede aplicar con mucha anticipación sin mayor riesgo de pérdidas en razón de la naturaleza catiónica del K. Sin embargo, en algunos casos de suelos con baja CIC y en regiones de alta precipitación pluvial, puede ser necesario hacer aplicaciones fraccionadas del fertilizante potásico, a fin de incrementar su eficiencia, que podría estar menguada a causa de las pérdidas de potasio por lixiviación.

5.2. SULFATO DE POTASIO

El sulfato potásico puro se presenta en forma de cristales rómbicos de color blanco. El producto comercial utilizado para fertilizante contiene generalmente entre un 48% y un 52% de K_2O .

El sulfato de potasio es soluble en agua (Tabla 5); esta solubilidad, que es aproximadamente igual a una tercera parte de la del cloruro potásico, aumenta ligeramente con la temperatura. Es un producto con muy poca higroscopicidad y es una sal muy estable.

El sulfato potásico se prefiere para fertilizar ciertos cultivos en los cuales la calidad puede ser afectada adversamente por el cloro, tales como el tabaco, papa, tomate y vid. Su uso también se recomienda en zonas donde hay acumulación de cloruros (suelos salinos) y en suelos deficientes en azufre.

6. OTRAS PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DE LOS FERTILIZANTES

Las propiedades físicas de un fertilizante son de considerable importancia, tanto desde el punto de vista de su efectividad agronómica, como en lo relativo a sus satisfactorias condiciones de manejo, transporte y almacenamiento. Una buena cantidad de problemas que se presentan con los fertilizantes, tales como compactación, segregación y excesiva higroscopicidad son el resultado de inadecuadas propiedades físicas. Generalmente, las técnicas de producción incluyen varios tratamientos para generar condiciones físicas favorables en los fertilizantes.

En este capítulo se discutirá brevemente sobre la importancia y los efectos de las más importantes propiedades físicas y de algunas químicas de los abonos.

6.1. TAMAÑO DE PARTICULA

La determinación del tamaño de partículas es importante y aplicada con frecuencia en los análisis de rutina por los laboratorios de control de calidad de las industrias productoras de fertilizantes. Sin embargo, su importancia varía de un producto a otro.

Así, ya se ha dicho que los materiales fertilizantes con muy baja solubilidad en agua deben tener un tamaño de partícula fino para asegurar su disolución en el suelo y su adecuada utilización por las plantas. En este caso, estarían la roca fosfórica, las Escorias Thomas, el fosfato bicálcico, los fosfatos térmicos, las cales y las dolomitas. La finura requerida por estos materiales produce polvosidad que dificulta su manejo.

La importancia del tamaño de partícula en los fertilizantes de alta solubilidad radica en el hecho de que la rata de disolución está relacionada inversamente con el tamaño de partícula, lo cual es fundamental cuando se trata de fabricar fertilizantes nitrogenados de lenta liberación. De otra parte, está demostrado que un tamaño de partícula superior a 5 mm conduce a una mejor eficiencia de los fertilizantes fosfatos de alta solubilidad, tales como los superfosfatos y los fosfatos de amonio, cuando son aplicados a suelos altamente fijadores de fosfatos.

Antes de 1950, la mayoría de los materiales fertilizantes se producían en polvo o cristales finos. Como resultado, los fertilizantes tenían un manejo engorroso y eran muy susceptibles a sufrir compactación durante su almacenamiento, lo cual significaba un trabajo largo y tedioso para romper los agregados y dejar el producto en condiciones de ser aplicado. El advenimiento y generalización de la granulación ha mejorado notablemente las condiciones de manejo y almacenamiento de los fertilizantes.

Así mismo, la granulación ha hecho posible las aplicaciones aéreas de los fertilizantes y la aplicación del sistema "Bulk-blending" en la preparación de mezclas de fertilizantes granulados, tecnología que disminuye la tendencia a la segregación.

6.2. SEGREGACION

La segregación ocurre cuando las partículas o gránulos individuales de un fertilizante difieren en propiedades físicas, en grado tal que responden diferentemente a las alteraciones mecánicas causadas durante los procesos de manejo, almacenamiento y transporte de los fertilizantes. Como resultado, las partículas de propiedades físicas similares tienden a congregarse y, por consiguiente, a eliminar la homogeneidad de la mezcla fertilizante.

Si todas las partículas de un fertilizante fueran físicamente idénticas, ningún nivel de manejo afectaría su homogeneidad. Se ha demostrado que la característica física que más influye en la tendencia a la segregación es el tamaño de partícula. Las partículas de tamaños diferentes tienden a segregarse. Dentro de los rangos normales de las fuentes fertilizantes, ni la densidad ni la forma de las partículas influye significativamente sobre la tendencia a la segregación.

Si todas las partículas de un fertilizante tuvieran idéntica composición química pero diferentes tamaños, se produciría segregación física, pero ello no afectaría la uniformidad química del abono. Esta condición es la que prevalece en los fertilizantes complejos bien granulados y, por ello, en este tipo de fertilizantes, la segregación no es un problema.

La segregación es un problema serio cuando se preparan fertilizantes compuestos mediante mezcla de fuentes con diferente tamaño de partículas y, desde luego, con partículas que difieren en su composición química. Por consiguiente, cualquier nivel de segregación en los ingredientes de la mezcla resultará en variaciones químicas significativas.

El uso del sistema "Bulk-blending" a partir de 1960, ha permitido llevar a un mínimo los niveles de segregación en los fertilizantes compuestos resultantes de mezclas físicas.

"Bulk-blending" es una tecnología para obtener mezclas fertilizantes en seco y en la cual los componentes de la mezcla son completamente granulados y de aproximadamente el mismo tamaño de partícula. Las mezclas así obtenidas pueden ser distribuidas a granel o pueden ser empacadas para su mercadeo.

Los materiales utilizados pueden ser fertilizantes simples, compuestos o una combinación de los dos. Los fertilizantes más comunes para

"Bulk-blending" son los fosfatos monoamónico y diamónico, el superfosfato triple, cloruro de potasio, nitrato de amonio, úrea y sulfato de amonio.

El sistema "Bulk-blending" ha ganado muy rápidamente popularidad en los Estados Unidos. En 1976, una encuesta realizada por el TVA mostró que cerca de un 60% de los fertilizantes compuestos en los Estados Unidos eran fabricados mediante esta tecnología. Sin embargo, las condiciones que hacen popular el sistema "Bulk-blending" en Estados Unidos, generalmente no existen en otros países.

6.3. CONSISTENCIA DEL GRANULO

Los gránulos del fertilizante deben tener suficiente estabilidad mecánica con el objeto de mantener un comportamiento normal durante las labores de manipuleo sin que los gránulos se rompan y formen polvo.

A efecto de lo anterior, se conocen tres distintos tipos de consistencia mecánica, reconocidos como deseables, a saber: Resistencia al rompimiento; resistencia a la abrasión; resistencia al impacto

6.4. DENSIDAD APARENTE

La densidad aparente se define como el peso de un fertilizante por unidad de volumen a granel. La determinación de esta característica es importante para calcular el tamaño de los empaques, determinar la capacidad de almacenamiento en bodegas o vehículos de transporte y, algunas veces, para la calibración de dosificadores volumétricos de abono.

En la Tabla 6 se compilan los rangos de densidad aparente de algunos productos fertilizantes.

TABLA 6. Densidades aparentes típicas de algunos fertilizantes.*

PRODUCTOS NO GRANULADOS	kg/ m ³
Roca Fosfórica	1.360 - 1.520
Superfosfato Simple	960 - 1.120
Superfosfato Triple	880 - 1.040
Cal Agrícola	1.280 - 1.520
Sulfato de Amonio	1.020
Cloruro de Potasio	1.140 - 1.200
Fosfato Monoamónico	880 - 910
PRODUCTOS GRANULADOS	
Nitrato de Amonio "prill"	720
Urea "prill"	740
Sulfato de Amonio, cristales gruesos	1.010 - 1.060
Superfosfato Simple	1.120
Superfosfato Triple	1.040 - 1.200
Fosfato Diamónico	960 - 1.040
Fosfato Monoamónico	960 - 1.040
Cloruro de Potasio (Granular)	1.040
Sulfato de Potasio	1.180
Sulfato doble de Potasio y Magnesio.	1.520 - 1.570

* Según IFDC (6)

6.5. HUMEDAD RELATIVA CRITICA

La humedad relativa crítica de un fertilizante, se define como la humedad de la atmósfera por encima de la cual el material absorbe espontáneamente humedad. Todas las sales solubles, incluidas las sales fertilizantes, tienen humedades críticas características, algunas de cuyas cifras se han incluido en las Tablas 2, 3 y 5.

Para un material fertilizante es altamente deseable que tenga una alta humedad relativa crítica, ya que ello permitirá que tal material pueda ser expuesto y manejado bajo altos niveles de humedad atmosférica sin que el fertilizante se humedezca y pierda fluidez y sin que el abono gane humedad y más tarde se compacte.

La humedad relativa crítica de un fertilizante, determina en gran proporción el tipo de empaque (grado de protección a la humedad) requerido en cada caso y es también determinante del nivel de manejo y almacenamiento a granel a que puede ser sometido un fertilizante dado.

Sin embargo, no se debe sobreestimar la importancia de esta propiedad. Por ejemplo, algunas veces la humedad relativa crítica suele interpretarse erróneamente como una medida universal de la tendencia a la compactación de un fertilizante. Actualmente, si un fertilizante es empacado en bolsas a prueba de humedad o si la pila de almacenamiento a granel es protegida con una cubierta plástica, la humedad atmosférica es efectivamente excluida y la humedad relativa crítica será de poca importancia. En estas circunstancias, la compactación, cuando ocurre, estará ligada a otros factores.

6.6. COMPACTACION

Durante el período comprendido entre su producción y la aplicación al suelo, los fertilizantes deben ser almacenados a granel o en empaques.

El período de almacenamiento varía considerablemente, desde menos de un mes hasta un año o más. Es esencial que, durante este período, el material fertilizante permanezca completamente suelto o, cuando más, que la compactación o tendencia a agregarse unas con otras las partículas, sea tan mínima que con el manejo o manipulación normal del fertilizante se restituya la condición suelta original.

Uno de los problemas más frecuentes en la industria de los fertilizantes químicos es la compactación. Para la mayoría de estos fertilizantes, las causas de dicho fenómeno son el desarrollo de enlaces cristalinos entre las partículas o gránulos del material. Estos cristales se desarrollan durante el período de almacenamiento, tanto como resultado de reacciones químicas internas como de efectos térmicos que producen la precipitación de cristales a partir de pequeñas cantidades de soluciones salinas presentes en el material fertilizante.

Son varios los factores que determinan la compactación. Entre otros se citan: El tamaño de la partícula; la consistencia de los gránulos; el contenido de humedad del material; la temperatura de almacenamiento, y la humedad crítica de los materiales. Para evitar o atenuar la compactación, las industrias de fertilizantes utilizan tratamientos anticompactación, tales como: Secamiento o curado, y acondicionadores.

6.7. COMPATIBILIDAD QUIMICA EN MEZCLAS

Cuando se mezclan fuentes fertilizantes simples, el primer aspecto a considerar es que los ingredientes de la mezcla sean químicamente compatibles. Afortunadamente, para el caso de las fuentes fertilizantes principales, solamente hay unas pocas combinaciones que pueden tener problemas de incompatibilidad.

La incompatibilidad química de los materiales fertilizantes se puede generar por las siguientes causas:

- .1. Desarrollo de calor en la mezcla
- .2. Desarrollo de humedad
- .3. Producción de gas
- .4. Producción de compactación
- .5. Aumento de la higroscopicidad en la mezcla.

La compatibilidad química de algunos materiales fertilizantes comúnmente utilizados en mezclas se muestra en la Figura 3. Como se ve, la única combinación completamente incompatible es nitrato de amonio con úrea, debido a que la humedad crítica de la mezcla disminuye hasta un nivel sumamente bajo como es 18%, lo cual hace imposible el manejo de la mezcla aún a niveles de mínima humedad atmosférica. No obstante, las combinaciones de úrea con los superfosfatos que aparecen en la Figura 3 con compatibilidad limitada, se pueden tornar completamente incompatibles, dependiendo del contenido de agua del superfosfato. La causa de esta incompatibilidad es una reacción química entre la úrea y el fosfato monocálcico monohidratado que es el principal constituyente del superfosfato; esta reacción libera agua de hidratación y provoca una pegajosidad severa. Las mezclas del fosfato diamónico y los superfosfatos son de compatibilidad limitada debido a que en un almacenamiento prolongado del producto empacado se generan reacciones que conducen a compactación de la mezcla.

6.8. ACIDEZ Y BASICIDAD DE LOS FERTILIZANTES

El uso de fertilizantes en agricultura tiende con frecuencia a cambiar el pH del suelo. La acidez o basicidad fisiológica de un fertilizante es una medida del grado en que la acidez o basicidad del suelo se cambia cuando el material se aplica a un cultivo. Esta propiedad también suele denominarse acidez o basicidad potencial, residual o equivalente.

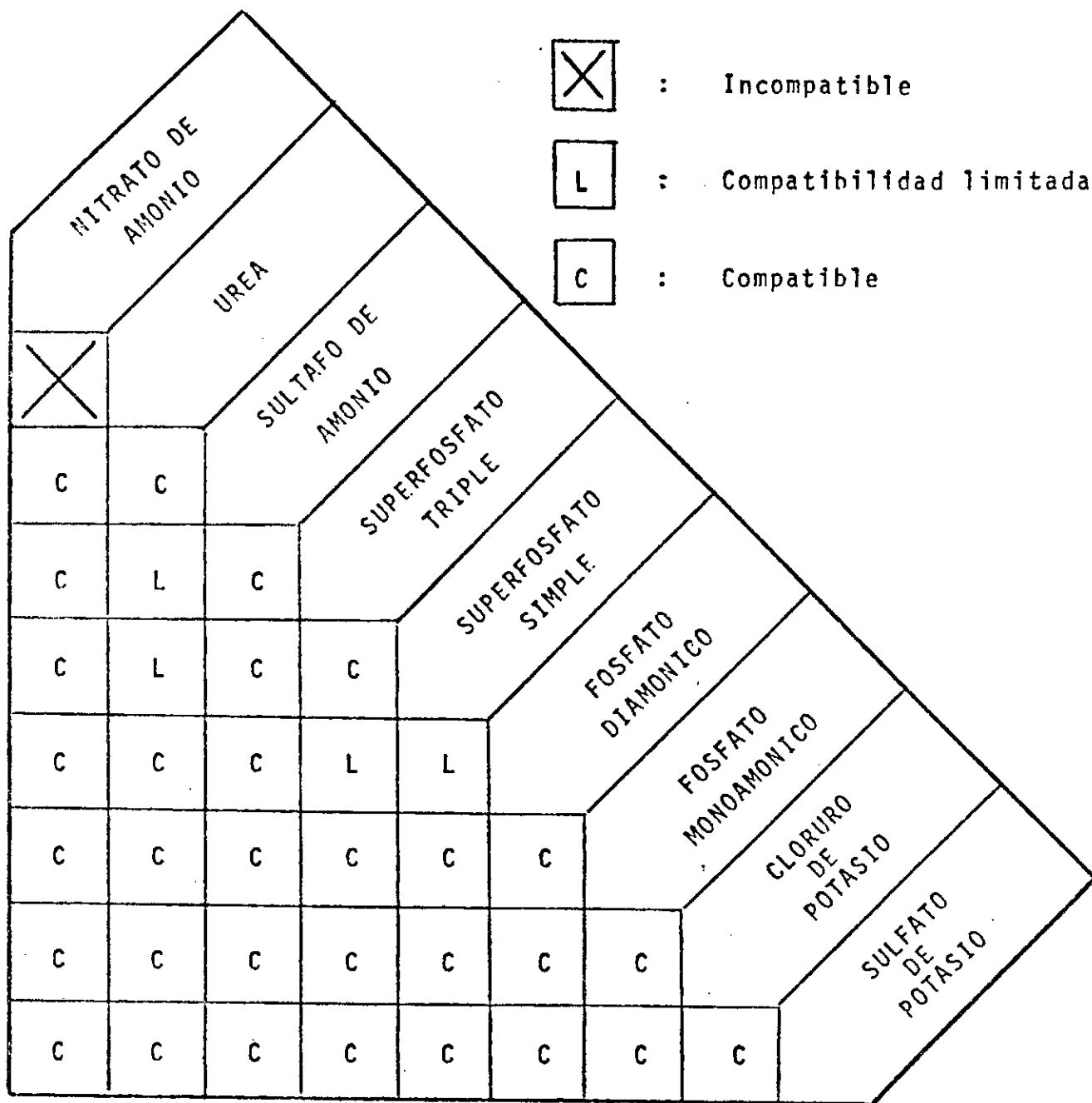


Figura 3. Compatibilidad química de algunos materiales fertilizantes. Según IFDC (6)

La acidez fisiológica de un fertilizante dado se expresa comúnmente en términos del peso de carbonato de calcio que podría neutralizar el efecto de la acidez causada por el fertilizante en el suelo. De la misma manera, la basicidad fisiológica se expresa en términos del peso de carbonato de calcio que podría causar un efecto similar en el suelo.

La reacción fisiológica de un fertilizante no se debe confundir con su reacción química. Así, por ejemplo, la úrea hidroliza en el suelo para dar amonio y esa reacción química eleva el pH en las proximidades del gránulo fertilizante hasta nueve o más. Sin embargo, el amonio es oxidado a nitrato y esta reacción deja residuos acidificantes en el suelo. Por ello, todos los fertilizantes nitrogenados son clasificados como formadores de ácido, aunque sólo la mitad del N se asume, para efectos agronómicos, como formador de ácido.

El efecto de una sola aplicación anual de fertilizante sobre el pH del suelo a dosis normales es muy pequeño y, usualmente, despreciable; sin embargo, el efecto acumulativo de aplicaciones sucesivas durante muchos años, pueden acidificar el suelo hasta el punto de que la producción agrícola sea seriamente afectada, a menos que la acidez generada sea neutralizada mediante la aplicación de calces. De otra parte, el uso de fertilizantes formadores de ácido en suelos alcalinos o calcáreos puede ser benéfico.

En la Tabla 7 se listan los equivalentes de acidez o basicidad de algunos materiales fertilizantes. Como se ve, el sulfato de amonio, el cloruro de amonio y los fosfatos de amonio son fertilizantes fuertemente formadores de ácido, debido a que el N está acompañado por un anión formador de ácido. En cambio, la úrea y el nitrato de amonio generan menor acidez debido a que ella únicamente se debe al contenido de N. Los nitratos de sodio, potasio y calcio, son básicos en razón a que la acidez generada por el N es neutralizada y superada por la basicidad generada por el catión acompañante.

TABLA 7. Equivalentes de acidez o basicidad e índices de salinidad de algunos fertilizantes.*

MATERIAL FERTILIZANTE COMERCIAL	EQUIVALENTE DE ACIDEZ (-) O BASICIDAD (+) Kg de CaCO ₃ /100 Kg de Material	INDICE DE SALINIDAD Nitrato de Sodio = 100
Urea 46% N	- 84	75,4
Nitrato de Amonio 35% N	- 63	104,7
Sulfato de Amonio 21% N	-112	69,0
Fosfato Monoamónico 12% N; 61% P ₂ O ₅	- 65	29,9
Fosfato Diamónico 18% N; 46% P ₂ O ₅	- 64	34,2
Fosfato Dicálcico 40% P ₂ O ₅	+ 37	
Nitrato de Sodio 16% N	+ 29	100,0
Superfosfato 16-48% P ₂ O ₅	0	7,8 a 10,1
Roca Fosfórica 33% P ₂ O ₅	+ 56	
Cloruro de Potasio 60% K ₂ O	0	116,3
Sulfato de Potasio 50% K ₂ O	0	46,1
Sulfato Doble de Potasio y Magnesio	0	43,2
Sulfato de Calcio (Yeso)	0	8,1
Cales Calcíticas	+ 80 a + 95	4,7
Cales Dolomíticas	+ 90 a +100	0,8
Azufre 100% S	-312	

* Según IFDC (6).

6.9. INDICE DE SALINIDAD

Es bien conocido el hecho de que altas concentraciones de sales solubles en la solución del suelo puede causar daño a las plantas o impedir la normal germinación de las semillas. La gravedad del daño se cree que está relacionada con la presión osmótica de la solución del suelo.

Bajo condiciones normales, un fertilizante distribuído uniformemente, a la dosis normal de aplicación, no genera concentraciones lo suficientemente altas para causar daño a las plantas. Sin embargo, las aplicaciones localizadas en contacto con la semilla o en bandas cerca de la semilla o cerca a las plantas en crecimiento puede causar daño, dependiendo de la localización, dosis de aplicación y estado de humedad del suelo.

El índice de salinidad de un fertilizante es una cifra indicativa del grado en el cual una cantidad dada del fertilizante incrementa la presión osmótica de la solución del suelo. La Tabla 7 recoge los índices de salinidad estimados para las fuentes fertilizantes más importantes.

De acuerdo con lo anterior, el índice de salinidad tal y como se expresa en la Tabla 7, se interpreta como el incremento relativo en la presión osmótica de la solución del suelo, en comparación con el aumento obtenido con la aplicación de un peso igual de nitrato de sodio.

Debe quedar claro, sin embargo, que los índices de salinidad son válidos únicamente para comparar un fertilizante con otro; la cantidad de fertilizante que puede ser aplicada sin peligro de daño al cultivo depende, además, del índice de salinidad, del sistema de aplicación del abono, tipo de suelo, especie cultivada y estado de humedad del suelo.

De otra parte, hay que tener en cuenta que el daño al cultivo puede ser causado por causas diferentes a la concentración de sales. Así, por ejemplo, la liberación de amoníaco a partir de la úrea o del fosfato diamónico en el suelo adyacente a las semillas, puede generar un efecto fitotóxico.

El índice de salinidad es particularmente útil para seleccionar fertilizantes que deben ser aplicados en contacto o muy cerca de la semilla. Con frecuencia, este sistema de aplicación resulta en una máxima eficiencia agronómica, siempre y cuando el fertilizante utilizado no cause daño a la planta.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. CASTRO, S.A.; GARCIA, O.E. 1979. Influencia del fósforo hidrófilo y citrosoluble de los abonos fosfóricos en la producción de papa. Tunja, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Facultad de Agronomía, 1979. 85p. (Tesis de Grado de Ingeniero Agrónomo).
2. COLLINGS, H.G. Fertilizantes Comerciales, Sus Fuentes y Uso. Barcelona, Salvat Editores, S.A., 1958. 710p.
3. COOKE, G.W. The Control of Soil Fertility. London, Crosby Lockwood, Ltd., 1967. 526p.
4. HILL, J. High-analysis ammonium phosphate fertilizers: The least cost source of N and P_2O_5 . World Crops 52 (2):128-132. 1979.

5. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. Estado actual de la fertilidad de los suelos colombianos y estimativos sobre las necesidades de fertilizantes para varios cultivos. Tibaitatá, Programa Nacional de Suelos, 1980. 118p. (Documento de Trabajo No. 85).
6. INTERNATIONAL FERTILIZER DEVELOPMENT CENTER. Fertilizer Manual. Muscle Shoals, IFDC. 1979. 353p.
7. KHASAWNEH, F.E. and DOLL, E.C. The use of phosphate rock for direct application to soils. *Advances in Agronomy* 30: 159-206. 1978.
8. LEON, L.A. et al. Investigaciones realizadas en Colombia sobre el uso de diversas fuentes de fósforo como fertilizante. Bogotá, Instituto Colombiano Agropecuario, Programa Nacional de Suelos, 1978. 31p.
9. _____ and FENSTER, W.E. Management of phosphorus in the Andean Countries of Tropical Latin America. *Phosphorus in Agriculture* 33 (76): 57-73. 1979.
10. MORTVEDT, J.V. Desarrollos recientes de la tecnología de fertilizantes fosfatados. *Suelos Ecuatoriales* 6(1): 389-407. 1974.
11. ROY, R.N. et al. Fertilizer use research in India. *Phosphorus in Agriculture* 32 (74): 15-25. 1978.
12. SULLIVAN, L.J. Mono-ammonium Phosphate (MAP) versus other sources. Tulsa, Agrico Chemical Company, 1978. 4p.

13. SUAREZ, F.D.A. Efecto del tamaño de gránulo en la eficiencia del superfosfato concentrado en tres suelos fijadores de fósforo. Turrialba, Costa Rica, IICA-OEA, CTEI, 1971. 89p. (Tesis de grado de M.Sc).
14. VELAYUTHAM, M. The problem of phosphate fixation by minerals and soil colloids. Phosphorus in Agriculture 34(77): 1-8. 1980.
15. VAN BURG, P.F. Agricultural evaluation of nitro phosphates. London, The Fertilizer Society, 1963. 64p.

PERSPECTIVAS PARA EL USO DE NUEVOS FERTILIZANTES EN COLOMBIA

Jairo A. Gómez L.*

1. INTRODUCCION

Son muchos los abonos que se usan actualmente en el mundo, como portadores de nutrimentos para las plantas y como una de las herramientas más poderosas para aumentar la producción de alimentos.

Sin embargo, de los abonos no se obtiene todo su potencial, pues su empleo generalmente no va acompañado de los medios necesarios para obtener de ellos una alta eficiencia. El descuido de muchos factores de producción hace que la rata de recuperación de los nutrimentos aplicados varíe entre un 15 y un 60%.

Muchas prácticas relacionadas con la misma fertilización contribuyen a las pérdidas en su eficiencia. No se hace una buena selección de las fuentes, de las cantidades por aplicar, de las épocas ni de los métodos de aplicación.

Parte de las pérdidas se deben a los fertilizantes en sí. Muchos se pierden por alta solubilidad, por su evolución a formas que no son retenidas por el suelo, por su transformación en formas insolubles, no asimilables y gaseosas, por su mala granulación o pulverización. Nuevos fertilizantes buscan mejorar las cualidades físicas y químicas de

* Ingeniero Agrónomo, M.S. Especialista en Fertilidad de Suelos.
Abonos Colombianos S.A., Apartado Aéreo 8613, Bogotá.

los actualmente en uso para corregir los defectos que causan pérdidas en la eficiencia.

Otros abonos nuevos buscan simplificar aspectos tales como el del almacenamiento, reducir aún más la mano de obra necesaria en su empleo, y su posible aplicación, en una sola labor, con otros agroquímicos, o con los sistemas de riego.

El calificativo de nuevos que se le ha aplicado en el título de este artículo, posiblemente no sea muy acertado. Lo nuevo en ellos radica, más que todo, en que su uso no está extendido por todo el mundo y en que donde están en uso todavía no dominan el mercado, como sucede con los antiguos.

Debido a la limitación de extensión que tiene un artículo de este tipo, en éste sólo se tratará en forma esquemática sobre los fertilizantes líquidos y los nitrogenados de acción mejorada, el amoníaco anhidro y las rocas fosfóricas.

2. FERTILIZANTES LIQUIDOS

Dentro de los fertilizantes líquidos se distinguen los llamados claros y las suspensiones.

Se llama fertilizantes líquidos claros a los que son fluídos y que contienen en solución dos o más de los nutrimentos primarios.

Se llama suspensión fertilizante a la que es fluída y en la cual los sólidos son retenidos en suspensión de por sí o con la ayuda de agentes que no son fertilizantes.

Los fertilizantes líquidos están ganando cada vez más extensión y un mayor volumen en el mercado de los fertilizantes gracias a las siguientes ventajas:

- .1. Su flexibilidad. 1) Se puede preparar gran cantidad de fórmulas incluyendo grados de mayor concentración (caso de algunas suspensiones) que algunos de los fertilizantes sólidos; 2) Se les puede agregar micronutrientes, insecticidas, fungicidas y otros aditivos de creciente uso agrícola; 3) Se adaptan muy bien a sistemas modernos de aplicación como el de riego.
- .2. Se venden aplicados.
- .3. Facilidad de manejo. Las bombas y las mangueras reemplazan las espaldas y los empaques.
- .4. Menos mano de obra, tanto para la producción como para la aplicación de los líquidos. Contribuyen también a esto los aspectos anotados en el numeral .1.
- .5. Aplicación uniforme. Los líquidos no se segregan, no se compactan y no se aterronan. Cada gota contiene los mismos nutrientes y es del mismo análisis que las demás. Además, la faja o superficie que cubre es también cubierta de modo homogéneo.
- .6. Velocidad de aplicación. En un día se pueden fertilizar de 8 a 16 hectáreas y con equipos grandes hasta 300.
- .7. Menor compactación causada por el paso de maquinaria. El ancho de los aguilones (15 metros o más) hace esto posible. Esta ventaja se acentúa cuando a estos fertilizantes se les mezclan los insecticidas y herbicidas que requieren los cultivos.

- .8. Valor agronómico mayor. Todos los fertilizantes son solubles en agua, lo que los hace inmediatamente disponibles para las plantas en crecimiento.
- .9. Ultima pero no inferior. Menores problemas de contaminación del aire y del agua que en plantas de mezcla en seco.

Es evidente que el motivo que se alega para atribuirles un valor agronómico mayor es discutible, lo mismo que lo de la ventaja de aplicación uniforme, sobre todo si ésta llega a cubrir todo el terreno. La alta solubilidad en los fertilizantes nitrogenados conduce a pérdidas por lixiviación y volatilización, en los fosforados a pérdidas por fijación y en los potásicos también a pérdidas por lixiviación aunque en menor grado que en los nitrogenados.

Se les puede anotar las siguientes desventajas:

- .1. No se pueden usar materias primas de bajo costo, sobre todo en el caso de las soluciones. Las suspensiones si permiten algunos materiales de costo inferior, por cuanto pueden tener impurezas insolubles.
- .2. Aunque algunos grados de los fertilizantes completos líquidos son tan o más altos que algunos de los sólidos, con éstos se pueden fabricar grados completos de mayor concentración de nutrientes. No obstante esta desventaja es cada día menor, debido a las suspensiones fertilizadas.
- .3. Requieren maquinaria especial para su aplicación.
- .4. Algunos de los fertilizantes líquidos son altamente corrosivos, especialmente por las fuentes de P (ácido fosfórico) y de N (amonio).

La entrada de los fertilizantes líquidos en el mercado colombiano está dificultada por el costoso sistema que sería necesario montar para su distribución.

Y muy posiblemente sean de mayor interés las suspensiones, porque: Permiten producir grados alrededor de dos veces más concentrados que las soluciones, y permiten usar materias primas de bajo costo.

3. FERTILIZANTES NITROGENADOS DE ACCION MEJORADA

La eficiencia de los fertilizantes nitrogenados, con las fuentes actualmente en uso, es relativamente baja. La TVA estima que solamente del 50 al 60% del N que se aplica es recuperado por los cultivos, lo cual nos da una idea de su eficiencia, que debe ser inferior a las cifras indicadas.

El alto costo de los fertilizantes y su escasez, cada vez mayores en el futuro, harán que con el correr del tiempo, se sienta más y más la necesidad de aumentar la eficiencia de los fertilizantes nitrogenados, sobre todo en aquellos sitios y cultivos donde se estima que sea demasiado baja.

Las pérdidas del N aplicado se deben principalmente a tres causas: La lixiviación, la denitrificación y la volatilización del amoníaco. La primera ocurre por la alta solubilidad de los fertilizantes nitrogenados; la segunda sólo tiene lugar con los fertilizantes nítricos (prácticamente todo fertilizante nitrogenado evoluciona a nítrico en suelos bien aireados) y la última con los amoniacales. Pero estas tres causas están muy influenciadas no sólo por la fuente del fertilizante nitrogenado,

sino también por el suelo, el clima, el cultivo y el manejo bajo el cual se aplican.

Una reducción en la solubilidad de los fertilizantes nitrogenados reduciría las pérdidas por cualquiera de las tres causas citadas. Impedir la conversión a formas nítricas de las amoniacales merma las pérdidas por lixiviación y desnitrificación. De ahí la necesidad de reducir la solubilidad de los fertilizantes nitrogenados y del uso de inhibidores de la nitrificación en los amoniacales, para aumentar su eficiencia.

Los fertilizantes nitrogenados de lenta liberación del N, debido a su baja solubilidad, o los adicionados con inhibidores de la nitrificación son una respuesta a la necesidad de disminuir las pérdidas del N aplicado, o, lo que es igual, de aumentar su eficiencia.

Para la introducción de nuevos materiales no se depende usualmente de la superioridad agronómica, sino de la superioridad tecnológica sobre los fertilizantes antes en uso. La aceptación de los nuevos materiales depende en gran parte de factores no agronómicos como el costo de producción, almacenamiento, manejo y distribución; la naturaleza del sistema de mercadeo y distribución; los cambios en el manejo de los cultivos y de las fincas; las estructuras políticas y sociales relacionadas con la tenencia de la tierra, la conservación de las materias primas, la conservación de la energía y la protección del ambiente.

Para fines de presentación, se dividirán los fertilizantes nitrogenados de acción mejorada en dos grupos:

- .1. De liberación lenta del N, y
- .2. Con inhibidores de la nitrificación.

A su vez, los de liberación lenta del N, se pueden subdividir, como se especifica más adelante.

3.1. FERTILIZANTES NITROGENADOS DE LENTA LIBERACION DEL N.

3.1.1. Fertilizantes de lenta liberación del N por tener muy baja solubilidad en agua.

Por combinación de la úrea con materiales tales como el formaldehído, el acetaldehído, el isobutiraldehído, o el crotonaldehído, se obtienen respectivamente las ureaform, la ciclodiurea, la isobutiridene-diurea y la crotonilidene diurea. Otros fertilizantes pertenecientes a este grupo, serían: La oxamida ($\text{NH}_2\text{COCONH}_2$), con 31,8% de N; la diciandiamida ($\text{NH}_2\text{CNHNHCN}$), con 42% de N; la tiourea: $\text{CS}(\text{NH}_2)_2$, con 36,8% de N, y la urea-pirolizato, con 48% de N.

3.1.2. Fertilizantes de lenta liberación del N por recubrimiento de los gránulos con sustancias de muy baja solubilidad o insolubles.

Entre los materiales usados para recubrir la úrea, se pueden citar: El azufre, el sulfato cálcico con mezclas de ácidos grasos superiores, principalmente esteratos; polietileno, polietileno más talco, cera y otros.

De estos materiales, el más promisorio parece ser la úrea recubierta de azufre. Este proporciona según la TVA, el recubrimiento menos costoso con el poder de controlar la rata de liberación del N de la úrea. Según la misma entidad, el costo de producción de la úrea granulada recubierta con S, se estima que sea alrededor de un 33% superior al de la úrea sin cubrimiento.

La úrea recubierta de azufre es más promisoría aún que los materiales citados en el grupo uno, o sea aquellos que tienen de por sí, una baja solubilidad en agua, pues estos fertilizantes son muy costosos.

3.1.3. Fertilizantes de lenta liberación del N por incremento en el tamaño de los gránulos.

A más pequeñas las partículas de un compuesto, mayor es su solubilidad. De ahí que una de las maneras de disminuir la solubilidad de los compuestos nitrogenados haya sido la de aumentar el tamaño de los gránulos hasta las dimensiones de pequeñas bolas (gránulos de 1 a 3 gramos) o pastillas. El IRRÍ obtenido con fertilizantes nitrogenados en esta forma resultados que califica de notables.

3.2. FERTILIZANTES NITROGENADOS CON INHIBIDORES DE LA NITRIFICACION.

Los inhibidores de la nitrificación, al añadirse a un fertilizante nitrogenado no nítrico, retardan su nitrificación y reducen las pérdidas por lixiviación y por denitrificación del N aplicado.

Entre los inhibidores que se han usado, la literatura revisada cita los siguientes:

2 - cloro - 6 - (triclorometil) - piridina; (N-Serve o nitrapirina).

4 - amino - 1,2,4 - triazole; (ATC)

Nitruro de potasio

Nitruro de sodio

2,4 - diamino-6 - triclorometil - s - triazina; (CL 1580); diciandiamida.

3 - cloroacetanilida

1 - amidino - 2 - tiourea

2,5 dicloroanilina

Acetato fenil - mercúrico

3 - mercapto - 1,2,4 - triazole

2 - amino - 4 - cloro - 6 - metil - pirimidina; (A M)

Sulfatiazol; (S T)

Dietilditiocarbamato de sodio

Karanjin (en inglés)

Aceite de Melia azadirachta

Torta de Melia azadirachta

Torta de mahua

Extracto de alquitrán de carbón

Laca (resina)

Cianoguanidina

2-4 dibromoacetamilida

Mezcla de derivados de la cloropicolina

Pentaclorofenolato de sodio; (PCP)

De los inhibidores citados, parece que el N-Serve es el más promisorio.

3.2.1. Comportamiento agronómico de estos fertilizantes.

El comportamiento agronómico de estos fertilizantes depende de los factores clima, suelo, cultivo y manejo. Los resultados obtenidos con ellos indican que su uso es ventajoso bajo situaciones de clima, suelo y cultivo donde las pérdidas de N son altas. Ejemplos serían zonas de alta pluviosidad y aquellas en cultivo de arroz bajo inundación. Los cultivos perennes o de largo período vegetativo se benefician bien con ellos y mejores respuestas se pueden obtener en los suelos arenosos que en los arcillosos.

Es necesario aclarar que no se puede esperar una constante superioridad de cualquiera de estos productos a través del tiempo y en un lugar dado, por cuanto las condiciones climáticas y aún el manejo de los cultivos pueden variar en una misma región. Las fuentes de N en uso (úrea, nitrato de amonio, sulfato de amonio) pueden ser superiores en tiempo de sequía pero pueden no serlo en los períodos lluviosos.

Las ventajas que se les puede señalar a los fertilizantes nitrogenados de liberación lenta del N, son:

- .1. Pueden producirse con distintas velocidades de liberación del N.
- .2. Reducen las pérdidas del N aplicado.
- .3. Reducen el peligro de perjuicios a los cultivos por las aplicaciones altas de N, pues su índice de salinidad es inferior a los comunes en uso: Urea, nitrato y sulfato de amonio.
- .4. Son de manejo más sencillo, por cuanto en una sola aplicación se pueden colocar dosis que duren varios semestres e incluso años.

- .5. Reducen las pérdidas de bases del suelo, que generalmente acompañan a los nitratos en su lixiviación.
- .6. Reducen la contaminación del ambiente, por cuanto al reducir la lixiviación de nitratos, impiden que éstos contaminen las fuentes de agua.
- .7. Reducen el riesgo de contaminación de los alimentos, al reducir la acumulación de nitratos en los vegetales comestibles, como espinacas, zanahorias, etc.
- .8. Mayor eficiencia del N aplicado, o sea mayor producción de los cultivos por kilo de N aplicado.
- .9. Esta mayor eficiencia, en muchos casos, permite una reducción en la cantidad de N que normalmente se aplica a los cultivos.

A las anteriores ventajas conviene agregar que, en el caso de los productos en que la disminución de la solubilidad se ha logrado por recubrimiento de los gránulos con sustancias de muy baja solubilidad, estas sustancias pueden aportar también fertilizantes como es muy especialmente el caso de la úrea recubierta de S.

Como desventaja de estos productos, se pueden anotar:

- .1. Muy alto costo de producción. Parece ser la principal desventaja, la cual se anota en toda la literatura revisada y donde se afirma que sus precios limitan el uso de estos fertilizantes a la producción de cosechas de tipo especial, como lo son los céspedes para prados y jardines de ornatos, canchas deportivas, etc.; posiblemente la úrea recubierta de S, sea este tipo de fertilizantes, el que por su precio se pueda adaptar a una mayor gama de cultivos.

- .2. Reducción de la concentración de N en el fertilizante. El contenido de N de la úrea recubierta de S es generalmente del 35%.

Las ventajas que se les pueden señalar a los fertilizantes nitrogenados con inhibidores de la nitrificación, son las mismas que las señaladas para los de liberación lenta del N, con excepción de aquellas comprendidas en los literales .1. y .3.; como desventaja se ha señalado que, a veces, han ocasionado acumulaciones de NH_4 tóxicas para los cultivos.

4. EL AMONIACO ANHIDRO

Contiene el mayor porcentaje de N entre los fertilizantes en uso que aportan este elemento. Es altamente probable que en un futuro muy inmediato, se lo aplique directamente al suelo, en Colombia en cultivos como el algodón, el arroz, la caña de azúcar, el maíz y el sorgo.

El amoníaco anhidro contiene un 82% de N en peso. Como consecuencia de esta alta concentración de N, y el de no sufrir los otros pasos industriales necesarios para convertirlo en otros fertilizantes nitrogenados, su unidad de N es la más barata que se puede ofrecer al agricultor.

Su índice de acidez es de 148, el más alto entre los fertilizantes nitrogenados.

Es el único abono que actualmente se inyecta al suelo en estado gaseoso, técnica llamada nitroyección.

Por ser un gas a la presión atmosférica, se puede perder durante su aplicación, pero las pérdidas se pueden evitar mediante una buena

preparación del suelo, un adecuado contenido de humedad de éste y la aplicación a una adecuada profundidad y apropiado espaciamento.

El amoníaco requiere ser inyectado en el suelo a profundidades entre 10, 15 y aún más centímetros, lo cual exige equipos especializados que, a su vez, para su buena operación, requieren de suelos planos y libres de piedras.

No es aconsejable su aplicación en suelos muy arenosos, muy arcillosos o muy pobres en bases.

5. LA ROCA FOSFORICA

En Colombia, a lo largo de la cordillera oriental, existen yacimientos de rocas fosfóricas, algunos de los cuales están en explotación, en pequeña escala.

La totalidad de lo producido en los yacimientos de Pesca y parte de lo producido por el de Sardinata, será empleada para aplicación directa al suelo, como fertilizante. Es de pensar que en el futuro inmediato se incremente la explotación de estos yacimientos.

Lo anterior hace preguntar: Será efectiva la aplicación directa de las rocas fosfóricas, como fertilizantes, en Colombia?

Para contestar esta pregunta, se puede decir:

1. El uso de las rocas fosfóricas como fertilizantes, es posible en algunos suelos y algunos cultivos, como lo indica la poca investigación que al respecto hay en nuestro medio y la abundante de las zonas templadas.

- .2. Hay ciertas propiedades de la roca en sí que permiten predecir su comportamiento como abono.
- .3. Hay sustancias que, aplicadas con la roca, aumentan la efectividad de ésta.

5.1. SUELOS

Buenos resultados con la aplicación de rocas fosfóricas se pueden esperar en suelos que por su acidez sean clasificados entre fuerte y extremadamente ácidos (pH de 5,6 o menos). A mayor la acidez del suelo, mejores resultados se pueden obtener con el uso de las rocas.

A "grosso modo" se puede afirmar que en aquellos suelos donde se obtienen buenos resultados con las Escorias Thomas, se pueden obtener también buenos resultados con la roca.

5.2. CULTIVOS

Es de esperar buenos resultados de la roca en los cultivos perennes y de largo período vegetativo. No obstante, los trabajos ICA-ABOCOL indican que "hay buenas probabilidades de esperar una respuesta aceptable a las aplicaciones de roca fosfórica cuando se trata de suelos ácidos, bajos en fósforo (Andosoles e Inseptisoles óxicos) y con una capacidad de fijación de este elemento relativamente alta en cultivos semestrales o anuales como cebolla de rama, avena, maíz, maní y arroz de riego".

5.3. LA ROCA

La solubilidad del P de la roca en citrato permite, en general, predecir su efectividad agronómica. Esta característica y la finura del tamaño de las partículas son de especial importancia en la apreciación del valor de la roca. A mayor la solubilidad en citrato y a mayor la finura de las partículas, mayores son las posibilidades de la bondad de la roca para su aplicación directa.

5.4. ADICION DE SUSTANCIAS

Al aplicar la roca acompañada de ciertas sustancias, o aún de ciertos microorganismos, puede mejorar su efectividad.

El acompañamiento con S, superfosfato triple, materia orgánica y abonos acidificantes como sulfato de amonio y úrea, mejora la acción de la roca.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. ACHORN, F.P. and KIMBROUGH, H.L. Latest Techniques for applying anhydrous ammonia. T.V.A. Fert. Conf. July 26-27, 1977. Kansas City, 1977. (Mo. Bull. Y-115).
2. ANONIMO. Sulphur-Coated urea. Nitrogen. No. 94. 1975. p.40-43.
3. _____. Slow release fertilizers- an answer to the problem of nitrogen loss? Nitrogen No. 117. 1979. p.33-43.

4. AGRAR S.A. Amoníaco anhidro. Zaragoza, España, 1977.
5. BOSWELL, F.C. Seasonal anhydrous ammonia comparison for corn with and without a nitrification inhibitor. *Agronomy Journal* 69(1):103-106. 1977.
6. GROS, A. Abonos. 5a. ed. Madrid, Ediciones Mundi-Prensa, 1971. 526p.
7. MARIN M., G. El uso eficiente del nitrógeno en Colombia. Bogotá, ICA, Programa Nacional de Suelos, 1974. (En mimeógrafo).
8. NELSON, D.W. et al. Conserving energy with nitrification inhibitors. Purdue University, 1977. P.B. 277.
9. THE BRITISH SULPHUR CORPORATION LIMITED. Urea Analysis of world supply/demand 1956-1976. London, 1969.
10. TISDALE, L.S. y NELSON, W.L. Soil Fertility and Fertilizers. N.Y., The Macmillan Company, 1967.
11. T.V.A. TVA'S development of sulfur-coated urea. 1974.
12. VOISIN, A. Nuevas leyes científicas en la aplicación de los abonos. Editorial Tecnos, 1970.

FERTILIZACION DE LA PALMA AFRICANA DE ACEITE
(Elaeis guineensis Jacq.) EN COLOMBIA *

Rodrigo Muñoz A. **

1. INTRODUCCION

La palma africana es el cultivo oleaginoso que mayor cantidad de aceite produce por unidad de superficie. Este produce por hectárea año, entre 3.000 a 5.000 kg de aceite de pulpa; además, 600 a 1.000 kg de almendra. Una de las características del cultivo de la palma africana es la utilización racional y económica de extensas áreas marginales para otros cultivos oleaginosos como el maní, ajonjolí, algodón, soya y girasol.

2. CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS
DE LOS SUELOS

En Colombia, este cultivo ocupa zonas planas y de colinas suaves en los departamentos del Litoral Atlántico, Litoral Pacífico, Santanderes y Llanos Orientales, principalmente. Estas zonas presentan suelos aluviales y coluviales en terrazas pobremente drenadas, siendo éste uno de los principales limitantes para el buen desarrollo del cultivo.

* Contribución del Programa de Suelos. División de Agronomía, ICA.

** Ingeniero Agrónomo, M.S. del Programa de Suelos del ICA. Estación Experimental Tulio Ospina, Apartado Aéreo 51764, Medellín.

Las propiedades químicas son a su vez muy variables, dependiendo del suelo y del manejo de las plantaciones. En la Tabla 1 se indican las características químicas del suelo para pH, materia orgánica, fósforo, potasio y la relación calcio-magnesio para cultivos de palma africana en varios departamentos.

De acuerdo con estos resultados, en el Litoral Atlántico, que comprende los departamentos de Antioquia, Chocó y Córdoba, predominan los suelos moderadamente ácidos a neutros; bajos en materia orgánica, P aprovechable y en K intercambiable. La relación Ca:Mg de 1:1 es apenas un 32%, presentando las demás muestras un ligero desequilibrio en favor del magnesio.

Los suelos del Meta y Caquetá, son de una fertilidad natural muy baja. Estos son suelos extremadamente ácidos a fuertemente ácidos, bajos a medios en materia orgánica, bajos en fósforo aprovechable y en K intercambiable. En esta zona, un 43% de los suelos presenta una relación Ca:Mg de 1:1.

En el departamento de Nariño, en el Litoral Pacífico, los suelos cultivados con palma africana son en un alto porcentaje entre moderadamente ácidos y ligeramente ácidos, bajos en materia orgánica, en fósforo aprovechable y K intercambiable. En estas zonas, un 75% de las muestras presentan una relación Ca:Mg desequilibrada en contra del calcio. Condiciones similares de fertilidad presentan las plantaciones de los departamentos de Santander del Norte y Santander del Sur.

En resumen, los datos de la Tabla 1, indican que en Colombia, los suelos cultivados con palma africana son de una fertilidad entre baja y media, presentando una alta probabilidad de respuesta a las aplicaciones de N, P_2O_5 , K_2O y al encalamiento, con cal dolomítica ($CaCO_3 + MgCO_3$). Los ensayos de campo corroboran esta afirmación.

TABLA 1. Distribución porcentual del pH, materia orgánica, fósforo, potasio para los suelos cultivados con palma africana de aceite en Colombia.

Elemento - Categoría	Antioquia Córdoba Chocó	Meta y Caquetá	Nariño	N. Santan- der y San- tander Sur
pH				
Menor 5,5 fuertemente ácido	36	85	25	17
5,6 - 6,5 mod. a lig. ácido	30	15	55	67
6,6 - 7,3 neutro	32	-	17	13
mayor 7,3 alcalino	2	-	3	3
% de materia orgánica				
Menor 3,0 bajo	73	48	70	75
3,1 - 5,0 medio	9	47	11	8
5,1 - 10,0 alto	18	5	19	17
P (ppm Bray II)				
Menor 10,0 bajo	47	95	98	43
10,1 - 20,0 medio	15	3	2	24
20,1 - 40,0 alto	23	2	-	24
mayor 40,1 muy alto	15	-	-	9
K intercambiable (meq/100 g)				
Menor 0,15 medio	100	100	75	53
0,16 - 0,30 medio	-	-	25	40
0,31 - 0,60 alto	-	-	-	4
mayor 0,61 muy alto	-	-	-	3
Relación Ca : Mg				
1 : 1 normal	32	43	-	44
1 : 2 - 4 desequilibrado	68	57	100	56
Número de muestras (n)				
	70	50	30	35

3. ENSAYOS DE FERTILIZACION Y MANEJO DE SUELOS

Los ensayos de fertilización y manejo de suelos con palma de aceite son muy escasos hasta la fecha en Colombia, si se tiene en cuenta el área cultivada y potencial y la gran diversidad de suelos donde están establecidas las plantaciones. En este sentido, se han realizado ensayos con plántulas a nivel de viveros, en plantaciones desde transplante hasta producción y en plantaciones adultas.

En vivero, los ensayos se han efectuado con suelos aluviales de la Estación Experimental El Mira en Tumaco y rojos de terrazas altas del Piedemonte, en Acacías. En esta última localidad, los suelos son franco arenosos, medios a altos en materia orgánica (4,9%), bajos en P (12,2 ppm) y en Ca y Mg (0,8 y 0,4 meq/100 g) y medios en K (0,22 meq/100 g). Son suelos extremadamente ácidos (pH 4,4) y altos en aluminio intercambiable.

Los resultados de la fertilización en vivero para transplantar plántulas sanas y vigorosas a los 12 meses aproximadamente, indican que para las terrazas altas del piedemonte y similares, se deben aplicar 2 a 4 t/Ha de cal dolomítica ($\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$) y 200 kg/Ha de P_2O_5 (como superfosfato triple) y K_2O (como cloruro de potasio). En estos suelos, con 4,9% de materia orgánica, no se requiere la aplicación de N. Los fertilizantes en este ensayo se aplicaron a bolsas de 15 litros de capacidad a razón de una tercera parte del N y K_2O al mes de siembra y luego, cada tres meses, las dos terceras partes restantes. El P_2O_5 y la cal se aplican en su totalidad al momento de la siembra en las bolsas.

En El Mira, los resultados en base a emisión foliar, diámetro del estipe y área de la hoja número cuatro, indican que las palmitas se deben fertilizar con 16 g de nitrógeno (como úrea) por bolsa de 15 kg

de suelo, más 32 g de P_2O_5 (como superfosfato triple) y 16 g de K_2O (como cloruro de potasio).

En este ensayo, los elementos se aplicaron fraccionados a razón de un sexto, dos sextos y tres sextos al mes, tres y seis meses de la siembra, respectivamente.

Los cultivadores de palma utilizan varias dosis y modalidades de fertilización para plántulas en la fase de vivero en bolsas. En los Llanos Orientales, se recomienda hacer una mezcla de los abonos siguientes: Un bulto de úrea más un bulto de cloruro de potasio, más medio bulto de carbonato de magnesio. De esta mezcla se aplica cada mes aproximadamente 16 g en cada bolsa; hasta el transplante definitivo al campo. Esta fertilización se complementa con aspersiones de úrea foliar cada mes a razón de 100 g de este fertilizante por 20 litros de agua. Las aspersiones se inician en plántulas de un mes para evitar quemazón de las hojas.

En la plantación Indupalma (San Alberto), se acostumbra preparar una mezcla de un bulto de superfosfato triple, más un bulto de sulfato de potasio y otro de sulfato de magnesio. De esta mezcla se aplican 12 g por bolsa cada dos meses; iniciando en plántulas de dos meses. La dosis de 12 g se incrementa en cuatro gramos cada dos meses hasta completar un máximo de 25 g.

La fertilización anterior se complementa con úrea a razón de 12 g por bolsa cada dos meses hasta el transplante.

En la plantación de Hipilandia (Rio de Oro, Cesar) se sigue aproximadamente el siguiente plan de fertilización:

Edad (meses)	Gramos de 12-12-17-2 por palmita
4	7
5 - 6	10
7 - 8	15
9 - 10	20
10 - 13	23
14 o más	40

Cuando se presenta un amarillamiento por deficiencia de nitrógeno se complementa la fertilización con Nitrón 26, en dosis que varían de 20 hasta 100 g por bolsa; dependiendo de la edad de las plántulas. En caso de deficiencia de magnesio, se aplica el sulfomag (22% de K_2O y 18% de MgO) a razón de 100 g repartidos en dos a tres aplicaciones antes del transplante.

Para corregir deficiencias de boro, en vivero se acostumbra aplicar bórax al suelo en dosis de uno a tres gramos por bolsa o aplicar foliarmente bórax del 60% de B, a razón de un gramo del producto en 10 litros de agua. De esta solución se aplican 100 g por planta, dos a tres veces antes del transplante al campo.

En plantaciones jóvenes, desde transplante hasta tres o cuatro años en sitio definitivo, se acepta universalmente la aplicación de N, P y/o P y Mg. Las dosis, frecuencias y fuentes dependen en cada plantación de la fertilidad de los suelos.

En la plantación de COLDESA (Turbo), en suelos aluviales de terrazas pobremente drenados, en plantas jóvenes se recomienda aproximadamente la siguiente fertilización: 125 g de úrea, 250 g de sulfato de

amonio y 250 g de cloruro de potasio por palma anualmente. En esta plantación, cuando se presentan deficiencias de B y Mg, se aplican 500 a 1.000 g de Keiserita (sulfato de magnesio) por palma anualmente y 50 a 100 g de bórax (60% de B) por palma anualmente.

En la plantación de Hipilandia, para plantas jóvenes se recomienda aplicación en kg/Ha/año de 1,0 de Nitrón 26, 1,0 de sulfomag, 1,0 de KCL y 50 g de bórax.

En las plantaciones de los Llanos Orientales, se recomienda básicamente el siguiente plan de fertilización: Al momento del transplante, 3,0 kg en cada hoyo de Escorias Thomas y cloruro de potasio, hasta completar tres años, en dosis de 1 a 2 kg/palma. Durante los tres primeros años se aplica además, dos veces, carbonato de magnesio ($MgCO_3$), a razón de 100 g por planta. Al tercer año se inicia el abonamiento con bórax (60% B) a razón de 120 g por palma al año, repartidos en tres aplicaciones.

En plantaciones adultas, en plena producción, las fertilizaciones están basadas en análisis de suelos y especialmente en análisis foliar. De acuerdo con estos resultados, la fertilización en explotaciones intensivas debe satisfacer las necesidades de las palmas para mantenerlas a un máximo de productividad, con dosis de mantenimiento y de establecer, a partir de informaciones permanentes de análisis foliares, una adecuada fertilización con dosis correctivas.

En la palma africana se han definido las hojas 9 y 17 a partir del ápice, para efectuar el análisis foliar. La hoja 9 se usa en plantas jóvenes y la 17 en plantas adultas. Para estas hojas se han definido niveles críticos y óptimos para varios nutrimentos. De acuerdo con estos niveles, se decide la fertilización de una plantación. En la Tabla 2 se presentan estos niveles, basados en experiencias del IRHO, para

TABLA 2. Niveles críticos y óptimos de varios elementos en porcentaje de materia seca en las hojas 9 y 17 de palma africana de aceite.

Características	Elementos en %					en ppm				
	N	P	K	Ca	Mg	Mn	B	Cu	Fe	Mo
<u>Nivel crítico</u>										
Hoja No. 9	2,7	0,160	1,25	0,50	0,23	-	-	-	-	-
Hoja No. 17	2,5	0,150	1,00	0,60	0,24	-	-	-	-	-
<u>Nivel óptimo</u>										
Hoja 17	2,8	0,180	1,15	0,75	0,29	200	12-15	6	100	0,3

plantaciones en otros países. En Colombia apenas se está iniciando este trabajo de investigación, el cual permitirá establecer estos niveles críticos para diferentes localidades.

Siguiendo el criterio de aplicar fertilizantes para mantenimiento y dosis adicionales para corregir las deficiencias que manifieste el análisis foliar, las diferentes plantaciones en Colombia realizan un plan de abonamiento anual. Este generalmente consiste en dosis básicas de mantenimiento en un semestre y de corrección en el semestre siguiente. En las Tablas 3 y 4 se indican las diferentes dosis de fertilizantes anualmente por palma, para obtener altos rendimientos en varias localidades de Colombia.

En la Tabla 5 se muestran las dosis mínimas de N, P_2O_5 y K_2O , de acuerdo a los niveles críticos tentativos para materia orgánica, fósforo y potasio, en varias regiones colombianas.

Las dosis indicadas en la Tabla 5 se dividen en dos aplicaciones por año y para una población de aproximadamente 120 a 150 palmas adultas, por hectárea. En esa forma, se obtienen los gramos de fertilizante por planta y por aplicación.

TABLA 3. Fertilización de palma africana de aceite en diferentes localidades en Colombia.

Localización	Nitrógeno	Dosis en kg por palma por año			Bórax*
		Fósforo	Potasio		
COLDESA (Turbo)	-	-	1 - 1,5 KCl	0,5 - 1,0 MgSO ₄	100
Indupalma (San Alberto)	1 - 2 úrea	-	1,5 - 2,0 KCl	1,0 - 1,5 MgCl ₂	50
Hipilandia (Río de Oro)	4 - 6 Nitrón 26	-	3,0 - 4,0 KCl	3,0 - 4,0 Sulfomag	100
Llanos Orientales	4 úrea o 6 Nitrón	2 Escorias Thomas	4 KCl		120

* El bórax se aplica en la axila de la hoja número nueve de la flecha.

TABLA 4. Fertilización en palma africana de aceite adulta en diferentes localidades de Colombia.

Localidad	Gramos/planta anualmente				Forma de aplicación de los fertilizantes
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Bórax*	
Motilonia	60 - 120	80 - 160	150 - 300	25	1/2 N y K ₂ O cada seis meses. El P y Bórax anualmente.
Caribia	60 - 120	90 - 160	150	25	1/2 N, P ₂ O ₅ y K ₂ O cada seis meses.
Oleaginosas Risaralda	90	49 - 90	125 - 165	-	Como 12-12-17-2 cada seis meses.

* El bórax se aplica en la axila de la hoja número nueve de la flecha.

TABLA 5. Recomendaciones mínimas de N, P_2O_5 y K_2O para palma africana adulta según los niveles críticos de materia orgánica (M.O), fósforo (ppm) y potasio (meq/100 g) en Colombia.

Categorías - Niveles críticos	Dosis en kg/Ha	
	Elemento	Fuente
A - <u>Materia Orgánica (%)</u>	<u>Nitrógeno (N)</u>	<u>Urea del 45% de N</u>
Bajo: Menor 2,0	100 - 150	220 - 330
Medio: 2,1 a 4,0	50 - 100	110 - 220
Alto: Mayor 4,1	Opcional*	- -
B - <u>P en ppm (Bray (II))</u>	<u>Fósforo (P_2O_5)</u>	<u>SFT del 48% de P_2O_5</u>
Bajo: Menor 5,0	150 - 200	330 - 440
Medio: 5,1 a 10,0	50 - 150	110 - 330
Alto: Mayor 10,1	Opcional	- -
C - <u>K en meq/100 g de suelo</u>	<u>Potasio (K_2O)</u>	<u>KCl del 60% de K_2O</u>
Bajo: Menor 0,25	150 - 300	240 - 480
Medio: 0,26 a 0,45	75 - 150	120 - 240
Alto: Mayor 0,46	Opcional*	- -

* En condiciones de sequía prolongada.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. MENA, E. Estudio de la fertilización de la palma de aceite en viveros, en El Mira (Tumaco). Archivo del Programa de Oleaginosas Perennes, 1979. 30p. (Hojas a máquina).
2. MUÑOZ A., R. Aspectos generales de la nutrición y fertilización de la palma africana de aceite (Elaeis guineensis Jacq.) con énfasis en las condiciones colombianas. En: Palma africana de aceite. ICA, Estación Experimental Palmira (Valle), 1978. p.204-253. (Manual de Asistencia Técnica No. 22).
3. OWEN, E.J.; SANCHEZ, L.F.; HINCAPIE, M.A. Fertilización de la palma africana (Elaeis guineensis Jacq.) en vivero en los Llanos Orientales. 1979. 15p. (Sin publicar).

SUELOS Y FERTILIZACION DEL CACAO EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA

Sergio Cadavid V.*

1. INTRODUCCION

En la actualidad, el departamento de Antioquia ocupa el tercer lugar dentro del ámbito nacional después de Santander y el Huila, en el cultivo del cacao. El monto de la producción alcanza un poco más de las 3.200 toneladas, por un valor superior a los 317 millones de pesos (3). La casi totalidad de la producción en esta sección del país, se obtiene en plantaciones pequeñas, entre las cuales hay que incluir las explotaciones de tipo familiar o de subsistencia, sin olvidar las plantaciones de tamaño grande y medio, localizadas especialmente en la zona de Urabá, el Bajo Cauca y el Magdalena Medio.

Pese a los esfuerzos realizados por las entidades particulares de fomento, entre las cuales se encuentran la Compañía Nacional de Chocolates, Chocolatería Luker, entre otras, y a las campañas de la Secretaría de Agricultura del Departamento, tendientes a mejorar el estado y productividad de los cultivos, el promedio de producción continua siendo bastante bajo, no sobrepasando los 350 kg/Ha, cifra calculada, puesto que no existen estadísticas sobre la superficie cultivada. Este bajo rendimiento de las plantaciones en el departamento se debe a una serie de factores que, aunados, inciden en la producción por unidad de superficie. Los principales factores que afectan los rendimientos, se pueden resumir en:

* Ingeniero Agrónomo, Especialista en Cacao. Departamento de Fomento, Compañía Nacional de Chocolates, Apartado Aéreo 717, Medellín.

Material Genético: Aunque se ha incrementado el uso de material mejorado en el establecimiento de nuevas plantaciones, todavía queda un alto porcentaje de huertos o fincas con individuos de características poco deseables.

Inadecuadas prácticas de manejo o ausencia de ellas: La mayoría de los agricultores no realizan o las ejecutan mal, prácticas de cultivo tan importantes como las podas, las limpiezas oportunas, la racionalización del sombrero, el control de las enfermedades y plagas, etc.

Fertilidad natural de los suelos: La gran mayoría de los suelos utilizados para el cultivo en las diferentes zonas del departamento, poseen características adversas para la obtención de rendimientos adecuados, tales como: Acidez, presencia de Aluminio y deficiencia de los principales nutrientes - N, P, Ca y Mg. Estas condiciones naturales de los suelos se podrían modificar mediante el uso de correctivos y fertilizantes en dosis adecuadas, tanto desde el punto de vista técnico como económico.

2. EVALUACION DE LA FERTILIDAD DE LOS SUELOS

Para la realización del presente artículo, se tomaron los resultados de los análisis de aproximadamente 500 muestras de suelos procedentes de las zonas cultivadas con cacao en el departamento de Antioquia y enviadas al laboratorio de suelos del Centro Experimental del ICA en Palmira. Las muestras se analizaron para obtener información sobre textura, pH, materia orgánica, aluminio, calcio, magnesio, potasio y sodio intercambiables y fósforo aprovechable extraído por el método de Bray II (Figuras 1 y 2).

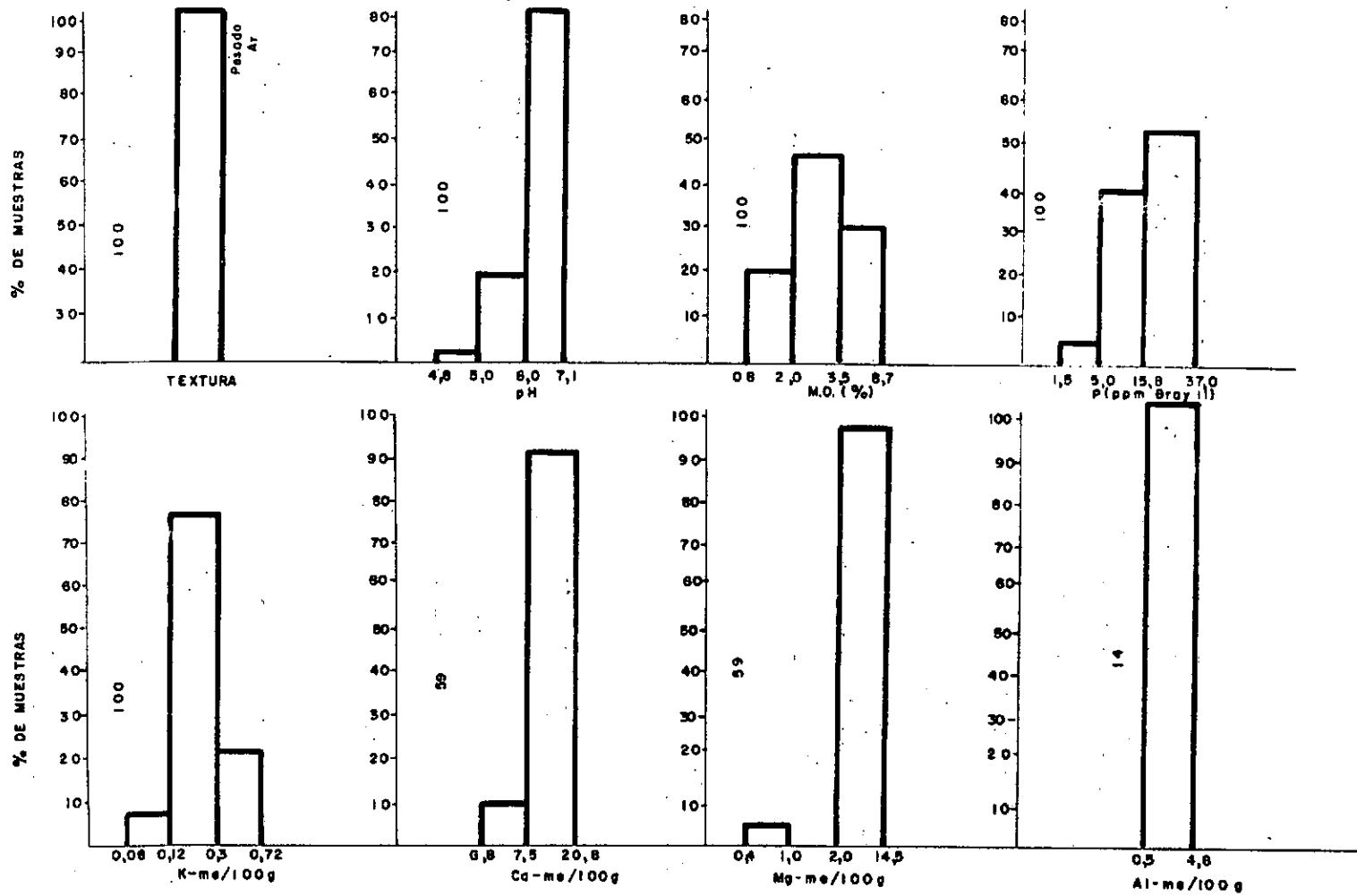


FIGURA 1- CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS DE LOS SUELOS ALUVIALES CULTIVADOS CON CACAO, EN ANTIOQUIA. DATOS EN BASE A 100 MUESTRAS.

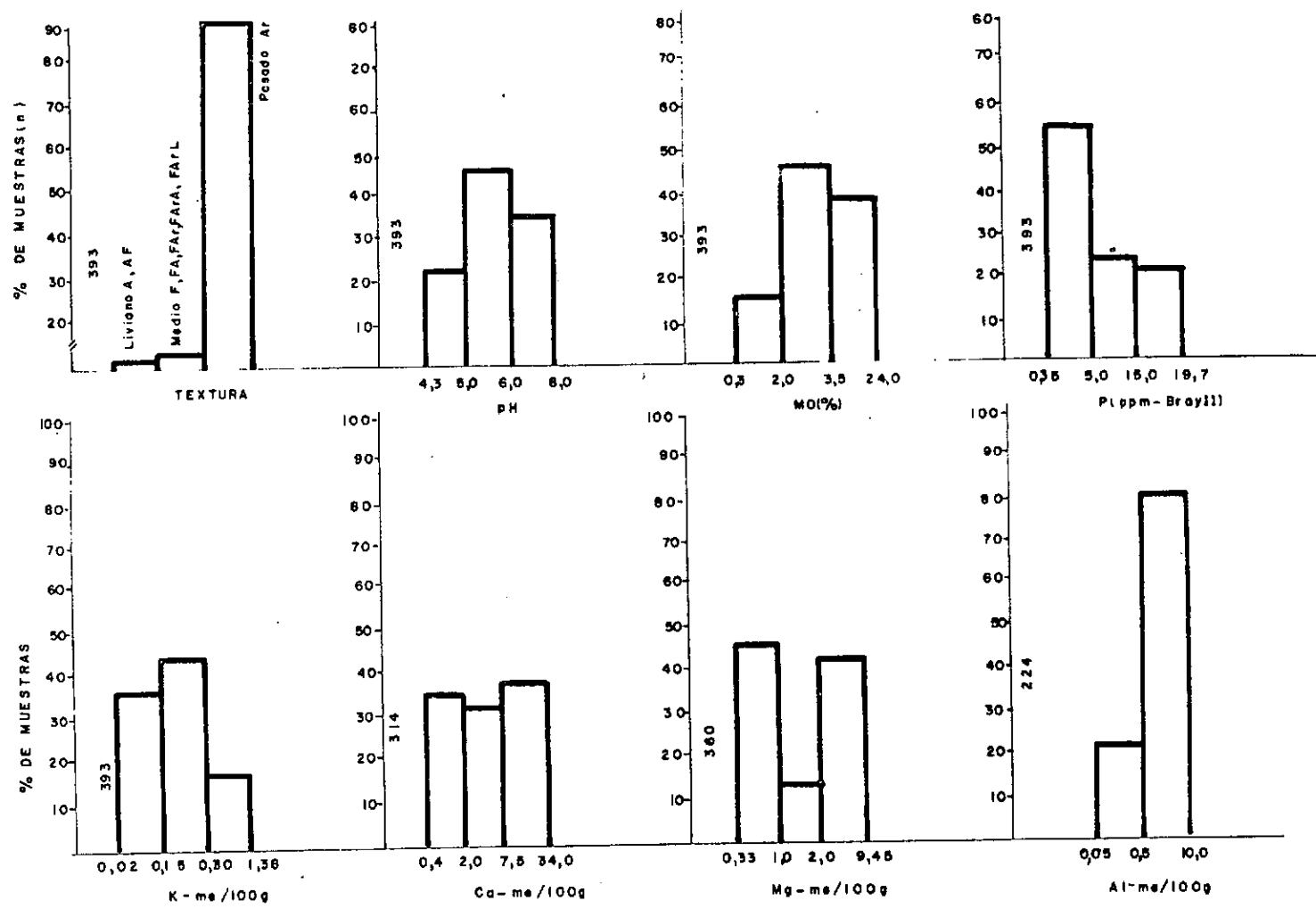


FIGURA 2- CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS DE SUELOS DE LADERA CULTIVADOS CON CACAO. EN ANTIOQUIA. DATOS EN BASE A 393 MUESTRAS.

2.1. NIVELES CRITICOS

Los niveles críticos para suelos de fertilidad natural alta, media y baja se establecieron de acuerdo a investigaciones llevadas a cabo por el equipo técnico del sector de fertilidad de suelos del CEPEC (Centro de Pesquisas de Cacau, Brasil). En la Tabla 1 se detallan estos niveles críticos (2).

TABLA 1. Características químicas de suelos de fertilidad natural, baja, media y alta.

	Fertilidad Natural		
	Baja	Media	Alta
pH - en solución 1:2,5	<5,0	5,0 - 6,0	6,1-7,5
Nitrógeno - %	<0,10	0,10- 0,25	>0,25
Materia Orgánica - %	<2,0	2,0 - 3,5	>3,5
Fósforo - ppm*	<6,0	6,0 -15,0	>15,0
Potasio - meq/100 g	<0,13	0,13- 0,30	>0,30
Calcio - meq/100 g	<2,0	2,0 - 7,5	>7,5
Magnesio - meq/100 g	<1,0	1,0 - 2,0	>2,0
Saturación de Al - %	>30	15 - 30	<15
Saturación de bases - %	<30	30 - 80	>80
Capacidad de cambio de cationes - meq/100 g	<4,0	4,0 -10,0	>10,0

* Método de Carolina del Norte modificado: HCl 0,05N + H₂SO₄ 0,025N. Relación suelo - solución 1:10 Ca, Mg y Al por KCl 1N en EDTA 0,025N y NaOH 0,025N.

Los resultados de los análisis de laboratorio se tabularon de acuerdo a los suelos de donde procedían las muestras, a saber: Suelos de ladera y suelos aluviales.

2.2. TEXTURA

Un porcentaje muy alto (mayor del 90%) de las muestras analizadas tanto en los suelos aluviales como en los de ladera, correspondió a texturas pesadas - arcillosas (Ar), las cuales no corresponden a la textura óptima recomendada para el cultivo. Las texturas óptimas medias: Franca, franco-arenosa, franco-arcillosa, etc., sólo representan el 7,6% de las muestras procedentes de suelos de ladera. En suelos aluviales no se encontró este tipo de texturas.

2.3. pH

El 80% de las muestras de suelos aluviales analizadas correspondió a valores de pH entre 6,0 y 7,1, mientras que un 19% tenía pH entre 5,0 y 6,0 y sólo el 1% presentó un pH menos de 5,0 considerado como bajo.

En los suelos de ladera, el 33,3% de las muestras correspondió a pH entre 6,0 y 8,0; el 45,5% a valores de pH entre 5,0 y 6,0 y el 21,2% presentaron un pH menor de 5,0.

2.4. ALUMINIO INTERCAMBIABLE

El 78,5% de las muestras de suelo de ladera presentó contenidos altos de aluminio intercambiable, superiores a 0,5 meq/100 g; el 21,5% restante presentó valores bajos comprendidos entre 0,05 y 0,5 meq/100 g.

La acidez del suelo es un problema asociado con la presencia de aluminio en forma intercambiable. El aluminio, en concentraciones altas, afecta sensiblemente el crecimiento del árbol de cacao, limita el desarrollo del sistema radicular y la absorción de fósforo y calcio. Estos efectos se presentan cuando la saturación de aluminio sobrepasa el 32% (5, 7).

2.5. CALCIO Y MAGNESIO

En los suelos de ladera, sólo el 35,6% y el 42% de las muestras presentaron valores altos de Ca y Mg, superiores a 7,5 y 2,0 meq/100 g, respectivamente; el 33,7 y 45,8% de las muestras presentaron contenidos bajos de Ca y Mg.

Por el contrario, los suelos aluviales mostraron que, más del 90% de las muestras analizadas presentaban valores altos de Ca y Mg por encima de 7,5 y 2,0 meq/100 g, respectivamente.

Es importante anotar que el bajo contenido de Ca y Mg en el suelo de ladera, parece estar íntimamente relacionado con la acidez y el contenido de aluminio intercambiable (Figura 1).

De acuerdo a lo expuesto en párrafos anteriores y a los datos de la Figura 1, en las zonas de ladera predominan los suelos ácidos, con alto contenido de Al intercambiable y bajo contenido de Ca y Mg. Bajo estas condiciones químicas, es recomendable la aplicación de enmiendas o correctivos a base de cal dolomítica preferiblemente.

Estudios realizados en Bahía, Brasil, mostraron que el encalamiento es eficiente en la neutralización del Al y la elevación de los contenidos de Ca y Mg del suelo, independiente de las proporciones de estos elementos en la composición de las cales utilizadas. Las mejores

relaciones Ca/Mg del suelo según los resultados del ensayo para un buen desarrollo de arbolitos de cacao, fluctuó entre 0,3 y 1,0 (4).

2.6. MATERIA ORGANICA

Los contenidos de materia orgánica de los suelos aluviales y de ladera, resultaron aproximadamente iguales en porcentaje; el 31 - 38% de las muestras presentaron valores altos, superiores al 3,5% y el 21 - 27% valores bajos, por debajo del 2%. Este último grupo de suelos es muy probable que responda a la fertilización nitrogenada, especialmente en aquellas zonas en donde haya alta luminosidad y el cultivo de cacao esté poco sombreado.

El nitrógeno, según Morais y colaboradores, además de mostrar un efecto lineal en la producción de cacao, tiene una interacción favorable con el fósforo.

Resultados de diversos investigadores han demostrado que el árbol de cacao sólo responde a los abonos nitrogenados cuando se cultiva bajo altas intensidades de luz (6).

2.7. FOSFORO

En los suelos de ladera, sólo el 21,8% de las muestras presentó contenidos altos de fósforo superiores a 15 ppm, mientras que un 55,8% mostró valores bajos de este elemento inferiores a 5 ppm. Por el contrario, en los suelos aluviales, el 54% de las muestras analizadas presentó contenidos altos de fósforo, mayor de 15 ppm, y sólo el 7% de las muestras, valores bajos inferiores a 5 ppm de P aprovechable.

Según ensayos realizados por Morais y colaboradores, el fósforo es el principal elemento que limita la producción de cacao cultivado bajo

condiciones de sombra, confirmando lo encontrado en Ghana por Cunningham y Arnold.

El efecto del fósforo es más pronunciado en aquellos suelos con bajo contenido de P disponible. En estudios realizados por Cabala y Santana en suelos de la región sur de Bahía, Brasil, se encontró que la respuesta del cacao a la incorporación de fertilizantes fosfatados disminuye cuando el P disponible del suelo es mayor de 5 ppm, desapareciendo completamente a partir de 15 ppm (1).

Las respuestas más notables son debidas a la aplicación de 90 kg de P_2O_5 por hectárea (1).

2.8. POTASIO

Los suelos de ladera presentan 37,8% de muestras con valores bajos de K intercambiable, menores de 0,12 meq/100 g; en los suelos aluviales, el 20% de las muestras mostró contenidos altos de K, mayores a 0,30 meq/100 g; el 75%, contenido medio entre 0,12 y 0,30 meq/100 g y sólo el 5% de muestras señalaron contenido bajo de elemento.

Cabala, Santana y Miranda, en estudios llevados a cabo en Bahía, Brasil, encontraron efectos depresivos en la producción de cacao, principalmente cuando se aplican 60 kg de K_2O por hectárea (1). Por otro lado, Morais, Santana y Chepote encontraron que el potasio contribuye a enmascarar el efecto debido al fósforo, lo cual sugiere una interacción PK negativa. También sugirieron que la falta de respuesta del cacao al potasio se puede deber a la rápida lixiviación del K aplicado o al exceso de sombra en las áreas experimentales. Ahenkorah y Akrofi encontraron últimamente una interacción negativa K - sombra en cacaotales de Ghana, África (6).

3. APLICACION DE CORRECTIVOS Y FERTILIZANTES

Cuando los resultados de los análisis indiquen suelos ácidos y deficiencia de nutrientes, será necesario pensar en la aplicación racional de correctivos y fertilizantes.

La aplicación de la cal, preferiblemente dolomítica, se hará después de la limpieza del terreno, aprovechando el estaquillado para el establecimiento del sombrío temporal. La incorporación se hará al voleo, utilizando medidas para el espacio comprendido entre cuatro estacas de acuerdo a la necesidad de cal por unidad de superficie. En suelos de textura franca o más pesada, la aplicación podrá ser hecha de una vez, hasta 3.800 kg/Ha, si el suelo así lo exige o en forma fraccionada, anualmente, si la cantidad necesaria fuese mayor. Para los suelos arenosos - livianos, la cantidad de cal a aplicar, por año, no podrá exceder los 1.500 kg/Ha (2).

3.1. FERTILIZACION

En la Tabla 2 están contenidas las recomendaciones para la aplicación de fertilizantes en plantaciones de cacao técnicamente establecidas. Es importante resaltar la necesidad de efectuar un raleo previo del sombrío existente antes del abonamiento, con el fin de aprovechar al máximo los elementos incorporados.

3.2. NORMAS PARA LA APLICACION DE LOS FERTILIZANTES

La aplicación de fertilizantes, según la edad de los árboles de cacao, se hará de acuerdo a las siguientes indicaciones (2):

TABLA 2. Recomendaciones mínimas de fertilizantes para cacao en producción de acuerdo a los niveles críticos: Bajo, medio y alto para materia orgánica (M.O, %), Fósforo aprovechable (ppm, Melich) y Potasio intercambiable (meq/100 g).

	Dosis en kg/Ha	
	Elemento	Fuente
<u>Materia Orgánica</u> (%)	N*	Urea (46% N)
Bajo - Menor de 2	50 - 75	110 - 160
Medio - 2,0 - 3,5	50 - 75	110 - 160
Alto - Mayor de 3,5	50 - 75	110 - 160
<u>P en ppm</u> (<u>Melich</u>)**	P_2O_5	Superfosfato triple del 48% P_2O_5
Bajo - Menor de 6,0	75 - 100	150 - 210
Medio - 6,0 - 15,0	50 - 75	100 - 150
Alto - Mayor de 15,0	30	60
<u>K en meq/100 g</u>	K_2O	KCl del 60% K_2O
Bajo - Menor de 0,12	50 - 75	80 - 125
Medio - 0,12 - 0,30	25 - 50	40 - 80
Alto - Mayor de 0,30	20	30

* Dosis para suelos de zonas de alta luminosidad y cultivos con poco sombrío. Para zonas de cultivos excesivamente sombreados y poca luminosidad, no se recomienda la aplicación de fertilizantes nitrogenados.

** Aproximadamente el doble de estos valores para el método de Bray II.

- . 1. Al segundo mes después del trasplante, la fertilización se hará en círculo de 0,5 m de radio (Figura 3).
- . 2. A los 12 y 24 meses después del trasplante, la fertilización se hará en círculo de 1,0 m de radio (Figura 3).
- . 3. Del tercero al quinto año, la fertilización se realizará en círculo de 1,5 m de radio (Figura 3) y de ahí en adelante en el área comprendida entre cuatro árboles de cacao. La fertilización nitrogenada, dos meses después del abono completo o básico.
- . 4. En aquellos terrenos pendientes o accidentados, los fertilizantes se aplicarán en la mitad superior del círculo cubriendo el abono con hojarasca para protegerlo de las aguas lluvias.

4. RESUMEN Y RECOMENDACIONES

El presente artículo tiene como finalidad primordial el evaluar la fertilidad natural de los suelos ocupados con cacao en el departamento de Antioquia, procurando establecer diferencias de requerimientos nutricionales entre los suelos aluviales y los de ladera. Se contó, para tal efecto, con los resultados de aproximadamente 500 análisis de suelos realizados en el Centro Experimental Palmira del ICA en Palmira, Valle.

En los suelos de ladera, el 21,2% de las muestras analizadas presentó pH por debajo de 5,0 y un 45,5% a valores de pH entre 5,0 y 6,0; los mismos suelos presentaron un 78,5% de muestras con contenidos altos de Al superiores a 0,5 meq/100 g y un 33,7 y 45,8 con valores bajos de Ca y Mg, respectivamente. De lo anterior se deduce que estos

PLANTACION TECNICAMENTE FORMADA

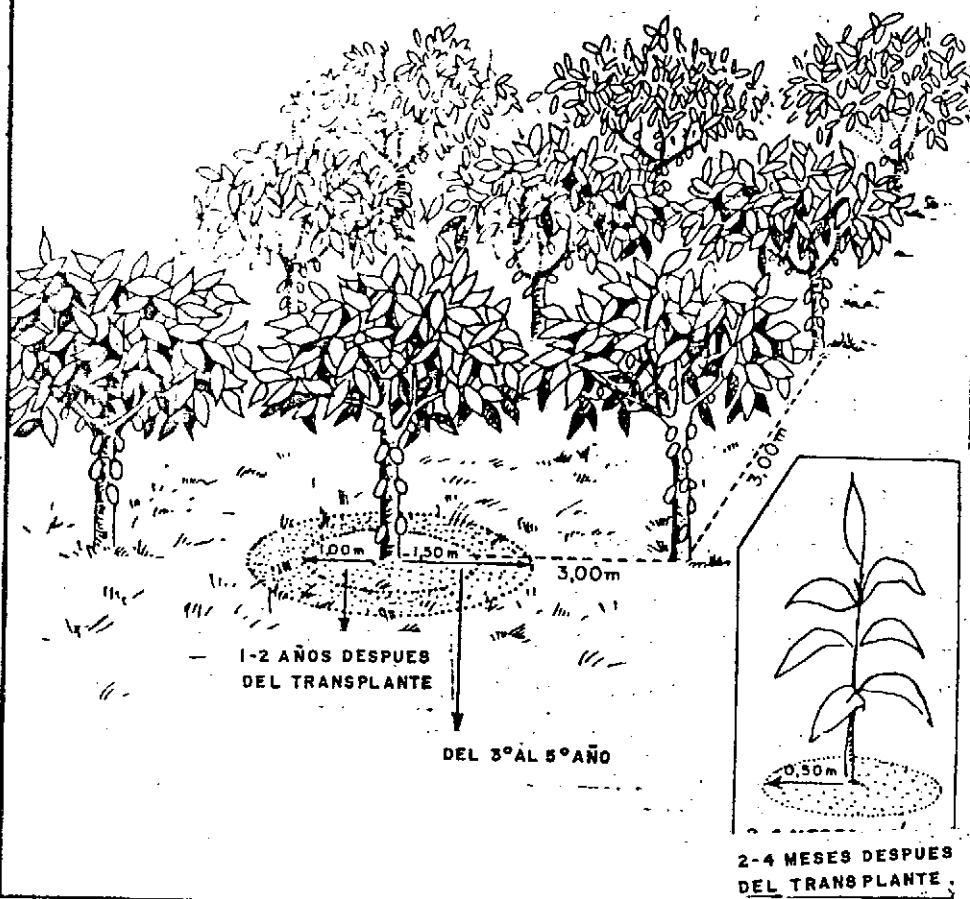


FIGURA 3: FERTILIZACION DE CACAO, EN PLANTACION TECNICAMENTE FORMADA (Adaptado de CEPEC, 1978).

suelos requieren la aplicación de correctivos, con el fin de contrarrestar el Al intercambiable y aumentar el contenido de Ca y Mg.

El contenido en porcentaje de materia orgánica es aproximadamente igual en los suelos aluviales y de ladera, presentándose un 21 y 27% de muestras con valores bajos de materia orgánica para dichos suelos. Estos suelos es muy probable que respondan a los fertilizantes nitrogenados, especialmente en aquellos cultivos donde los árboles de cacao estén poco sombreados.

El 55,8% de las muestras analizadas en los suelos de ladera presentó contenidos bajos de P inferiores a 5 ppm, mientras que en los suelos aluviales sólo el 7% de las muestras mostró dicho contenido. En estos suelos, es casi seguro que haya respuesta a la fertilización fosfatada, especialmente a la incorporación 75 - 100 kg de P_2O_5 por hectárea.

Los suelos de ladera presentan un 37,8% de muestras con valores bajos de K intercambiable menores de 0,12 meq/100 g; por el contrario, en los suelos aluviales, sólo el 5% señalaron contenidos bajos de este elemento. Este tipo de suelos posiblemente responda a la aplicación de fertilizantes potásicos, pero es importante evaluar las dosis a aplicar, puesto que en Brasil se han constatado efectos depresivos en las producciones y un enmascaramiento del fósforo, debido a una interacción negativa P-K. La poca respuesta al potasio en suelos con un contenido del elemento superior a 0,12 meq/100 g de suelo, se puede deber al excesivo sombrero en las plantaciones, según la interacción negativa K - sombra, encontrada por Ahenkorah y Akrofi en cacaotales de Ghana.

Es muy importante que en el departamento de Antioquia se inicien, a la mayor brevedad posible, ensayos tendientes a reunir información sobre los siguientes aspectos:

- .1. Ensayos de fertilización con base en N, P_2O_5 , K_2O , Ca y Mg en cultivares en desarrollo y producción con diferentes densidades de sombrío para evaluar la interacción sombra -fertilización. Estos ensayos se deben zonificar para suelos aluviales de Urabá, Magdalena Medio, Bajo Cauca y suelos de ladera en las zonas marginales para café de Suroeste, Nordeste y Oriente del departamento.
- .2. Ampliar la cobertura de los análisis de suelos en todas las zonas cacaoteras para evaluar la fertilidad natural de los mismos.
- .3. Estudiar la interacción fertilización por poblaciones, es decir, cultivos de cacao sembrados a diferentes distancias de siembra y aplicación de fertilizantes.
- .4. Teniendo en cuenta el cacao como cultivo principal y el plátano como sombrío temporal o transitorio, estudiar:
 - Las asociaciones durante los primeros dos años entre el cacao, plátano y fríjol, con relación a la fertilización de los tres cultivos con N, P_2O_5 , K_2O y Cal.
 - Distancias de siembra y poblaciones de fríjol con relación al plátano y cacao.
- .5. Efectuar ensayos de abonamiento orgánico a base de los residuos de la cosecha, especialmente cáscaras, con el fin de comparar los resultados con los obtenidos en la fertilización a base de fertilizantes químicos.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. CABALA ROSAND, F.P.; SANTANA, C.J.L.; MIRANDA, E.M.
Respuesta del cacaotero al abonamiento en el sur de Bahía, Brasil. Itabuna, CEPEC, 1976. 19p. (Boletín Técnico No. 43).
2. CENTRO DE PESQUISAS DO CACAU (CEPEC). Normas para utilizacao de fertilizantes e corretivos na regio cacauera de Bahia Itabuena. Bahía, 1978.
3. COMPAÑIA NACIONAL DE CHOCOLATES. El Cacaotero Colombiano; Producción y Consumo. no.12, 9p. Marzo 1980.
4. MORAIS, F.I.; PRADO, E.P.; CABALA ROSAND, F.P; SANTANA, M.B.M. Efecto da Mistura de Carbonatos de Calcio y Magnesio no desenvolvimento de plantulas de cacau. Revista Theobroma 5(1): 21-30. 1975.
5. _____; SANTANA, C.J.L.; CHEPOTE, R.E. A fertilizacao do cacau no Brasil. Doce años de pesquisas. Itabuena, Bahía, Brasil, CEPEC, 1977. 28p. (Boletín Técnico No. 55).
6. _____; SANTANA, C.J.L.; CHEPOTE, R.E. Respostas do cacau ao nitrogenio, fósforo e potassio em solos da regio cacauera da Bahía, Brasil, Revista Theobroma 8(1): 31-41. 1978.
7. _____; SANTANA, C.J.L.; SANTANA, M.B.M. Efeito da aplicacao de calcario e fósforo no crescimento de plantulas de cacau em casa de vegetacao. Revista Theobroma 8(2):73-85. 1978.

ASPECTOS SOBRE SUELOS Y FERTILIZACION DEL ARROZ
DE RIEGO CON ENFASIS EN COLOMBIA

Luis Fernando Sánchez S.*

1. INTRODUCCION

El origen del cultivo del arroz se remonta a unos 5.000 años. Con el paso del tiempo, el cultivo ha adquirido una diversidad de métodos de cultivo, que varían desde el sistema de secano, donde el suelo guarda humedad y aire, hasta inundación constante, donde la planta crece bajo condiciones anaeróbicas del suelo. Generalmente, el crecimiento de todas las variedades de arroz se favorece con la inundación y se calcula que los rendimientos se pueden aumentar más del 60% bajo esta condición. La sumergencia produce una serie de cambios físicos y químicos que modifican el comportamiento inicial del suelo y de los nutrientes esenciales para la planta de arroz, produciendo una situación benéfica para su desarrollo.

En Colombia, aproximadamente el 80% del hectareaje total se cultiva bajo condiciones de riego y en las dos cosechas de 1979, el arroz sembrado en esta forma representó el 89% de la producción nacional (2). En vista de que en el país predomina el sistema de inundación, el propósito del presente artículo consiste en presentar un resumen de las características de los suelos inundados y algunos criterios para hacer recomendaciones de correctivos y fertilizantes para algunas zonas productoras de este cereal que juega un papel muy importante en la economía del país.

* Ingeniero Agrónomo, M.S. Programa Nacional de Suelos, ICA, Estación Experimental La Libertad, Apartado Aéreo 2011, Villavicencio.

2. QUE ES UN SUELO ARROCERO

Los suelos arroceros son aquellos que se manejan de un modo especial, debido al empleo de una lámina de agua desde los primeros estados del cultivo. Las prácticas de manejo incluyen los siguientes pasos:

- .1. Preparación, nivelación y construcción de caballones para retener el agua.
- .2. Mantenimiento de una lámina de agua estandar de 5 a 20 cm durante 4 a 5 meses del cultivo.
- .3. Drenaje y secamiento de los lotes al momento de la cosecha
- .4. Reinundación después de un intervalo de tiempo que varía desde pocas semanas a períodos tan largos como ocho meses.

Estas operaciones y la secreción de oxígeno por las raíces del arroz, conducen al desarrollo de ciertos hechos peculiares de los suelos arroceros.

3. ALGUNAS CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS ARROCEROS

3.1. AUSENCIA DE OXIGENO MOLECULAR

Cuando un suelo se inunda, el intercambio de gas entre el suelo y el aire se corta drásticamente. El oxígeno y otros gases atmosféricos pueden entrar al suelo solamente por difusión molecular en el agua intersticial. Este proceso es 10.000 veces menor que la difusión en los poros llenos de agua y en esta forma, la difusión de oxígeno disminuye

repentinamente cuando el suelo llega a saturación. En las horas siguientes a la inundación, los microorganismos usan el oxígeno presente en el agua o atrapado en el suelo y así, el suelo sumergido queda prácticamente libre de oxígeno molecular, lo cual se ha comprobado en pruebas de laboratorio y campo (9, 10).

También se ha encontrado que un suelo saturado no está uniformemente libre de oxígeno. La concentración de oxígeno puede ser alta en una capa superficial del perfil del suelo, de pocos milímetros de espesor, que está en contacto con el agua oxigenada. Las características químicas y microbiológicas de esta capa son similares a las de los suelos aeróbicos. Debajo de dicha capa, la concentración de oxígeno desciende abruptamente y es prácticamente cero (9, 10, 21).

3.2. REDUCCION DEL SUELO

La diferencia química más importante entre un suelo inundado y uno bien drenado es que el primero se encuentra en estado de reducción. La reducción del suelo consiste en la ausencia total del oxígeno de la capa arable del perfil, con excepción de la capa oxidada. Un suelo reducido es gris o verdoso, tiene un potencial de oxidación-reducción bajo y contiene las contrapartes reducidas de NO_3^- , SO_4^- , Mn^{4+} , Fe^{3+} y CO_2 , las cuales son NH_4 , H_2S , Mn^{++} , Fe^{++} y CH_4 . La reducción del suelo es una consecuencia de la respiración anaeróbica de las bacterias del suelo (9, 10, 21).

El oxígeno es el primer componente del suelo en ser reducido y se torna indetectable un día después de la sumergencia del suelo. El siguiente oxidante en ser atacado es el nitrato, pero la reducción del nitrato se inicia solamente después que la concentración de oxígeno ha caído a valores muy bajos. El dióxido de manganeso sigue al nitrato en la secuencia de la reducción, pero su influencia es más débil que la

de los nitratos, debido a que es insoluble en agua y solamente es usado como aceptor de electrones por un número limitado de bacterias. Sin embargo, el MnO_2 del suelo o el adicionado, retarda la reducción de los suelos inundados y previene la formación de concentraciones altas de Fe^{++} y otros productos de la reducción. El sistema $\text{Fe}(\text{OH})_3\text{-Fe}^{++}$ sigue en la secuencia de la reducción, pero su influencia no es tan notoria como en el caso de los componentes anteriores.

3.2.1. Potencial de Oxidación-Reducción.

La oxidación-reducción es una reacción química en la cual los electrones son transferidos de un donador a un aceptor. El donador pierde electrones y aumenta su número de oxidación, o sea que es oxidado; el aceptor gana electrones, disminuye su número de oxidación y se reduce. La fuente de electrones para las reducciones biológicas es la materia orgánica. Las reacciones de oxidación-reducción de los suelos inundados constituyen una parte de los cambios electroquímicos del suelo. Generalmente, estas reacciones son reversibles y la fuerza de ellas se puede medir en calorías o voltios. Por esta razón, se llama potencial de oxidación-reducción y se designa por E; pero cuando se compara con el electrodo de hidrógeno estandar, el potencial se denota por Eh. También, se puede denotar por pE, en cuyo caso, pE es el logaritmo negativo de la actividad del electrón (9, 10).

El Eh es positivo y alto (0,8 a 0,3 voltios) en el medio aeróbico, indicando su estado de oxidación; es bajo y a veces negativo (0,2 a -0,4 voltios) en los suelos inundados, reflejando su estado de reducción. Cualquier reacción química que envuelva el intercambio de electrones estará influenciada por el potencial redox.

3.2.2. Significado Práctico del Potencial Redox.

No obstante los problemas teóricos y prácticos, el potencial redox de un suelo provee una medida rápida, útil y semicuantitativa de su

estado de oxidación-reducción. Puesto que este estado afecta el crecimiento de las plantas y la vida microbiana del suelo, el Eh puede ser un parámetro útil. Por otra parte, aunque el Eh revela si un suelo es aeróbico o anaeróbico, es una medida insatisfactoria de la concentración de oxígeno de los suelos, pero como el arroz puede crecer en ambos medios, para este cultivo en particular, el Eh es de pequeño valor diagnóstico (10).

3.3. CAMBIOS EN EL pH CON LA INUNDACION

Cuando un suelo aeróbico se inunda, su pH disminuye ligeramente durante los primeros días y luego aumenta paulatinamente hasta alcanzar un valor estable cercano a la neutralidad a las pocas semanas de la sumergencia. El efecto de la inundación incluye el aumento del pH en los suelos ácidos y disminución en los suelos alcalinos y calcáreos (Figura 1).

El aumento del pH en los suelos ácidos se debe a la reducción del suelo, ya que todas las reacciones importantes de reducción que ocurren en un suelo inundado envuelven el consumo de iones H^+ . Puesto que muchos suelos ácidos contienen más óxidos férricos hidratados que cualquier otro oxidante, el aumento del pH se debe grandemente a la reducción del hierro. La producción de iones hidroxilo (OH^-) como resultado de la reducción de compuestos férricos y mangánicos, y la producción de amonio, complementan la explicación de la elevación del pH en los suelos ácidos. La disminución del pH en los suelos alcalinos y calcáreos se debe a la acumulación de CO_2 , ya que se ha demostrado que el pH de estos suelos es altamente sensible a los cambios de la presión parcial del CO_2 (9, 10, 11).

3.3.1. Efectos Relacionados con los Cambios del pH.

El valor del pH afecta profundamente el equilibrio de los hidróxidos, carbonatos, fosfatos y silicatos en los suelos inundados, y por consiguiente modifica su fertilidad. El pH de un suelo inundado ejerce una influencia notable sobre la capacidad de ese suelo para suministrar nutrientes, a través de su efecto directo sobre la concentración y absorción de nutrientes, su efecto directo sobre la concentración de elementos tóxicos, su efecto directo sobre el equilibrio y los mecanismos de sorción y desorción; su influencia sobre los procesos microbiológicos relacionados con la liberación y pérdidas de nutrientes para las plantas y la generación de sustancias tóxicas (9, 10, 11).

La influencia del pH sobre la solubilidad del Al y Fe es de interés especial en suelos ácidos. En éstos, los excesos de Al y Fe son factores tóxicos, mientras en suelos calcáreos y sódicos, la deficiencia de Fe puede limitar el crecimiento del arroz. Cuando el pH es menor de 5,5 la concentración de Al puede ser alta y tóxica para las plantas. Si el suelo se inunda, al aumentarse el pH, la concentración de Al puede llegar a niveles tan bajos que poco influyen en el crecimiento del arroz. Por esta razón, el arroz bajo inundación responde poco al enclamiendo, lo cual se ha comprobado con diferentes variedades (11, 20). En cambio, la concentración de Fe^{++} se aumenta si el suelo es rico en este elemento, hasta niveles que pueden causar toxicidad a la planta de arroz.

3.4. DINAMICA DEL CO_2

En la capa arable de un suelo inundado se producen de 1 a 3 t/Ha de CO_2 durante las primeras semanas de sumergencia. Siendo químicamente activo, forma ácido carbónico, bicarbonatos y carbonatos insolubles. Los excesos se acumulan como gas. La presión parcial del

CO_2 (P_{CO_2}) es una buena medida de la acumulación del CO_2 y se puede calcular del pH y la concentración de CO_2 total determinado por cromatografía de gas.

3.5. RESPIRACION ANAEROBICA

La sumergencia del suelo corta el suplemento de oxígeno. Los organismos aeróbicos usan el oxígeno presente en el suelo y al agotarse, se vuelven latentes o mueren. Los facultativos y anaeróbicos facultativos, proliferan usando compuestos carbonados como sustrato y componentes oxidados del suelo y productos del catabolismo de la materia orgánica como aceptores de electrones en la respiración (9, 10).

3.6. DESCOMPOSICION DE LA MATERIA ORGANICA

La descomposición de la materia orgánica en un suelo inundado es diferente a la de un suelo aireado en dos aspectos: a) Es más lenta, y b) Los productos finales no son los mismos. En un suelo bien drenado, los productos finales más importantes son: CO_2 , nitratos, sulfatos y residuos resistentes (humus). En suelos inundados, ellos son: CO_2 , hidrógeno, metano, amonía, aminas, mercaptanos, H_2S y residuos parcialmente humificados (9, 10).

3.7. CAMBIOS EN EL NITROGENO

El N está presente en los suelos, principalmente como sustancias orgánicas complejas, amonía, nitrógeno molecular, nitritos y nitratos. Estas sustancias sufren transformaciones microbiológicas, reguladas por el ambiente químico y físico. En suelos inundados, las transformaciones principales son la acumulación de amonía, desnitrificación y fijación de nitrógeno (10, 15, 21, 23).

La mineralización del nitrógeno orgánico en suelos inundados llega hasta amoníaco por la falta de oxígeno para seguir el proceso vía nitrito a nitrato. En esta forma, la amoníaco se acumula en suelos anaeróbicos. La amoníaco se deriva de la deaminación anaeróbica de los aminoácidos, degradación de las purinas o hidrólisis de la úrea (Figura 2).

Los nitratos sufren dos transformaciones en suelos sumergidos:
a) Asimilación o reducción de nitratos con incorporación de los productos dentro de las sustancias celulares; b) Catabolismo o respiración de los nitratos, en la cual el nitrato funciona como una alternativa del oxígeno en aceptor de electrones (Figura 2).

La desnitrificación se inicia por un gran número de bacterias y hongos que incluyen especies heterotróficas y autotróficas. Estos organismos facultativos, transforman el nitrato a nitrógeno y sus óxidos a muy bajas concentraciones de oxígeno.

La fijación del nitrógeno es la reducción del nitrógeno (N_2) a amoníaco (NH_3). Esta reacción necesita reductantes y ocurre a un bajo Eh. Los miembros de los siguientes géneros pueden fijar nitrógeno en suelos arroceros: Nostoc, Anabaena, Ocillatoria y otras especies.

El conocimiento del comportamiento del N en los suelos arroceros es fundamental para el buen manejo de los fertilizantes nitrogenados y así evitar pérdidas de un elemento tan costoso en Colombia.

3.8. CAMBIOS EN EL FOSFORO

Cuando un suelo sufre reducción, se aumentan las concentraciones de fósforo soluble en agua y fósforo disponible. El aumento en la concentración de P se ha atribuido a varias causas, de acuerdo con una revisión sobre este aspecto (18).

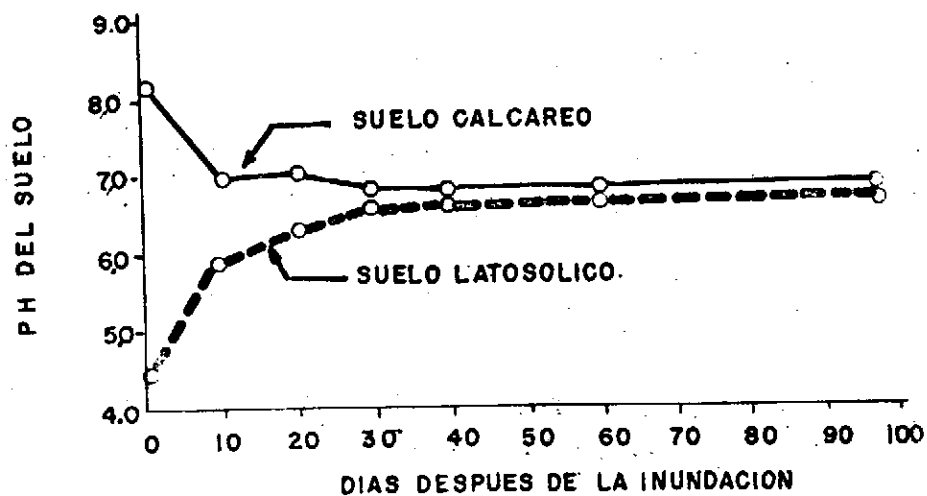


FIGURA 1: CAMBIOS DEL pH DE DOS SUELOS BAJO INUNDACION CONSTANTE (SANCHEZ, 1972)

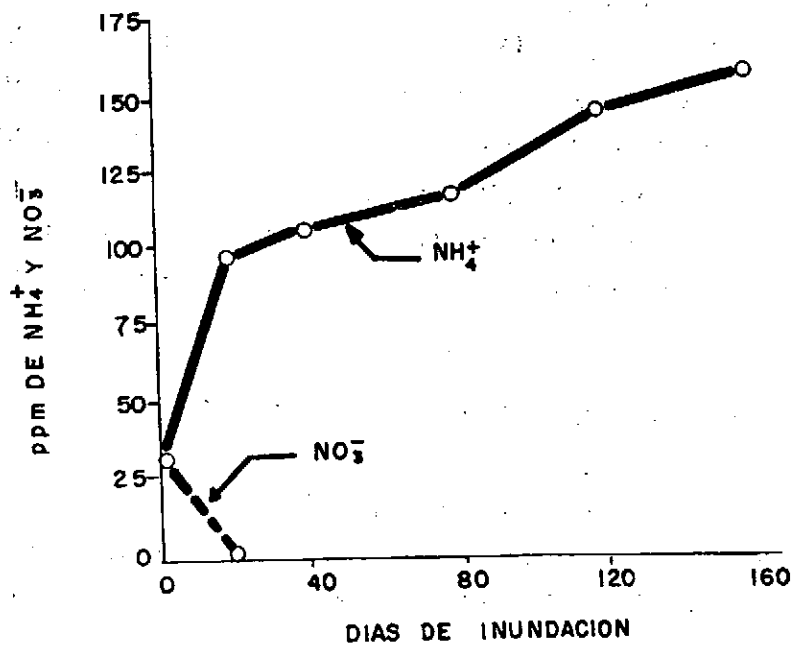


FIGURA 2: EFECTO DE LA INUNDACION CONSTANTE SOBRE LA CONCENTRACION DE LOS IONES NH₄⁺ Y NO₃⁻ (SANCHEZ, 1972)

- .1. Liberación del fósforo de la materia orgánica
- .2. Aumento en la solubilidad de los fosfatos de calcio asociados con la disminución del pH en suelos alcalinos y calcáreos.
- .3. Reducción de fosfatos férricos a formas más solubles
- .4. Aumento de la solubilidad de fosfatos de hierro y aluminio a causa del aumento del pH de los suelos ácidos.
- .5. Desplazamiento de los iones fosfato de los compuestos de hierro y aluminio por aniones orgánicos.

Al aumentarse la concentración de P en los suelos inundados, la respuesta a la aplicación de los fertilizantes fosfatados no es tan marcada, a no ser que el suelo sea muy bajo en este elemento, en cuyo caso el efecto del P sobre el rendimiento es casi lineal hasta una dosis de 150 kg/Ha de P_2O_5 . Esta última situación es lo común en muchos suelos arroceros de los Llanos Orientales. Otros, sin embargo, han recibido fertilización fosfatada durante 10 a 15 años a base de Escorias Thomas, y en ello se ha elevado la concentración de fósforo y calcio y se ha disminuído su capacidad de fijación de fosfatos, razones por las cuales se pueden usar fertilizantes más solubles y en dosis más bajas (16,18).

3.9. CAMBIOS EN LOS ELEMENTOS SECUNDARIOS

La inundación favorece el aumento de las concentraciones de Ca, Mg y K por la meteorización de los feldspatos y micas, lo cual es acelerado por la reducción del suelo. Sin embargo, los cambios en estos elementos son menos notorios que los ocurridos con el N y P.

Las transformaciones del azufre (S) en suelos aireados son: a) La oxidación del azufre elemental, sulfuros y compuestos de la materia

orgánica a sulfatos; b) Incorporación de los sulfatos dentro de los tejidos de plantas y microorganismos. En suelos inundados, los principales cambios son la reducción de los sulfatos a sulfuros y la disimilación de los aminoácidos sulfurados, cisteína, cistina y metionina a H_2S , amonía y otros compuestos reducidos. La reducción de los sulfatos se lleva a cabo por un grupo de bacterias obligadas al género Desulfovibrio, que usan los sulfatos como aceptores terminales de electrones en la respiración (10, 11).

3.10. CAMBIOS EN LOS ELEMENTOS MENORES

Cuando un suelo se inunda, las concentraciones de Fe, Mn y Mo solubles en agua se aumentan, las de Cu y Zn disminuyen y la de B no sufre cambios apreciables. El aumento de las concentraciones de Fe y Mn se debe a la reducción de sus componentes oxidados a formas Fe^{++} y Mn^{++} , y la de Mo posiblemente se debe a la desorción de los óxidos de Fe (III) y al aumento del pH. Las concentraciones de Cu y Zn disminuyen por el aumento del pH del suelo con la inundación y probablemente a la formación de complejos insolubles (10, 11, 12).

Para algunos autores, el cambio químico más importante que tiene lugar cuando se inunda un suelo es la reducción del hierro y el consiguiente aumento de su solubilidad, lo cual es benéfico para el arroz en suelos deficientes en este elemento, pero perjudicial en suelos ácidos ricos en él, debido a que concentraciones muy altas de Fe^{++} pueden causar toxicidad. Esto último, ocurre en los suelos arroceros de los Llanos Orientales, produciendo una enfermedad fisiológica denominada "anaranjamiento" (3, 7).

4. EXTRACCION DE NUTRIMENTOS POR UN CULTIVO DE ARROZ

Para tener una idea de la cantidad de nutrientes extraídos por una cosecha de arroz, la información más completa corresponde a los datos reportados por Tanaka y colaboradores (22), los cuales muestran las cantidades de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn y Si utilizadas durante un cultivo de arroz, tal como se indica en la Tabla 1, asumiendo un rendimiento aproximado de 4.800 kg/Ha de arroz paddy.

TABLA 1. Promedio de nutrientes extraídos por un cultivo de arroz (22).

Nutrimento	Cantidades extraídas en una cosecha (kg/Ha)		Cantidades extraídas por tonelada de arroz (kg)	
	Total	Panícula	Total	Panícula
N	90	48,0	19,0	10,0
P	20	12,0	4,3	2,7
K	219	11,0	47,0	2,3
Ca	34	12,0	7,2	2,6
Mg	25	9,0	5,3	1,9
Fe	12	1,6	2,6	0,3
Mn	12	2,3	2,6	0,5
Si	829	173,0	177,0	37,0

Se observa que el arroz extrae mucho silicio, el cual tiene una serie de efectos indirectos que favorecen el desarrollo del cultivo. En los

suelos del Japón, el Si es deficiente y por esta razón, han encontrado respuestas favorables a su aplicación (22). Al Si le sigue en importancia la extracción de K, luego N, Ca, Mg y P, indicando con ello que la fertilización es indispensable para el buen éxito del cultivo.

Según datos del IRRI (6), el tamo de arroz tiene la siguiente composición: N = 0,6%; P = 0,1%; K = 3%; Si = 8% y otros nutrimentos en menor cantidad. Esto muestra que parte de los elementos vuelven al suelo al incorporar el tamo; pero su disponibilidad para las plantas dependerá de la descomposición de la materia orgánica (1).

5. ZONAS PRODUCTORAS DE ARROZ RIEGO EN COLOMBIA

En la Tabla 2 se presenta la superficie cultivada, la producción total en toneladas de arroz paddy y los rendimientos promedios por hectárea de las principales regiones de Colombia, donde se sembraron más de 500 hectáreas de arroz de riego en las dos cosechas de 1979 (2).

Se observa que en 1979 fueron sembradas 279.610 hectáreas que representaron el 83,3% del área total cultivada en el país. El porcentaje restante, está representado por el secano mecanizado y pequeñas áreas de arroz riego. Bajo este sistema, se produjeron 1.526.655 toneladas de arroz paddy que significaron el 89% de la producción nacional, para un rendimiento promedio de 5.065 kg/Ha. Estos datos son elocuentes para mostrar la importancia del arroz de riego en Colombia, cuyas implicaciones socio-económicas son trascendentales en la economía del país.

Es importante anotar, que los departamentos de Bolívar, Cesar, Córdoba, Huila, Magdalena, Meta, Norte de Santander, Tolima y Valle del

TABLA 2. Superficie cultivada, producción y rendimientos por hectárea de arroz riego en Colombia en el año de 1979 (2).

Departamento	Area sembrada (Ha)	Producción total (toneladas paddy)	Rend. \bar{X} (kg/Ha)
Antioquia	830	3.735	4.500
Bolívar	7.450	38.090	5.150
Boyacá	800	3.215	4.150
Caldas	650	3.165	5.050
Cauca	3.300	14.930	4.500
Casanare	3.840	17.280	4.500
Cesar	52.000	274.700	5.150
Córdoba	4.180	21.874	5.250
Cundinamarca	3.650	20.970	5.750
Guajira	2.580	11.844	4,650
Huila	30.500	178.470	5.850
Magdalena	10.000	50.800	5.000
Meta	41.500	194.850	4.725
N. Santander	13.100	73.360	5.600
Santander	17.100	88.800	5.150
Tolima	80.050	490.172	6.130
Valle del Cauca	<u>8.080</u>	<u>40.400</u>	<u>5.000</u>
TOTALES	279.610	1.526.655	5.065

Cauca son tradicionalmente productores de arroz y debido a eso, se tiene mayor información sobre las características de los suelos.

5.2. NIVELES DE FERTILIDAD DE LAS PRINCIPALES ZONAS PRODUCTORAS DE ARROZ.

En la Tabla 3 se presentan los datos sobre la distribución porcentual de los valores de pH, fósforo (P), potasio (K) y de la relación Ca/Mg de los suelos de los principales departamentos productores de arroz. No se incluyen los datos de materia orgánica, debido a que no se han establecido sus niveles críticos para este sistema de cultivo (5).

5.2.1. Interpretación de los Niveles de Fertilidad.

Las características de los suelos, según análisis de suelos efectuados en el período 1965-1978 se agruparon en las siguientes escalas de valores (5):

.1. pH:

Bajo (B), suelos con pH menor o igual a 5,5

Medio (M), suelos con pH comprendido entre 5,6 - 7,3

Alto (A), suelos con pH mayor de 7,3

.2. Fósforo (P):

Bajo (B), suelos con 10 ppm o menos

Medio (M), suelos con P comprendido entre 10 - 20 ppm

Alto (A), suelos con más de 20 ppm.

TABLA 3. Distribución porcentual de los valores de pH, P, K y de la relación Ca/Mg de los suelos de los departamentos productores de arroz (5).

Departamentos	pH			P			K			Ca/Mg		
	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A
Bolívar	33	66	1	22	29	49	51	18	31	20	80	0
Cesar	18	70	12	19	25	59	37	15	8	3	46	51
Córdoba	24	75	1	58	26	16	57	20	23	13	87	0
Huila	20	74	6	36	15	49	81	9	10	0	58	42
Magdalena	14	83	3	11	16	73	85	7	8	67	0	33
Meta	89	10	1	65	22	13	93	3	4	27	30	43
N. Santander	26	68	6	33	32	35	89	11	0	17	25	58
Tolima	8	78	14	38	26	36	74	14	12	1	52	47
Valle del Cauca	25	50	15	49	15	36	55	10	35	15	77	8

.3. Potasio (K):

Bajo (B), suelos con 0,15 meq/100 g o menos

Medio (M), suelos con K comprendido entre 0,15 - 0,30 meq/100 g

Alto (A), suelos con más de 0,30 meq/100 g de K

.4. Relación Ca/Mg:

Bajo (B), suelos con relación de uno o menor

Medio (M), suelos con relación comprendida entre 1,1 - 3,0

Alto (A), suelos con relación mayor de 3,0.

En la Figura 3 se presenta una interpretación ilustrada de los niveles Bajo, Medio y Alto, respecto a las necesidades relativas de fertilizantes, de acuerdo con el nivel de fertilidad del suelo (5).

6. CRITERIOS A TENER EN CUENTA PARA LA APLICACION DE CORRECTIVOS Y FERTILIZANTES

La inundación no sólo tiene efectos favorables sobre la disponibilidad de los nutrimentos nativos del suelo y la disminución de los elementos tóxicos como el Al debido al aumento del pH, sino que también ejerce una influencia benéfica sobre la aprovechabilidad de los fertilizantes, especialmente los fosfatados (18). Se ha comprobado que en un mismo suelo, el arroz absorbió más P del suelo y del fertilizante cuando creció bajo inundación que en seco y así mismo produjo mayores rendimientos (18). El aumento en la asimilación del P con la inundación fue atribuido al incremento de su disponibilidad, tanto del suelo como del fertilizante, lo cual a su vez se debe a la reducción y a la hidrólisis que se produce.

ANALISIS DE SUELO

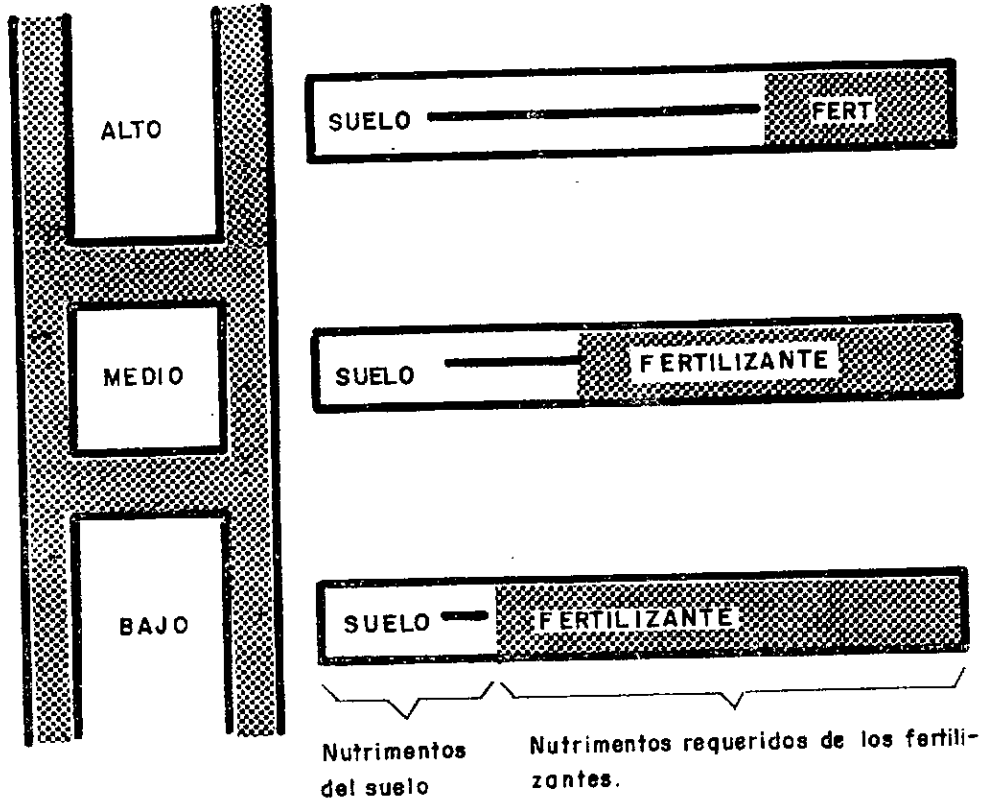


FIGURA 3 . NECESIDADES RELATIVAS DE NUTRIMENTOS A DIFERENTES NIVELES DE FERTILIDAD DEL SUELO (5).

6.1. NECESIDADES DE CORRECTIVOS

Se ha comprobado que el arroz bajo riego responde poco al encalamiento con el propósito de neutralizar el Al intercambiable, lo cual se ha atribuído a que al aumentar el pH, a medida que transcurre el tiempo de inundación, progresivamente se disminuye el Al, evitándose su toxicidad (20). Para suelos extremadamente ácidos, altos en Al y bajos en Ca, como los de la Orinoquía y Caquetá, se podría aplicar la siguiente fórmula de encalamiento:

$$t/\text{Ha de cal} = 0,35 \times \text{Al (meq/100 g)}$$

Con este encalamiento, se pretende neutralizar algo de Al para que la plántula pueda crecer mejor antes de la instalación del riego definitivo y además, suministrar Ca como nutrimento. La cal se debe aplicar uniformemente al voleo 15 a 20 días antes de la siembra e incorporándola con rastrillo.

6.2. CRITERIOS PARA LA FERTILIZACION NITROGENADA

En el cultivo de arroz de riego, la fertilización nitrogenada no se hace en base al contenido de materia orgánica del suelo, debido a que ésta no ha correlacionado bien con las dosis de N y ha sido difícil establecer niveles críticos. Por estas razones, el N se ha estudiado mediante pruebas regionales y se dan las recomendaciones en base a los resultados obtenidos (4, 8, 14, 20).

Mediante experimentos de campo, se ha encontrado que en zonas donde hay alta incidencia de P. oryzae Cav., como en los Llanos Orientales, hay una estrecha relación entre el ataque de la enfermedad y la dosis de N, es decir, a mayor cantidad de N, mayor ataque del hongo en variedades susceptibles; esta situación se acentúa cuando se usa

sulfato de amonio como fuente de N (13, 17, 21). En consecuencia, para zonas donde predomine este problema, no se podrán usar altas dosis de N (22).

De acuerdo con lo anterior, para decidir la dosis de N, se deberá tener en cuenta, entre otros, los siguientes criterios:

- .1. Variedad y su susceptibilidad a piricularia
- .2. Volcamiento
- .3. Incidencia y control de enfermedades
- .4. Criterio del Asistente Técnico de la zona

En términos generales, se puede decir que asumiendo un buen manejo del cultivo, para la Orinoquía y Caquetá, la dosis de N puede estar entre 80 - 120 kg/Ha (20). Para la zona de Norte de Santander 100 - 150 kg/Ha de N (4, 8). Para el Tolima y el Huila, 150 - 200 kg N/Ha (8, 14). Para el Valle del Cauca y la Costa Atlántica, 100 - 200 kg N/Ha (5, 8).

6.2.1. Fuentes y Epocas de Aplicación de Nitrógeno.

La mejor fuente de N para el arroz de riego es la úrea, ya que por su alta concentración (46% de N) implica menores costos de transporte y aplicación por unidad de N. Además, la forma del N de la úrea es una de las más convenientes para arroz bajo inundación.

Las pruebas regionales sobre épocas de aplicación de N indican que la mejor forma de aplicar el N es fraccionando la dosis total en tres partes iguales y suministrar 1/3 a los 25 - 30 días después de la

germinación, 1/3 a los 50 - 55 días y 1/3 a los 70 - 75 días. De esta manera, las pérdidas de N son menores y se adiciona en los estados críticos del cultivo.

6.3. CRITERIOS PARA LA FERTILIZACION CON FOSFORO Y POTASIO:

La fertilización con P y K se debe basar en el análisis de suelos de la finca y para ello, se han establecido tentativamente Niveles Críticos para estos dos nutrimentos, para algunas zonas arroceras del país. En la Tabla 4 se presentan las recomendaciones de P_2O_5 y K_2O para los niveles Bajo y Medio (4, 5, 14, 20).

TABLA 4. Recomendaciones mínimas de P_2O_5 y K_2O para arroz riego, según los niveles críticos en los suelos.

Zona Arroceras	P_2O_5 /Ha		K_2O /Ha	
	B	M	B	M
Costa Atlántica	40 - 60	20 - 40	40 - 60	20 - 40
Tolima - Huila	40 - 60	20 - 40	30 - 50	30 - 40
Valle del Cauca	30 - 50	20 - 30	60 - 90	30 - 60
N. Santander	40 - 60	20 - 40	40 - 60	20 - 40
Meta - Caquetá	75 - 100	50 - 75	60 - 90	30 - 60

6.3.1. Fuentes y Epocas de Aplicación de Fósforo.

Las fuentes de P son muy numerosas, pero entre las más comunes y con las cuales se ha realizado la mayoría de las investigaciones en

arroz están los superfosfatos, las Escorias básicas y las rocas fosfóricas. La fuente de P a utilizar depende del suelo que se vaya a fertilizar. Si son suelos que no tienen problemas de fijación de P, como los suelos arroceros de la Costa Atlántica, Tolima, Valle del Cauca y N. de Santander, los superfosfatos son las mejores fuentes. Si se trata de suelos altamente fijadores de P, son más convenientes las Escorias Thomas y las rocas fosfóricas por su lenta disponibilidad. En la Orinoquía, la mejor fuente es Escorias Thomas (16, 18).

En las fincas arroceras donde se fertiliza extensivamente, generalmente se aplica el P como abono básico antes o al momento de la siembra, teniendo en cuenta su escasa movilidad en el suelo y el alto requerimiento del cultivo en las primeras etapas de su desarrollo. Se hace usualmente al voleo con o sin mezcla con el suelo, dependiendo de la fuente, ya sea con la última rastrillada o inmediatamente antes de la siembra o antes del transplante. Aplicaciones tardías de P no han dado los mejores resultados (16).

6.3.2. Fuentes y Epocas de Aplicación del Potasio.

Las mejores fuentes de K son el cloruro de potasio (60% de K_2O), el sulfato de potasio (50% de K_2O) y el sulfato doble de potasio y magnesio (22% de K_2O , 11% de Mg y 18% de S). El KCl se puede usar en aquellos suelos que necesitan solamente K; el K_2SO_4 en suelos donde haya deficiencias de azufre; el sulfato doble de potasio y magnesio (Sulfomag) en donde haya problemas de K, Mg y S.

El K generalmente se debe aplicar fraccionado; la mitad al momento de la siembra y la mitad restante con la primera dosis de N. En esta forma, es más eficiente y hay menos pérdidas por lixiviación.

6.4. ELEMENTOS SECUNDARIOS Y MENORES

Los problemas de elementos secundarios y menores son más localizados y por tal motivo no se dan criterios sobre su aplicación. Se han reportado y son muy conocidos los problemas de Zn y B en el Valle del Cauca, de Zn en el Tolima y de Zn en una zona muy específica del Pie de Monte Llanero, pero al mismo tiempo se conoce la solución. En forma general, se puede decir que el Zn es el elemento más comúnmente deficiente en los campos arroceros del mundo y dentro de los micronutrientes es el más estudiado (12).

7. CONCLUSIONES

Teniendo como base los conceptos reportados por los investigadores que se consultaron para elaborar el presente artículo, se puede concluir lo siguiente:

1. Los suelos dedicados al cultivo de arroz con riego tienen un manejo especial, debido a que se alternan las condiciones de oxidación-reducción.
2. En Colombia predomina el sistema de riego, con un hectareaje total en la cosecha de 1979 de 279.610 hectáreas que representaron el 83% del área cultivada en el país, para una producción de 1.526.655 toneladas de arroz paddy que significaron el 89% de la producción nacional.
3. La inundación trae como consecuencia una serie de cambios químicos, entre ellos la ausencia total de oxígeno del perfil del suelo, a excepción de una pequeña capa superficial que permanece oxidada. El resto del perfil se reduce y por ello su potencial redox es bajo.

4. Con la reducción del suelo, se aumenta el pH de los suelos ácidos y se disminuye en suelos alcalinos, hasta alcanzar, en ambos casos, un valor cercano a la neutralidad.
5. Los cambios del pH favorecen la disponibilidad de nutrimentos para la planta de arroz y se disminuye la concentración de elementos tóxicos, especialmente el Al intercambiable. Si los suelos son ricos en hierro, se puede aumentar su concentración hasta alcanzar niveles tóxicos que pueden afectar el cultivo.
6. La descomposición de la materia orgánica se lleva a cabo bajo condiciones anaeróbicas y los productos finales son compuestos reducidos, tales como CO₂, hidrógeno, metano, amonía, aminas, H₂S y otros.
7. Bajo condiciones reducidas, el nitrógeno se acumula como amonía porque se corta el proceso de nitrificación. En cambio, los nitratos se pierden por lixiviación y denitrificación. Esto es fundamental en el manejo de las fuentes nitrogenadas.
8. La reducción del suelo aumenta la disponibilidad del P del suelo y favorece la aprovechabilidad de los fertilizantes fosfatados.
9. Cuando un suelo se inunda, las concentraciones de Fe, Mn y Mo se aumentan, las de Cu y Zn disminuyen y la de B no sufre cambios apreciables. La disponibilidad de Ca, Mg y K se favorece con la inundación y el S sufre reducción.
10. El arroz extrae mucho silicio, pero gran parte de él vuelve al suelo al incorporar el tamo, el cual tiene el 8% de este elemento. Al silicio le siguen en su orden K, N, Ca, Mg y P.

11. El arroz cultivado en suelos ácidos bajo inundación, responde poco al encalamiento, debido al aumento del pH y la consiguiente disminución del Al intercambiable.
12. Para arroz de riego no se han establecido niveles críticos de materia orgánica y por eso, las recomendaciones de N se hacen en base a los resultados de pruebas regionales, teniendo en cuenta la variedad, la susceptibilidad a enfermedades y volcamiento y la incidencia de enfermedades de la zona.
13. Los suelos arroceros del país tienen diferentes niveles de fertilidad y se han establecido niveles críticos para pH, P, K y la relación Ca/Mg. Las recomendaciones P y K se dan en base a los niveles críticos Bajo y Medio para las distintas zonas arroceras.

8. RESUMEN

El presente artículo se hizo con el propósito de presentar una síntesis de las principales características de los suelos inundados y dar algunos criterios para la fertilización del arroz de riego, teniendo en cuenta que, en Colombia el 83% del área sembrada se hace con este sistema, con el cual se ha obtenido hasta el 89% de la producción nacional. La tabulación de los análisis de suelos hechos en el período 1965-1978 ha permitido caracterizar los suelos de los departamentos productores y mediante esta información y la obtenida en pruebas regionales de los diferentes Centros de Investigación del ICA, se han establecido tentativamente niveles críticos para los nutrimentos P y K. En el caso del N y por tener más relación con las enfermedades del arroz, se dan criterios generales para su manejo.

Los suelos dedicados al cultivo del arroz con riego tienen un manejo especial, debido a que se alternan las condiciones de oxidación-reducción. La inundación trae como consecuencia una serie de cambios físicos y químicos en el perfil del suelo, siendo el principal la reducción del suelo. Un suelo bajo esta condición está casi libre de oxígeno, a excepción de una pequeña capa superficial que permanece aireada. La reducción del suelo trae una serie de cambios que benefician el crecimiento del arroz, tales como: El aumento del pH en los suelos ácidos, con lo cual la toxicidad de Al se disminuye; disminución del pH en los suelos salinos y calcáreos hasta un valor cercano a la neutralidad, mejorando la disponibilidad del hierro.

En un suelo inundado se acumulan iones amonio porque el proceso de la nitrificación no puede continuar en ausencia de oxígeno; los nitratos del suelo o los aplicados se pueden perder rápidamente por lixiviación y desnitrificación. La inundación favorece la disponibilidad del P, Fe, Mn y Mo, disminuye las de Cu y Zn, y la de B no sufre cambios apreciables. El aumento de la concentración de Fe con la sumergencia es benéfico en suelos deficientes, pero puede ser perjudicial en aquellos ricos en él, en los cuales, los niveles pueden ser tan altos que llegan a ser tóxicos para el arroz.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. DE DATTA, S.K.; GOMEZ, K.A. Changes in soil fertility under intensive rice cropping with improved varieties. *Soil Sci.* 120:361-366. 1975.
2. FEDERACION NACIONAL DE ARROCEROS. Superficie cultivada y rendimientos de arroz, cosecha 1979A y 1979B/1980. Bogotá, División de Planeación.

3. HOWELER, R.H. Anaranjamiento y toxicidad de hierro en arroz de riego en los Llanos Orientales de Colombia. Temas de Orientación Agropecuaria No. 97/98:94-95. 1974.
4. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. Informe Anual 1977-1978. Palmira, Centro Experimental Palmira, Programa Nacional de Arroz, 1979. p.116-128.
5. _____. Estado actual de la fertilidad de los suelos colombianos y estimativos sobre las necesidades de fertilizantes para varios cultivos. Bogotá, Centro Experimental Tibaitatá, Programa Nacional de Suelos, 1980. 118p. (Documento de Trabajo No. 85).
6. INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE. Chemical Kinetics of submerged soils. In: Annual Report for 1973. Los Baños, Philippines, 1974. p.98-99.
7. MUÑOZ A., R.; MANZANO, A.H. Efecto del hierro en la nutrición y en la producción de arroz (Oryzae sativa L.) bajo riego, en suelos del Meta y Tolima, Colombia. Revista ICA (Col.) 8(3): 273-287. 1973.
8. _____. Algunos aspectos de la fertilización nitrogenada en el cultivo de arroz (Oryzae sativa L.) en suelos de Colombia. Temas de Orientación Agropecuaria (Col.) No. 97/98: 34-46. 1974.
9. PATRICK, W.H.Jr; MAHAPATRA, I.C. Transformation and availability to rice of nitrogen and phosphorus in waterlogged soils. Advances in Agronomy 20:323-358. 1968.

10. PONNAMPERUMA, F.N. The chemistry of submerged soils. *Advances in Agronomy* 24:29-96. 1972.
11. _____. Physicochemical properties of submerged soils in relation to fertility. IRRI Research Paper Series No. 5. 1977. 32p.
12. _____. Behavior of minor elements in paddy soils. IRRI Research Paper Series No. 8. 1977. 15p.
13. PUERTA, O.D.; OWEN, E.J.; BARRIGA, R. El nitrógeno y la incidencia de piricularia en panículas de arroz. *Agricultura de las Américas (Col.)* 23:31-32. 1974.
14. RAMIREZ, S.A. Evaluación agroeconómica de la respuesta del arroz (*Oryzae sativa* L.) bajo riego a la aplicación de fertilizantes N, P_2O_5 y K_2O en el Alto Magdalena. Bogotá, Centro Experimental Tibaitatá, Divisiones de Agronomía y Estudios Socioeconómicos, 1979. 157p. (Documento de Trabajo 072).
15. REDMAN, F.H.; PATRICK, W.H. Jr. Effect of submergence on several biological and chemical soil properties. *Louisiana State Univ.*, 1965. 28p. (Bull. No. 592).
16. SANCHEZ, L.F. Respuesta del arroz a fertilizantes fosfatados. *Temas de Orientación Agropecuaria (Col.)* No. 97/98:61-70. 1974.
17. _____; OWEN, E.J. Algunos aspectos sobre la fertilización del arroz en el departamento del Meta. En: VI Reunión Anual del Programa de Arroz. Villavicencio, ICA, Programa Nacional de Arroz, 1974. p.133-151.

18. SANCHEZ, L.F. Respuesta del arroz de riego (Oryzae sativa L.) a la aplicación de roca fosfórica en suelos ácidos. Arroz 26(287):4-8. 1977.
19. _____; VILLARRAGA, L.A. Efecto de la fuente y dosis de N en la incidencia de P. oryzae Cav. y en el rendimiento del arroz. Fitopatología Colombiana 7(2):124-125. 1978.
20. _____; OWEN, E.J. Estado actual de la fertilidad de los suelos arroceros del Pie de Monte Llanero. Bogotá, Instituto Colombiano Agropecuario, Programa Nacional de Suelos, 1980. 20p. (En impresión).
21. SANCHEZ, P.A. Fertilización y manejo del nitrógeno en el cultivo del arroz tropical. Suelos Ecuatoriales 4(1): 197-240. 1972.
22. TANAKA, A. et al. Growth of the rice plant in the tropics and its effect on nitrogen response. IRRI. Los Baños, Philippines, 1974. p.1-80.
23. VENTURA, W.B.; YOSHIDA, T. Ammonia volatilization from a flooded tropical soil. Plant and Soil 46:521-531. 1977.

ASPECTOS SOBRE FERTILIZACION DEL BANANO (Musa cavendish)
EN LA ZONA DE URABA, DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA

Oscar Ochoa Espinal*

1. INTRODUCCION

La "enfermedad de Panamá" (Fusarium oxysporum var. cubense), que ocasionó graves daños en plantaciones de banano, con pérdidas económicas irreparables, tanto a nivel mundial como local, provocó el cambio del "Gross Michel" altamente susceptible, por variedades del grupo "Cavendish" tales como "Valery" y "Gran enano".

A partir de los años setenta, se iniciaron en la zona de Urabá las siembras de las nuevas variedades resistentes al "Mal de Panamá", de altos rendimientos y de gran aceptación en los mercados externos; en la actualidad, hay establecidas 18.500 Ha de banano tipo exportación.

Las exportaciones de banano ocupan lugar destacado dentro del conjunto de renglones generadores de divisas del país. En la Tabla 1 se puede apreciar el área en producción según la Compañía Comercializadora, y los anexos 1, 2 y 3 los precios de la caja de banano, los costos de producción por hectárea y el volumen de exportaciones de banano en la zona de Urabá.

El cambio del "Gros Michel" produjo un incremento considerable de los rendimientos, obligando a técnicos y agricultores a desplegar

* Ingeniero Agrónomo, Director Regional de AUGURA, Apartadó, Antioquia.

TABLA 1. Area en hectáreas en producción por Comercializadora.

Comercializadora	1975	%	1977	%	1979	%	1980	%
UNIBAN	7.240	48,8	8.000	49,68	8.301,11	47,48	8.880	48,0
C.F.S.	7.590	51,2	6.600	41,0	6.389,80	36,56	6.660	36,0
Standar			1.500	9,32	2.788,69	15,96	2.960	16,0
TOTAL	14.830	100,0	16.100	100,0	17.479,6	100,0	18.500	100,0
	=====	=====	=====	=====	=====	=====	=====	=====

AREA EN PRODUCCION

<u>Año</u>	<u>Indice</u>
1970	100,0
1975	93,0
1977	101,0
1979	110,2
1980	116,6

su máxima actividad para prestarle al cultivo una atención oportuna y eficiente. De un promedio de 15 t/Ha/año se pasó a 37,7 t/Ha/año, en el año de 1979, representada esta cifra en 1.885 cajas exportadas de 20 kg/Ha/año. Esto nos obliga a pensar en la exigencia del cultivo de condiciones óptimas para su desarrollo, en cuanto a la fertilidad de los suelos y al estricto cumplimiento de las labores culturales.

Por la gran extracción de nutrientes que el cultivo hace, es necesario incluir la fertilización como medio no sólo de retribución y suplementación de nutrientes al suelo, sino para poder mantener unos niveles de producción altos que compensen los costos de operación y hagan rentable la explotación bananera.

El consumo promedio anual de fertilizantes en la zona de Urabá, se puede estimar en 600 kg de urea/Ha, 800 kg de cloruro de potasio/Ha y 100 kg/Ha de superfosfato triple.

En un sentido amplio, se puede considerar que si en un solo año, un gran número de plantas de banano llega a alcanzar un desarrollo de más de tres metros de altura, produciendo con ello una cantidad considerable de materia seca en forma de pseudotallo, hojas y frutas, es evidente que el reducido volumen del suelo, del cual las plantas extraen sus elementos, deba presentar una gran riqueza de nutrientes fácilmente asimilables, para que el cultivo despliegue su capacidad máxima de producción.

El objetivo del presente artículo es presentar diferentes aspectos relacionados con la fertilización del banano en países productores y algunas consideraciones sobre el tema a nivel regional.

2. EL SUELO

2.1. ORIGEN GEOLOGICO DE LA ZONA DE URABA

Esplanagros, citado por Jurado y Vargas (7) describe físicamente la zona de Urabá, en los términos siguientes: "El material consiste enteramente del aluvi6n que ha dejado el río Atrato y sus tributarios y otros ríos que desembocan en el Golfo de Urabá. El origen del aluvi6n varía según las clases de formaciones geológicas que ocurre cerca de las fuentes de las corrientes de agua y que afloran dentro de las áreas de drenaje de cada una de ellas".

2.2. CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS DE LOS SUELOS APTOS PARA BANANO.

Champion (2), señala que los suelos para banano deben ser profundos, bien estructurados y drenados. United Brands estima que los mejores suelos para el cultivo, son aquellos provenientes de formación aluvial, con buena profundidad, estructuración, drenaje interno, de buena fertilidad, francos, sin sobrepasar del 40% de arcillas.

En resumen, las características físicas que ha de tener un suelo para ser apto para el cultivo del banano, son las siguientes: Ausencia o mínima proporción de elementos duros de grandes dimensiones; ausencia de frente duro en profundidad; presencia de la capa freática a menos de 1,50 m (profundidad), bien aireados, gracias a una buena estructura y gran porosidad (2).

2.2.1. pH.

El banano vegeta normalmente sobre suelos cuya reacción varía de pH 4,5 a pH 8,0. El efecto desfavorable de la acidez sobre la nutrición y los rendimientos, se refleja en diversos fenómenos pedológicos (1).

Según Simmonds (10), las plantaciones de mejor aspecto se encuentran, no obstante, en condiciones ligeramente ácidas o muy ligeramente alcalinas: pH 6,0 a 7,5.

United Brands, mencionado por Jurado y Vargas (7), reporta que las condiciones ideales de pH del suelo para la planta de banano son de 6,5, pero que ésta es tolerante a variaciones entre pH 5,5 - 7,5.

2.2.2. Nitrógeno.

El nitrógeno es, sin lugar a dudas, el factor limitante de muchos suelos, produciendo con frecuencia al suministro solo, resultados visibles rápidos, aún cuando sus dosis sean comparativamente bajas.

Tan pronto como se aplican dosis mayores de nitrógeno los efectos del mismo disminuyen rápidamente (6).

Se pueden enumerar algunos efectos visibles del nitrógeno en el banano (Boletín Verde, 8).

- .1. Favorece el desarrollo vegetativo en general
- .2. Influye sobre el crecimiento longitudinal de los pecíolos
- .3. Aumenta el largo del racimo y la cantidad de manos
- .4. Favorece el brotamiento y el crecimiento de los hijos y aumenta la capacidad de producir flores y frutos.

El exceso de nitrógeno, causa los siguientes efectos, entre otros:

- .1. Poca estabilidad del seudotallo, lo que facilita su desgajamiento o doblamiento, no siendo capaz de sostener el peso del racimo.

- .2. Retarda el brotamiento de la inflorescencia
- .3. Produce un alargamiento excesivo del raquis, distanciando demasiado las manos entre sí.
- .4. Reduce la aptitud del racimo a ser transportado.

Numerosos experimentos han demostrado hasta qué grado influyen las aplicaciones de nitrógeno sobre los rendimientos:

Según Oschatz (8), quien cita un experimento llevado a cabo en Honduras por la United Fruit Co, las aplicaciones crecientes de nitrógeno facilitan un buen aprovechamiento de P y K.

En Jamaica (6, 8), se han llevado a cabo algunos ensayos que muestran la relación existente entre la aparición de "Mano abierta" y los aportes excesivos de nitrógeno a plantas mayores de seis meses.

En síntesis, el nitrógeno es un elemento muy importante en la fisiología de la planta, pues hace parte de la molécula de clorofila en combinación con el magnesio.

2.2.3. Fósforo.

Según Oschatz (8), no existen trabajos acerca del efecto del fósforo sobre el crecimiento del banano. Desde luego, las ventajas de un óptimo aprovisionamiento de la planta son las mismas que para todos los demás cultivos:

- .1. Mejor desarrollo radicular y mayor capacidad asimilativa
- .2. Favorece el crecimiento vegetativo general

- .3. Influye positivamente en la floración y el poder germinativo de la semilla.

En cuanto a los requerimientos de fósforo, es necesario acoger los conceptos de técnicos del cultivo en el sentido de, por lo menos, asegurar el nivel medio que debe tener el suelo o sea 76 kgde fósforo por hectárea, y que este elemento es importante en el desarrollo prematuro del banano (6,7). Por esta razón, se debe suministrar al momento de la siembra, a la brotación y así sucesivamente.

2.2.4. El Potasio.

En todos los estudios hechos acerca de la extracción y asimilación de nutrientes del banano, es notable la cuantía extremadamente alta de potasio extraído, en tanto que la de calcio es el extremo opuesto. Por esta razón, al banano se le reconoce como una planta ávida de potasio, lo cual ha de tomarse en consideración al seleccionar los suelos de cultivos y el programa de fertilización. A ello hay que agregar el hecho de que, en la mayoría de los casos, grandes cantidades de potasio son absorbidas en un tiempo relativamente corto.

El crecimiento rápido y frondoso del banano requiere un aprovisionamiento bastante alto de potasio, dado su papel importante en los cambios metabólicos, en el transporte y traslocación de los productos asimilados, en el balance de agua y en la calidad de los productos asimilados (8).

La asimilación del potasio está íntimamente ligada al aprovisionamiento de nitrógeno, pues un exceso de éste puede provocar una deficiencia potásica o viceversa. Esta situación puede ser corregida mediante el abonamiento, aplicando la cantidad necesaria del elemento que está en menor proporción (8). Tal es el caso de una enfermedad denominada "pulpa amarilla" que se presenta cuando hay exceso de potasio, pudiendo ser combatida con aplicaciones necesarias de nitrógeno (6).

2.2.5. Magnesio.

En los últimos tiempos, en varias investigaciones se ha estudiado el papel que desempeña el Mg en la planta. A través de esas investigaciones, Champion (2), descubrió la enfermedad denominada "mal de azul" (Bleu du bananier) encontrando que era ocasionada por un desequilibrio entre los macroelementos, especialmente K, y el contenido de Mg. Dicha enfermedad se presenta como franjas de color azul-violeta sobre las hojas y especialmente los pecíolos. Por ello se recomienda abonar con fertilizantes cálcicos o dolomitas ricas en Mg. Resultados positivos se han encontrado con 50 g de Mg SO₄ por planta, incorporado al suelo (8).

2.2.6. Extracción de Elementos Nutritivos.

Se estima que aproximadamente unas dos terceras partes de la parte vegetativa de la planta es devuelta al suelo, al término de su período vegetativo, para ser mineralizados (8).

Jacob y Uexkull (6) estiman que, en promedio, las cantidades de nutrientes extraídos por una cosecha de banano son aproximadamente las siguientes:

Nitrógeno	50 - 75 kg/Ha
Acido fosfórico (P ₂ O ₅)	12 - 20 kg/Ha
Calcio (Ca O)	10 - 20 kg/Ha
Potasio (K ₂ O)	175 - 225 kg/Ha
Magnesio (MgO)	25 - 30 kg/Ha

Winkler (12), afirma que por cada tonelada de racimos puede haber una extracción de nutrientes de 0,5 a 4 kg de nitrógeno, 1,0 a 1,7 kg de ácido fosfórico, 7,0 a 8,0 kg de potasa y 0,8 kg de calcio.

Baillon (1), efectuó algunos ensayos en los cuales demostró la extracción de nutrientes comparando plantas jóvenes y viejas; sus resultados se consignan en la Tabla 2.

TABLA 2. Resultados de extracción de nutrientes comparando plantas jóvenes y viejas (1).

	Plantas Jóvenes	Plantas Viejas
Peso de Materia Seca	6,16 kg	18,295 kg
N	46,19 g	221,26 g
P ₂ O ₅	23,73 g	52,26 g
K ₂ O	176,56 g	981,71 g

Frente a esta extracción grande de nutrientes, demostrada a través de todas las cifras y datos anteriores, sólo hay un exiguo aporte natural. Esto significa que para obtener altos rendimientos de bananos, únicamente es posible en suelos fértiles y aluviales, pero sólo por algunos años con el riesgo de que los suelos queden exhaustos sino se programa abonamientos suplementarios.

2.3. CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS DE LOS SUELOS DE URABA

En Urabá se ha efectuado algunos trabajos relacionados sólo con levantamientos generales, reconocimiento y clasificación de suelo de tipo semi-detallado. En cuanto a fertilidad, se conoce el trabajo realizado por Jurado y Vargas en 1977, titulado "Discusión de los resultados de análisis de algunos suelos de la zona bananera de Urabá, Antioquia".

La meta propuesta fue estudiar los resultados de los análisis de suelos practicados a muestras obtenidas en la zona bananera.

La información para este trabajo se obtuvo de los resultados de 507 muestras analizadas en un lapso comprendido entre mayo y noviembre de 1976. Dividieron la zona bananera en tres, a saber:

- .1. Zona Norte, desde Coldesa hasta el río Grande (margen derecha)
- .2. Zona Central, partiendo de la margen izquierda del río Grande hasta la margen derecha del río Vijagual.
- .3. Zona Sur, desde la margen izquierda del río Vijagual hasta las zonas aledañas a las márgenes izquierdas del río Chigorodó.

Del total de 507 muestras analizadas, 33,5% corresponden a la zona Norte, 43% a la zona Central y 23,5% a la zona Sur.

Los resultados de los análisis muestran una reacción que varía de ligeramente ácida en la zona Norte, a medianamente ácida en la zona Sur y Central. La cifra más elevada que se encontró, 6,4 perteneciente a la zona Sur, coincide con la apreciación ligeramente ácida.

La mayor acidez encontrada se debe, según Jurado y Vargas, a la precipitación relativamente más elevada de la zona Sur, con respecto a las demás zonas.

Los promedios de los porcentajes M.O son bajos en las tres zonas; sin embargo, la diferencia entre los valores máximo y mínimo es alta; esta situación se puede deber a la presencia de condiciones especiales, tales como: Mal drenaje y acumulación de residuos por inundaciones.

Los niveles de $P_{2,5}O_5$ no superan las apreciaciones muy pobre en la zona Sur y pobre en la zona Norte y Central. Esta condición es favorecida por la tendencia ácida de estos suelos, ya que la máxima aprovechabilidad del fósforo se logra con pH de 6,5 (7).

Según la clasificación del ICA, los resultados obtenidos de potasio intercambiable son de rango alto en las tres zonas; no obstante, se aprecia una considerable diferencia entre el contenido de la zona Sur con el de las otras zonas.

Los valores de la capacidad de intercambio catiónico se catalogan altos, según la clasificación del IGAC. La diferencia entre los rangos se debe a la distribución de las texturas en la zona bananera, correspondiendo los valores más altos a suelos cuya apreciación textural varía de pesado a moderadamente pesado (3).

Hay predominio de tres clases texturales en su orden: Franco arcilloso, con porcentaje del área total de 52%; franco con 24,5% y arcilloso 14,1%. Es importante hacer notar que los porcentajes de estas texturas por zonas, guardan poca diferencia entre sí, lo que hace pensar que los factores que contribuyen a la formación de estos suelos fueron similares (7).

3. FERTILIZACION EN ALGUNOS PAISES BANANEROS

Por la gran diversidad de condiciones ambientales en las que es posible el cultivo del banano, no es conveniente indicar normas generales en su abonamiento. Cada región o cada país cultivador, posee sus propias normas y es preciso estudiar objetivamente las condiciones y características de sus suelos, con el fin de establecer las prácticas de abonamiento que más se adapten a ellas. Las cantidades de fertilizantes

varían de acuerdo a los suelos, el clima, el suministro de agua, la variedad, etc.

Aquí se relacionan algunas experiencias y prácticas de abonamiento en otros países bananeros:

Pelegrin (9), ha resumido los resultados de los experimentos de fertilización del cultivo del banano realizados en Guadalupe y Camerún. En Guadalupe, los mejores resultados se obtuvieron con la mezcla de las fórmulas 8-5-32, 11-5-28 y 8-11-20, siendo la dosis óptima 2 kg/planta. En Camerún el N, P, K más favorable fue de la relación 1-2-5.

Hasselo (4), encontró que en determinados tipos de suelos en Camerún, los rendimientos y el peso promedio de racimo aumentaron notablemente al introducir abonos balanceados de N, P, K. Es corriente el uso de la fórmula 10-9-29 en la dosis de 1.500 kg/Ha/año.

Con esta práctica se lograron incrementos del rendimiento entre 80% y el 152% entre los años 1955 y 1958.

Champion (1), afirma que en Guinea y Costa de Marfil, las dosis anuales varían de 100 a 200 g de nitrógeno por planta.

En Costa Rica y Panamá, en la zona bananera del litoral Atlántico, se emplean las fórmulas 20-0-32 y 21-4-32, realizando cuatro ciclos de 5 bultos/Ha/ciclo. Se adiciona un ciclo de 4 bultos/Ha de úrea.

Bananera Development Corporation (BANDECO) recomienda aplicar 20 bultos de úrea y 30 de cloruro de potasio/Ha/año. Así mismo, el Ministerio de Agricultura recomienda aplicaciones de 32 bultos/Ha/año de la fórmula 21-4-0-32 haciendo cuatro ciclos de ocho bultos.

En la zona del Pacífico, algunos agricultores aplican las fórmulas 20-0-34 y 15-3-31 en dosis de 30 bultos/Ha/año, adicionando dos bultos de úrea y cinco de nitrato de amonio por Ha.

La United Brands y Cobada (Corporación Bananera de Panamá) en tiempo de verano aplican úrea diluida, disolviendo 6 lb/galón de agua; de esta mezcla toman 11 onzas para cada hijo. En tiempo lluvioso, realizan tres ciclos con 4,5 onzas de úrea/hijo/ciclo. La United Brands adiciona 20 bultos de KCl/Ha/año.

En Nicaragua, la Standard Fruit Company, recomienda aplicar 15 bultos de úrea y 10 de Cl/Ha/año.

Por otra parte, en Honduras, la Tela Raid Road Co. aconseja la aplicación de 18 bultos de KCl y 14 bultos de úrea/Ha/año. En tiempo de verano se hace una aplicación diluida en la dosis antes mencionada.

En todos estos países le dan especial importancia al empleo de medidas con dosis exactas, tanto para el material sólido como el líquido, con el cual se consigue realizar la fertilización bien compensada en todo el cultivo.

4. FERTILIZACION EN LA ZONA DE URABA

4.1. CONSIDERACIONES GENERALES

Las características y exigencias del mercado de exportación, hacen imprescindible la fertilización como medio para sostener rendimientos altos que compensen los costos de producción y hagan rentable la explotación bananera. De esta manera, la generalidad de las plantaciones bananeras fertilizan con el fin de poder cumplir con todos los requisitos

de calidad de la fruta de exportación y como retribución al suelo por las grandes extracciones de nutrientes que hace el cultivo.

Al igual que en cada una de las regiones bananeras mundiales, la zona de Urabá posee en estos momentos unas normas de fertilización más o menos homogéneas.

Pese a que la investigación en este campo ha sido escasa, a través de numerosos análisis de suelos y foliares y haciendo un seguimiento del comportamiento del cultivo, se han conocido las características agronómicas de nuestros suelos y la demanda de nutrientes del cultivo de banano en la zona.

La fertilización se efectúa con formulaciones simples de las fuentes de los elementos nutrientes. Con ésto, se le suministran al suelo las cantidades de elementos necesarias, algo difícil de obtener con fórmulas compuestas, ya que en el mercado nacional no existen abonos compuestos con una formulación apropiada para banano.

Las fuentes fertilizantes utilizadas son las siguientes:

Nitrógeno	(N)	Urea
Fósforo	(P ₂ O ₅)	Superfosfato triple
Potasio	(K ₂ O)	Cloruro de potasio

Los abonos se aplican manualmente al suelo, haciendo ciclos de aplicación separados para las diferentes fuentes fertilizantes o haciendo mezclas entre ellos, si la disponibilidad de agua o humedad en el suelo lo permite.

Las aplicaciones se distribuyen a través del año en seis ciclos o más durante el período lluvioso. En los suelos con texturas livianas es

aconsejable subdividir las dosis de fertilizantes, aumentando los ciclos de aplicación, con el fin de aumentar su aprovechabilidad por parte de la planta, disminuyendo la rápida lixiviación de los elementos nutrientes. En algunos casos, se recomienda hacer aplicaciones mensuales o bimensuales.

La úrea es suministrada a la iniciación y durante la estación lluviosa, para que sea rápidamente asimilada por la planta. En el período seco o de verano, ocurren muchas pérdidas por evaporación, razón por la cual no se aplica durante este período.

El cloruro de potasio puede ser aplicado con anterioridad a las lluvias sin que ocurran pérdidas por evaporación del material.

El modo de aplicación de los abonos más utilizado en la zona es en "corona". Mediante este sistema localizado, se busca dar mayor atención a los "hijos" o "puyones" sustituidos de una planta "madre" o principal. No obstante, la labor resulta dispendiosa y de mayor cuidado.

También se realizan aplicaciones "al voleo" con las que se logra el reparto del abono sobre la superficie del suelo. La Compañía Técnica Baltime de Colombia recomienda este sistema que según ellos, no ha presentado diferencias con el sistema "en corona" en plantaciones centroamericanas. Se supone que las raíces del banano son muy superficiales y se entrelazan unas con otras y que el cultivo en sí, es "nómada"; por lo tanto, la fertilización se debe hacer para cubrir toda la superficie del suelo y poder homogenizar sus características.

Los vástagos o raquis de los racimos ya beneficiados, son incorporados al suelo en aquellas áreas o lotes que por sus condiciones texturales presentan deficiencia de materia orgánica.

Como norma general, se aceptan 12 bultos de úrea y 10 de cloruro de potasio por Ha/año, no habiendo diagnóstico foliar. Cuando se conocen resultados de análisis de suelos, se hacen las recomendaciones, basadas en la interpretación del análisis.

Se estima que para una producción de 40 t/Ha/año de banano Cavendish, es necesario aplicar: 480 kg de K_2O , 250 kg de nitrógeno y 90 kg de P_2O_5 por hectárea y por año.

Los abonamientos se inician a partir del mes y medio de edad (para plantaciones en desarrollo), suministrando úrea con el fin de acelerar el crecimiento de las plantillas y proveerlas de reservas indispensables para su fructificación. Las recomendaciones de úrea son dadas según análisis de suelos, cuya interpretación es efectuada por el Departamento Técnico de AUGURA y las comercializadoras.

4.2. RECOMENDACIONES DE FERTILIZANTES

Las compañías comercializadoras, quienes a través de sus programas de asistencia técnica hacen las recomendaciones de fertilizantes, se basan categóricamente en el análisis foliar para establecer los requerimientos del cultivo.

Las compañías Frutera de Sevilla y UNIBAN, siguen la metodología descrita por Hewitt, según la cual se establecen niveles bajos, adecuados y altos de nutrientes en las muestras foliares, expresados como porcentaje (%) de materia seca.

Estos niveles se han venido modificando a medida que se han realizado las calibraciones respectivas, de acuerdo a las exigencias regionales. Los niveles empleados actualmente se consignan en la Tabla 3.

TABLA 3. Niveles de contenido de nutrientes en las hojas (% M.S.).

Nivel	Bajo (0)	Adecuado (1)	Alto (2)
N	<2,4	2,4 - 2,7	>2,7
P	<0,14	0,14	>0,14
K	<3,0	3,0 - 3,3	>3,3
Ca	<0,5	0,5 - 0,7	>0,7
Mg	<0,24	0,24 - 0,28	>0,28

De acuerdo a lo anterior, las compañías hacen las siguientes recomendaciones (Tabla 4).

TABLA 4. Recomendaciones de fertilizantes según los resultados del análisis foliar.

Elemento	Nivel	Fertilizantes (bultos/Ha/año)
N	0	15 úrea
N	1	12 úrea
N	2	9 úrea
P	0	6 superfosfato triple
P	1	4 superfosfato triple
P	2	No se necesita
K	0	21 cloruro de potasio
K	1	18 cloruro de potasio
K	2	No se necesita

Como se observa en la Tabla 4, para el nivel 2 o alto de potasio no se recomienda fertilizantes; sin embargo, UNIBAN sugiere hacer dos aplicaciones de cloruro de potasio para un total de nueve bultos por hectárea y por año, como dosis de sostenimiento.

4.3. METODOLOGIA DE ANALISIS FOLIAR

Uno de los principales investigadores del diagnóstico foliar, Hewitt, estableció las bases de este sistema y basó sus estudios en la necesidad de encontrar un método rápido de diagnóstico que permitiera preveer las deficiencias de nutrientes, sin tener que esperar a que aparecieran los síntomas visibles, si bien los rendimientos pueden descender mucho antes de presentar la sintomatología externa.

Para la toma de muestras para el análisis foliar se debe seguir la siguiente metodología:

- .1. Escoger plantas cuyo racimo tenga tres manos visibles.
- .2. De las plantas seleccionadas, cortar únicamente la hoja número tres, teniendo en cuenta que la hoja número uno corresponde a la más joven bien formada.
- .3. De la hoja seleccionada, cortar una franja central de 10 cm de ancho y desechar los extremos.
- .4. Tomar muestras de cada lote por separado. Cada muestra se compone de hojas tomadas de varias plantas, y por cada hectárea se debe muestrear cinco plantas.
- .5. Llevar la información respectiva
- .6. Procesar antes de 24 horas.

5. RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES GENERALES

Considerando los diversos aspectos tratados en el presente artículo, sobre todo aquellos concernientes a los diferentes efectos causados en la planta en lo que respecta a los fertilizantes y suponiendo que hay las condiciones climáticas apropiadas, se puede formular para la práctica del cultivo del banano las recomendaciones y conclusiones generales siguientes:

1. El análisis de los suelos y de las plantas constituye una herramienta valiosa que permite la selección apropiada de fuentes y dosis de fertilizantes y en el manejo de los cultivos de banano se debe hacer uso de estos análisis. Su utilización eficiente depende, sin embargo, del conocimiento de los niveles críticos de elementos nutritivos, tanto en el suelo como en la planta.
2. Además de la calidad y de la composición de los fertilizantes, la época correcta y su buena distribución en el suelo son factores decisivos para el éxito de la fertilización.
3. Tanto para el rendimiento y la calidad de la fruta, la buena nutrición del banano representa una medida eficaz de protección contra las inclemencias del tiempo y los daños causados por el ataque de nemátodos, insectos y enfermedades.
4. Los suelos cultivados con banano hasta ahora, comienzan a perder paulatinamente su fertilidad por el régimen de unicultivo y, en algunos casos, por una explotación desmesurada. Esto significa que sólo es posible alcanzar altos rendimientos unitarios, mediante una provisión óptima de elementos nutritivos, en especial N, P, K, Ca y Mg.

5. Únicamente los productos de buena calidad alcanzan y aseguran un buen precio en los mercados internacionales de banano; por lo tanto, una fruta sana, duradera y transportable, con óptimo aroma y sabor, sólo se puede producir bajo las mejores condiciones de crecimiento.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. BAILLON, A.F. The composition of, and nutrient uptake by the banana plant, with special references to the Canaries. *Trop. Agric. (Trinidad)* 10(5). 1933. 139p.
2. CHAMPION, J. El plátano; Traducción del francés por Fermín Palomeque. Barcelona, Blume, 1975. 247p. (2a. reimpresión).
3. GOODEN, D. et al. Levantamiento general de los suelos de la región de Urabá, departamento de Antioquia y Chocó. Bogotá, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, s.f. 55p. (Publicación G-2).
4. HASSELO, H.N. The soil of the lower Eastern Hapes of the Cameroon Mountains and their suitability for various perennial crops. Veenman en Zonen N.V. Wageningen.
5. IDEA. Planeación departamental de Antioquia. Esbozo de un plan de desarrollo para la región de Urabá. Medellín, 1964. p.8-9.
6. JACOB, A.; VEXKULL, H. Fertilización, nutrición y abonamiento de los cultivos tropicales y subtropicales. Trad. L. Martínez de Alba. 2a. ed. Veenman y Zonen (Países Bajos). 626p.

7. JURADO, R.; VARGAS, A. Discusión de los resultados de análisis de algunos suelos de la zona bananera de Urabá, Antioquia. Revista AUGURA 2(7): 11-21. 1977.
8. OSCHATZ, H. Nuevos conocimientos y experiencias en el abonamiento del banano. Verlagsgesellschaft Fur Ackerbau M. B. H., 1962. 27p. (Boletín Verde No. 14).
9. PELEGRIN, P. L'utilisation des engrais en culture bananière. Fruit 8(9):453-458. 1953.
10. SIMMONDS, N.W. Los plátanos. Trad. Esteban Riamban. Barcelona, Ed. Blume, 1973. 539p.
11. TISDALE y NELSON W.L. Fertilidad de los suelos y fertilizantes; trad. por Jorge Balsch y Carmen Peña. Barcelona, Montaner y Simon, 1970. 760p.
12. WINKLER, H. Handbuch der Tropischen und subtropischen. Landwirtschaft Bd II. 1943. p.126-134.

ANEXO 1

PRECIOS CAJA BANANO - PROMEDIO JULIO DE 1980

Comercializadora	Participación exportaciones	US \$
UNIBAN	48 %	2,3924
Frutera	36 %	2,269
Standar	16 %	2,525
Precio promedio zona de Urabá		2,369462
Precio promedio mercado Alemán		9,525

ANEXO 2

COSTOS DE PRODUCCION POR HECTAREA - AÑO BANANO - 1975 - 1980

Año	\$	Indice	Incremento %
1975	93.351	100,0	
1976	134.760	144,3	44,35
1977	160.178	171,5	18,86
1978	177.392	211,4	23,23
1979	264.700	283,5	34,09
1980	319.934	342,7	20,86

ANEXO 3

EXPORTACIONES DE BANANO ZONA DE URABA - 1976-1980

Año	Cajas	Incremento %	Valor US\$	Incremento %
1976	21.057.525	4,30	72.823.856	18,22
1977	21.964.065	32,91	38.805.645	70,71
1978	29.194.476	6,05	66.245.274	9,33
1979	30.962.682	9,80	72.429.311	11,25
1980	34.000.000		80.580.000	

* Estimado

FUENTE: Departamento de Investigaciones Económicas de AUGURA.

FERTILIZACION EN PASTOS Y FORRAJES

Jaime Lotero C.*

1. ASPECTOS GENERALES

El uso de fertilizantes en pastos, bajo condiciones tropicales es muy limitado, debido posiblemente, entre otras causas, a que no se le ha dado suficiente importancia al cultivo de los pastos, el alto precio de los fertilizantes y su transporte y a los sistemas tradicionales de manejo de pastos. A medida que aumenta el precio de la tierra y es necesario producir más carne, leche o lana para competir ventajosamente con los cultivos y satisfacer las demandas de una población en crecimiento constante, el uso de los fertilizantes se hará más necesario. También se debe tener en cuenta que la ganadería en los trópicos se debe convertir en una fuente permanente de divisas.

Como norma general, los suelos tropicales tienden a ser cada vez más pobres en nutrimentos, comparados con los suelos de las zonas templadas, debido principalmente a las condiciones climáticas prevalentes, como alta temperatura y alta humedad que aceleran los procesos de descomposición de minerales y materia orgánica y lixiviación o lavado de los nutrimentos de las plantas.

En un programa de manejo de pastos, indudablemente la práctica de la fertilización es la que produce los mejores resultados, en el tiempo más corto, cuando otros factores diferentes a la fertilidad del suelo no son limitantes. Con la fertilización adecuada de los pastos se aumenta

* Ingeniero Agrónomo, Ph.D. Gerente de la Regional No. 4 del ICA, Apartado Aéreo 51764, Medellín.

su cantidad y calidad, con lo cual se consigue un aumento en la capacidad de sostenimiento y se supe a los animales con un alimento más adecuado para su crecimiento, sostenimiento y producción.

Para obtener los mejores resultados de un programa de fertilización de pastos, se deben tener en cuenta varios factores relacionados con el suelo, el clima y la planta. Además, se debe considerar la cantidad y clase de fertilizante (fuente), frecuencia, época y método de aplicación.

Si el pH del suelo es bajo (reacción ácida), es necesario encalar para obtener los mejores beneficios del fertilizante aplicado. Para determinar el estado actual de la fertilidad del suelo se recomienda hacer un análisis químico por un laboratorio competente. El análisis de suelos se debe realizar con alguna periodicidad, que en el caso particular de pastos puede variar de 2 a 3 años. No sobra recalcar que la muestra para el análisis debe ser representativa del área de suelos, cuya fertilidad se desea conocer y que se deben evitar las contaminaciones en la toma, manipuleo y preparación de las muestras que se han de enviar al laboratorio.

Con base en los resultados del análisis de suelos y requerimientos de los pastos, se hacen las recomendaciones de las enmiendas o fertilizantes que se deben aplicar en cuanto a su grado, cantidad, época y método de aplicación, principalmente. Aunque el análisis químico de suelos no da la información más completa sobre el estado de su fertilidad, se considera una ayuda muy valiosa para la recomendación de fertilizantes.

2. FACTORES DEL SUELO

Los principales factores del suelo que se deben considerar en la fertilización de los pastos, son: El contenido de elementos esenciales en forma aprovechable o nivel de fertilidad; la reacción del suelo o pH; la textura y la estructura del suelo.

En el trópico, en general, el N está considerado hoy día como el elemento que más restringe el crecimiento de los pastos. Algunos suelos, especialmente los rojos lateríticos o latolizados y los altos en materia orgánica, que predominan en las partes altas de las montañas, presentan deficiencias de P y Ca, principalmente. Sin duda, a medida que aumenta el empleo del N se evidenciarán deficiencias de P, K y otros elementos, al elevarse el nivel de productividad de los pastos y la remoción de nutrimentos. La reacción del suelo o pH afecta la disponibilidad de los elementos esenciales. La disponibilidad del P, así como la capacidad de las raíces de las plantas para absorberlo, es menor en suelos ácidos, requiriéndose aplicaciones más abundantes de este elemento. En suelos muy ácidos es probable la presencia de Al y Mn en cantidades tóxicas. El encalado de los suelos ácidos no sólo elimina esta toxicidad y agrega Ca, sino que también aumenta la disponibilidad del P, estimula la actividad bacterial y la fijación del N, tanto por los organismos simbióticos como por los organismos libres, y en esta forma puede reducir las necesidades en fertilizantes nitrogenados.

La absorción del P también es menor en suelos calcáreos o alcalinos. La disponibilidad de los microelementos, con excepción del Mo, es reducida en tales suelos, sobre todo cuando es consecuencia de un encalado excesivo. También es baja la absorción de K, o se desequilibra tanto la relación Ca:K en las plantas, que se hace preciso recurrir a fertilizantes potásicos. Además, los suelos calcáreos tienen tendencia a provocar una pérdida de N en forma de amoníaco cuando se aplican

fertilizantes a base de amonio y úrea, que han quedado sin incorporar en la superficie del suelo.

La mayoría de los pastos tropicales crecen bien en suelos relativamente ácidos, pH 5,0 a 6,0 y la respuesta a la aplicación de cal ha sido poca o ninguna, con excepción de ciertas leguminosas, como la alfalfa (Medicago sativa).

Los suelos de textura gruesa, como por ejemplo los arenosos, suelen ser más pobres en nutrimentos asimilables que los de textura más fina (arcillosos). En los suelos de textura gruesa, en zonas húmedas, es a menudo necesario aplicar dosis altas de N y a veces K, debido a las pérdidas altas por lixiviación o lavado; también puede ser preciso aplicar P con mayor frecuencia que en suelos de textura más fina. A los suelos de textura gruesa o livianos se les considera como "mal amortiguados" y por esta razón deberá practicarse su encalado con mayor cuidado que en los de textura más fina.

Entre los factores deseables en el suelo está el de mantener una estructura granular bien desarrollada; ésto permite una mejor aireación del suelo para la respiración radical, necesaria para una mejor y mayor absorción de nutrimentos. Una estructura granular permite un intercambio de gases mayor entre el suelo y la atmósfera.

3. FACTORES CLIMATICOS

El clima es un factor importante en la determinación de la naturaleza del suelo, así como también de la clase de pastos que se pueden establecer. Factores tales como la temperatura, la lluvia y su distribución y la evaporación, ejercen influencia sobre el uso de fertilizantes y nivel de fertilidad.

Dentro de la zona tropical, la temperatura varía principalmente con la altitud. En zonas cálidas, con adecuada precipitación, el crecimiento de los pastos es más vigoroso y por lo tanto se requiere un nivel más alto de fertilidad para mantener dicho crecimiento. En Colombia, por ejemplo, se ha encontrado que el N se debe aplicar más frecuentemente en climas cálidos que en los medios y fríos. En términos generales, a temperaturas muy bajas en el suelo, se retarda la rata de absorción de nutrimentos, especialmente del P y en consecuencia se debe tener un nivel más alto de este elemento en el suelo para un crecimiento adecuado de las plantas. También a bajas temperaturas se restringe la actividad de los microorganismos que descomponen la materia orgánica, fuente principal de N en los suelos.

Existe una estrecha relación entre la presencia de humedad en el suelo y la reacción del cultivo a la aplicación de fertilizantes. Con excepción de los suelos irrigados, la cantidad y distribución de la lluvia influye no solo en la elección de los pastos, sino también en la posibilidad de emplear fertilizantes. Es necesario tener una adecuada humedad en el suelo para una mejor utilización de los fertilizantes por las plantas. Por lo general, las grandes lluvias dan origen al lavado de nutrimentos de los suelos, mientras que el lavado producido por lluvias de menor intensidad es menor. Es de esperarse que los suelos en zonas de abundantes lluvias tengan mayores necesidades de fertilizantes, porque: a) El potencial de rendimiento suele ser más elevado cuanto mayor es el suministro de agua; b) Los suelos son esencialmente menos fértiles, debido a la meteorización y al lavado o lixiviación, y c) La cantidad de fertilizante aplicado que se pierde por lavado es mayor.

Los trópicos áridos o semiáridos, carecen durante varios meses al año de cantidades suficientes de lluvia para los pastos, a pesar de que la temperatura permite un crecimiento satisfactorio de éstos. Los riegos suplementarios durante este período facilitarían ampliamente el incremento de la producción e intensificarían las necesidades de fertilizantes. En otras palabras, una distribución inadecuada de las lluvias,

reduce las necesidades de fertilizantes porque no es posible intensificar la producción de pastos si no se dispone de riego. La conveniente distribución de las lluvias en cantidades adecuadas, constituye un requisito indispensable para el cultivo de los pastos.

El uso de fertilizantes resulta más efectivo cuando se combate la insuficiencia de humedad mediante el riego. Cuanto mayor sea la fertilidad del suelo, mayores serán los beneficios que se obtendrán de la aplicación del riego. El mejoramiento y la conservación de la fertilidad del suelo son de gran importancia en las tierras de regadío; si no se dispone de nutrimentos en cantidades suficientes, de poco servirá conservar la humedad del suelo con frecuentes irrigaciones.

La evaporación, al reducir la disponibilidad de agua utilizable por los pastos, disminuye el potencial de rendimiento y las necesidades de fertilizantes en las regiones donde la evaporación es alta, a menos que se compense la evaporación mediante riegos.

En zonas de baja precipitación y alta evaporación, los suelos pueden salinizarse. La evaporación rápida ocasiona la acumulación de sales en la superficie. Para la recuperación de estos suelos es necesario agregar yeso, azufre, materia orgánica, sulfato de Al, etc., y agregar agua suficiente y efectuar el avenamiento para lavar las sales.

4. FACTORES DEL CULTIVO

Se sabe que los cultivos difieren en sus requerimientos de elementos esenciales. Todavía no está claro porqué una variedad rinde más que otra. Es posible que los sistemas enzimáticos funcionen más adecuadamente en una variedad que en otra o que los sistemas de absorción, translocación y utilización sean más eficientes.

Las variaciones que muestran los cultivos en sus necesidades de nutrimentos parecen depender de: a) Diferencias de absorción efectiva de nutrimentos; b) Diferencias de capacidad de los cultivos para extraer elementos esenciales del suelo, y c) Las relaciones simbióticas. En el primer caso, se puede mencionar la absorción total de nutrimentos por la avena, comparándola con la del maíz; un buen cultivo de aquella utilizará 80 kg/Ha de N, mientras que el maíz consumirá 140 kg/Ha. Un buen cultivo de leguminosas, como la alfalfa, absorberá más P, K y Ca del suelo que las gramíneas. Por lo general, dentro de una familia de plantas, los cultivos que dan mayor rendimiento de materia seca por unidad de superficie, requieren una cantidad mayor de elementos esenciales.

Algunos autores han atribuído las diferencias intrínsecas de la facultad de absorber nutrimentos que poseen las raíces de las distintas especies, de factores tales como: La capacidad de intercambio de bases de las raíces, contenido de Ca o diferencias protoplasmáticas, pero aún no se ha llegado a una clara comprensión del fenómeno. En general, se admite que ciertas leguminosas pueden absorber el P de algunos minerales bastante insolubles y que algunas plantas no pueden absorber microelementos de suelos que abastecen suficientemente a otros cultivos, aún cuando en ambos casos sean más o menos idénticas las necesidades totales. Como ejemplo de las relaciones simbióticas entre plantas y microorganismos, se aduce la independencia de ciertas leguminosas convenientemente inoculadas, respecto al N procedente del suelo. Las leguminosas pueden crecer en suelos de bajo contenido de N asimilable, que no podrían sustentar el crecimiento de otros cultivos. Es evidente la importancia de tener una especie apropiada de Rhizobium en el suelo, para lograr la adecuada nodulación de las raíces de las leguminosas. Sin esa relación simbiótica con el Rhizobium, las leguminosas se ven obligadas a depender del N del suelo. Si en éste no se encuentra la especie de Rhizobium apropiada, se tendrá que inocular la semilla de la leguminosa o habrá que mezclar suelo de un sitio donde se sabe que la

leguminosa nodula libremente, con la semilla o con el suelo donde se plantará la leguminosa.

Se sabe que las gramíneas son especialmente exigentes en N y las leguminosas en P, K, Ca y Mg. Donde se tiene una mezcla de gramíneas y leguminosas es necesario balancear la fertilización para no favorecer una especie en detrimento de la otra.

Entre los nutrimentos de las plantas se debería considerar al P como un "colonizador" en algunas zonas, indispensable para elevar la productividad inicial del suelo que está siendo mejorado para la producción intensiva de pastos o cultivos. El N es necesario para intensificar la producción y en algunos casos se debe complementar su acción con el K.

5. APLICACION DE FERTILIZANTES

La elección del método y el momento o época más adecuados para la aplicación de fertilizantes está supeditado a la clase y a la cantidad del fertilizante empleado, debido en parte, a que los ingredientes particulares del fertilizante se comportan de manera diferente en el suelo. No todos sus elementos los absorbe o utiliza inmediatamente el cultivo a que se destinan.

Cuando los fosfatos solubles en agua, tales como los superfosfatos, se aplican al suelo, reaccionan con éste y forman nuevos compuestos fosfatados, menos solubles y menos asimilables para las plantas. Este fenómeno, conocido con el nombre de "fijación del fosfato", varía en grado según los diferentes suelos. Se ha estimado que las plantas no aprovechan más del 10% de los fertilizantes fosfatados que se aplican al voleo y se incorporan en el suelo; pero en cambio, cerca del 30% es

aprovechado cuando se aplica en bandas o corona al pié de las plantas. La mezcla con el suelo aumenta la fijación y la aplicación localizada hace que el fertilizante fosfatado solo reaccione con una pequeña porción del suelo. Si se hace la aplicación localizada y se desea estimular el crecimiento precoz, una gran parte del P del fertilizante deberá ser soluble en agua. A mayor capacidad de fijación del suelo, mayor será la ventaja de la aplicación localizada o si el P va a ser mezclado con el suelo, se deben aplicar fertilizantes peletizados. Por lo general, los suelos de elevado contenido de arcilla poseen mayor capacidad de fijación que los arenosos. Los suelos ácidos tienen mayor capacidad de fijación que los casi neutros o ligeramente alcalinos. Si se desea una mayor eficiencia de los fertilizantes fosfatados solubles en el agua, los suelos ácidos deben ser encalados.

El momento más oportuno para aplicar los fertilizantes fosfatados solubles en agua y en citrato, es al tiempo de la siembra. En praderas ya establecidas, el P se puede aplicar al voleo sobre la superficie del suelo, cuando el nivel de humedad sea adecuado. En pastos de corte, sembrados en surcos, generalmente la aplicación localizada da los mejores resultados.

La fijación del K en los suelos no constituye un problema tan serio como en el caso del P, aún cuando el K soluble se puede fijar por ciertos minerales arcillosos. Comparado con el P, el K se mueve en los suelos con mayor facilidad, sobre todo en aquellos cuya capacidad de intercambio de cationes es muy baja. Es aconsejable aplicar los fertilizantes potásicos al momento de la siembra.

Los suelos muy meteorizados y de textura liviana, en regiones de abundante precipitación, necesitan a menudo aplicaciones de K. En pastos ya establecidos, se logra a veces, un aprovechamiento más eficaz del K con pequeñas aplicaciones anuales o semestrales, en lugar de efectuar aplicaciones abundantes pero poco frecuentes. En general, se

puede decir que la condición de los suelos en el trópico, por lo que respecta al K, es hoy en día más satisfactoria que en las zonas templadas. Se han registrado menos casos de reacción positiva de los cultivos a los abonos potásicos en los trópicos que en las zonas templadas, lo cual se puede explicar en parte, por lo muy reducido del consumo de fertilizantes nitrogenados y fosfatados que hoy en día se registra en los trópicos. A medida que se generalice su uso y aumenten las dosis de aplicación, posiblemente se presentarán deficiencias de K.

Como la concentración de sales solubles en el suelo es mayor cuando se usan fertilizantes potásicos que cuando se emplean los fosfatos, se debe poner más cuidado al hacer las aplicaciones en bandas o en corona, para evitar que las plántulas sufran por contacto directo con el fertilizante o por efecto de excesivas dosis aplicadas cerca de la semilla. Cuanto mayor sea la dosis y más arenoso el suelo, tanto más lejos de la semilla se deberán colocar los fertilizantes si se desea evitar daños, especialmente si el suelo está relativamente seco. En pastos establecidos el K se puede aplicar al voleo sobre la superficie del suelo.

El N es absorbido por las plantas principalmente en forma de NO_3^- . Todo fertilizante nitrogenado, que no esté en forma de nitrato, es transformado a esta forma en el suelo, la cual es fácilmente soluble en agua. Esta transformación requiere condiciones favorables de temperatura, humedad, aireación y ciertos nutrimentos como P y Ca. Las pérdidas de N de la zona de las raíces pueden ser grandes en suelos livianos y en zonas de alta precipitación. Las pérdidas de N por lixiviación se pueden reducir un poco en suelos de elevada capacidad de intercambio de cationes mediante el empleo de fertilizantes a base de amonio (NH_4^+). El ión NH_4^+ se absorbe con el complejo de intercambio de la misma manera que cualquier otro catión, hasta que los microorganismos del suelo lo oxidan a la forma de NO_3^- .

El método de aplicar el fertilizante nitrogenado al voleo en el momento de sembrar, suele ser satisfactorio, pero para cultivos de pastos es aconsejable aplicar una cantidad baja, para reducir las pérdidas por lavado. Como en el caso de los fertilizantes potásicos, una aplicación excesiva de N muy cerca de la semilla puede ser perjudicial. En pastos ya establecidos, sembrados al voleo o en surcos, el N se puede aplicar al voleo. Cuando se emplea riego, parece más aconsejable aplicar el fertilizante nitrogenado inmediatamente después de la aplicación del riego, para evitar pérdidas por lixiviación. Si los pastos quedan con muy poca área foliar después del corte o pastoreo, es conveniente esperar un poco, hasta que se haya desarrollado cierta área foliar, para hacer la aplicación de N.

Las deficiencias de Ca y Mg son muy corrientes en suelos ácidos. El uso prolongado de cal agrícola corriente o de un superfosfato común rico en sulfato de Ca, puede ocasionar la insuficiencia de Mg en algunos suelos; casi todas las leguminosas son sensibles a esta deficiencia. La utilización de cal dolomítica, constituye probablemente el tratamiento más satisfactorio de los suelos ácidos. En suelos neutros o alcalinos y sobre todo en los muy arenosos, la dolomita actúa con demasiada lentitud para controlar la insuficiencia; en estos casos, es más aconsejable aplicar el Mg en forma de sulfato.

En igualdad de condiciones, la deficiencia de S se presenta más a menudo en los suelos ácidos que en los alcalinos, debido a que los primeros sufren más los efectos de la lixiviación. Los suelos no retienen fácilmente componentes inorgánicos de S.

Puede ocurrir que como resultado de la meteorización y del excesivo empleo de fertilizantes que sólo contengan los nutrimentos principales, se presenten deficiencias de uno o varios de los microelementos. Ciertos suelos carecen de algunos de esos elementos en su estado natural.

Por lo general, las deficiencias de elementos menores o microelementos se presentan con mayor frecuencia en suelos de textura liviana, muy meteorizados y en suelos calcáreos. Las plantas requieren los microelementos en mínimas cantidades y se deben aplicar con precaución a fin de evitar una dosis excesiva que ocasionaría toxicidades. Es posible aplicarlos en aspersión sobre el follaje; en esta forma los absorben directamente las hojas de las plantas, corrigiéndose así los síntomas de deficiencia. Debido a que los efectos de las aspersiones son pasajeros, probablemente se requieran repetidas aplicaciones. Aparentemente, la mejor forma de aplicación de elementos menores es la de mezclarlos con algunos de los fertilizantes comerciales, antes de su aplicación.

Ciertos suelos tienen una capacidad de fijación de estos elementos tan elevada, que resulta muy difícil corregir las deficiencias mediante aplicaciones al suelo, como sucede con el Fe y el Zn en algunos suelos calcáreos. Durante los últimos años se ha prestado gran atención al empleo de compuestos retentivos (agentes quelatos) que forman uniones con elementos como Fe, Zn, Mn y Cu. Uno de los más corrientes es el ácido etileno-diaminotetrácetico (EDTA). Las sales de este ácido y de otros análogos, junto con los cuatro elementos antes citados, pueden ser absorbidas por las plantas cuando se aplican al suelo, debido a que no reaccionan libremente con él. Estos compuestos se pueden usar también para asperjar el follaje o en soluciones nutritivas, para conservar estos elementos en solución.

La deficiencia de B y Cu es común en suelos orgánicos, pero se puede presentar también en suelos minerales ácidos o alcalinos. La deficiencia puede ser producto de un encalado excesivo.

En el Sur de Australia, en Nueva Zelandia, en la parte central de Estados Unidos y en África Occidental se han observado deficiencias de Mo. Este tipo de deficiencia parece presentarse con más frecuencia en los

trópicos que en las regiones templadas. Casi siempre los suelos bajos en Mo son de textura gruesa, ácidos y muy meteorizados. A veces las leguminosas sufren por deficiencia de Mo, pudiéndose corregir tal falta con la aplicación de 50 a 100 g/Ha de compuestos tales como el molibdato de Na o de NH_4^+ .

6. ALGUNOS RESULTADOS DE LA FERTILIZACION DE PASTOS

La literatura relacionada con la fertilización de pastos en zonas templadas es abundante; en zonas tropicales es relativamente escasa. Se ha dado especial énfasis al N, debido a que este elemento en general es el más limitante para la producción de los pastos.

En la Tabla 1 se incluyen algunos datos sobre respuesta de los pastos pangola (*Digitaria decumbens*), pará (*Brachiaria mutica*), ángleton (*Dichanthium aristatum*), braquiaria (*Brachiaria decumbens*) y puntero o jaraguá (*Hyparrhenia rufa*) a la aplicación de N en el Valle del Cauca. Todos los pastos respondieron a la aplicación de N, pero en algunos la respuesta fue más notoria que en otros.

La frecuencia de aplicación de los fertilizantes, puede variar con el clima, la especie de pasto, el tipo de suelo, utilización, riego y disponibilidad de mano de obra, principalmente. En la Tabla 2, se incluyen los resultados obtenidos en un ensayo con pasto guinea (*Panicum maximum*) en el Valle del Sinú, variando la dosis y la frecuencia de aplicación de N. Aunque en algunos casos la aplicación de N cada 2 o 3 cortes, resultó en una mayor producción de forraje, la aplicación de este elemento después de cada corte resultó en una producción más uniforme durante todo el año, lo cual permitiría al ganadero tener una carga animal de mayor uniformidad.

TABLA 1. Respuesta de los pastos a la aplicación de nitrógeno en el Valle del Cauca. t/Ha de forraje seco por corte.

Dosis de N kg./Ha.*	Pangola (9)**	Pará (9)	Angleton (9)	Braquiaria (12)	Puntero (14)
0	0,41	0,69	1,18	0,99	1,50
25	1,74	2,52	4,00	1,67	2,80
50	3,68	4,37	6,91	2,45	4,09
100	6,27	7,41	10,21	3,08	4,40
200	8,26	10,65	10,78	3,88	4,80

* Nitrógeno aplicado después de cada corte

** Entre paréntesis el número de cortes.

TABLA 2. Rendimiento promedio por ciclo del pasto guinea. t/Ha. de forraje seco C.N.I.A. Turipaná.

Frecuencia de aplicación	Dosis de N	Ciclos		Promedio
		1	2	
Cada corte	0	18,3	9,5	13,9
	25	25,3	21,1	23,2
	50	31,3	29,7	30,5
	100	49,7	47,6	48,6
	200	57,6	56,4	57,0
Cada dos cortes	0	17,6	10,3	13,9
	50	29,0	29,5	29,2
	100	33,3	38,1	35,7
	200	47,5	49,0	48,2
	400	57,8	55,4	56,6
Cada tres cortes	0	17,7	10,4	14,0
	75	24,1	20,9	22,5
	150	37,4	34,2	35,8
	300	46,7	47,1	46,9
	600	53,7	51,9	52,8

Para tratar de regularizar la producción de forraje, bajo condiciones naturales, es decir, sin riego, el N se puede aplicar al final de la época de lluvias, lo cual permite una acumulación de forraje en la pradera para el período seco. En la Tabla 3, se observan los resultados obtenidos al aplicar N después de cada corte y estacionalmente al final del período lluvioso en pasto pangola en el C.N.I.A. Palmira. En esa zona, durante el año se presentan dos períodos secos, diciembre a marzo y junio a agosto. En un año el pangola se puede cosechar seis veces, de tal manera que el tratamiento de 50 kg/Ha de N después de cada corte recibiría 300 kg/Ha de N por año; el tratamiento de 100 kg/Ha de N al final del período de lluvias recibiría 200 kg/Ha de N por año. El rendimiento fue ligeramente superior en este último tratamiento, obteniéndose un ahorro de fertilizante y una mayor población de leguminosas nativas.

TABLA 3. Época de aplicación de nitrógeno en pangola de acuerdo a los períodos secos y húmedos.

Tratamientos	t/Ha forraje seco por corte (11)*
Testigo (N = 0)	2,4 33,3**
N - 50 kg/Ha después de cada corte	3,2 11,6
N - 50 kg/Ha final época de lluvias	2,6 19,2
N - 100 kg/Ha final época de lluvias	3,5 20,1

* Entre paréntesis el número de cortes.

** Porcentaje de leguminosas espontáneas.

También se ha estudiado la respuesta de los pastos a diferentes fuentes de N. Aunque en algunos casos se han encontrado diferencias en cuanto a la producción de forraje, contenido de proteína y producción de proteína por unidad de superficie, generalmente la fuente a utilizar depende de factores económicos tales como precio por unidad de N, costo del transporte, facilidad de adquisición en el mercado y efectos secundarios sobre propiedades físicas y químicas de los suelos. En las Tablas 4, 5 y 6, se incluyen algunos resultados de un experimento en pasto pangola en el Valle de Medellín. En todos los casos se encontraron diferencias estadísticamente significativas para fuentes, dosis y la interacción de fuentes por dosis. Principalmente, por razones de costos, facilidad de adquisición en el mercado y efectos en el suelo, la úrea es la fuente de N más recomendable en este caso, en dosis de 50 kg/Ha de N después de cada corte.

TABLA 4. Efecto de diferentes fuentes y dosis de nitrógeno en el rendimiento del pangola, en t/Ha de forraje seco por corte. Facultad de Ciencias Agrícolas, Medellín*.

Fuentes de Nitrógeno	kg/Ha de N por corte					Promedio
	0	50	100	150	200	
Nitrato de sodio	2,3	4,9	6,6	7,1	7,8	5,7
Sulfato de amonio	2,1	4,6	5,8	6,1	6,4	5,0
Urea	2,0	4,3	5,7	5,9	6,3	4,8
Promedio	2,1	4,6	6,0	6,4	6,8	

* Promedio de 25 cortes.

TABLA 5. Efecto de diferentes fuentes y dosis de nitrógeno en el porcentaje de proteína cruda del pangola. Facultad de Ciencias Agrícolas*.

Fuentes de Nitrógeno	kg/Ha de N por corte					Promedio
	0	50	100	150	200	
Nitrato de sodio	7,0	7,5	7,6	8,0	10,5	8,3
Sulfato de amonio	7,0	7,5	8,8	10,4	12,4	9,2
Urea	7,1	7,1	8,2	9,2	10,3	8,4
Promedio	7,0	7,4	8,2	9,5	11,1	

* Promedio de 25 cortes.

TABLA 6. Efecto de diferentes fuentes y dosis de nitrógeno en la producción de proteína cruda por el pangola, en kg/Ha por corte. Facultad de Ciencias Agrícolas*.

Fuentes de nitrógeno	kg/Ha de N por corte					Promedio
	0	50	100	150	200	
Nitrato de sodio	162	368	500	632	817	476
Sulfato de amonio	144	348	512	636	791	460
Urea	139	304	467	543	653	407
Promedio	148	340	494	605	758	

* Promedio de 25 cortes.

Existen numerosos casos en los cuales la aplicación de N a los pastos no resulta en un mayor porcentaje de proteína cruda en el forraje; sin embargo, la producción total de proteína por unidad de superficie generalmente se aumenta con la aplicación de N porque hay un aumento en la producción de forraje. Este efecto ha sido interpretado en base a una dilución del N en un volumen mayor de forraje.

Como se mencionó anteriormente, la intensificación en la producción de los pastos, mediante el uso de N, aumenta la necesidad de aplicar otros elementos como P, K, Ca, Mg, etc., ya que al aumentar la producción, la extracción o remoción de nutrimentos del suelo es mayor. Este efecto se ilustra por los datos presentados en la Tabla 7.

En ensayos de pastoreo, se ha encontrado que la aplicación de fertilizantes generalmente resulta en mayor ganancia diaria de peso o producción de leche por los animales, mayor capacidad de carga y mayor producción de carne o leche por unidad de superficie. En la Tabla 8, se incluyen los resultados de un ensayo realizado en el C.N.I.A. Palmira, para determinar la capacidad de carga y producción de carne en los pastos puntero, pará, pangola y guinea, bajo condiciones naturales y con fertilización y riego. En términos generales, la aplicación de N y riego resultó en una mayor ganancia de peso diaria por animal y mayor producción de carne por hectárea.

En el C.N.I.A. La Libertad, Villavicencio, se efectuó un ensayo de pastoreo continuo con y sin fertilización, utilizando toretes San Martinerero de año y medio de edad y un peso promedio de 182 kg. Se utilizó pasto puntero, gordura (Melinis minutiflora) y peludo o braquiaria, sembrados en parcelas de una hectárea. Se emplearon los siguientes tratamientos: Testigo, 700 kg/Ha de Escorias Thomas y 2 t/Ha de cal más 500 kg/Ha de 10-20-20. En la Tabla 9 se incluyen los resultados obtenidos en el experimento. La producción total de carne y la capacidad de carga fue mayor en los potreros fertilizados, especialmente

TABLA 7. Producción de forraje seco por año en t/Ha y remoción de nitrógeno, fósforo, potasio y calcio, en kg/Ha por los pastos ángleton, pangola y pará, durante un año. C.N.I.A. Palmira*.

Tratamientos			Producción t/Ha	Elementos removidos			
				N	P	K	Ca
	N	0**	3,4	36	8	38	12
Angleton	N	50	19,9	267	64	350	60
	N	100	27,6	415	75	435	88
	N	0	1,0	13	5	16	4
Pangola	N	50	9,6	164	49	186	45
	N	100	19,6	390	95	410	90
	N	0	1,8	25	7	43	5
Pará	N	50	10,7	175	46	244	35
	N	100	17,9	290	65	500	50

* Corte cada seis semanas.

** Nitrógeno aplicado después de cada corte.

TABLA 8. Pastoreo continuo en puntero, pará, pangola y guinea. Dos períodos de 196 días cada uno.

Pastos	Primer período Sin N y sin riego			Segundo período * 75 kg/Ha de N y riego		
	Animales/ Ha	Ganancia diaria, g	Carne kg/Ha	Animales/ Ha	Ganancia diaria, g	Carne kg/Ha
Puntero	2,5	690	340	2,3	720	316
Pará	2,5	600	295	2,7	690	366
Pangola	2,5	450	222	2,4	720	343
Guinea	2,0	530	208	2,7	570	303

* Durante el segundo período no hubo suficientes animales para la verdadera capacidad de sostenimiento.

TABLA 9. Capacidad de carga y producción de carne en los pastos gordura, puntero y braquiaria, bajo pastoreo continuo, con y sin fertilización.

Tratamientos		Capacidad de carga	Ganancia diaria g	Producción total carne kg/Ha
Gordura	Testigo	1,50	466	313
	700 kg/Ha E.T.	1,85	409	339
	2 t/Ha de cal + 500 kg/Ha de 10-20-20	1,76	486	383
Puntero	Testigo	1,86	581	484
	700 kg/Ha E.T.	2,00	638	572
	2 t/Ha de cal + 500 kg/Ha de 10-20-20	2,06	558	515
Braquiaria	Testigo	1,79	649	521
	700 kg/Ha E.T.	1,97	676	597
	2 t/Ha de cal + 500 kg/Ha de 10-20-20	1,68	733	552

* Duración del experimento 448 días.

en los pastos puntero y braquiaria, sobresaliendo el tratamiento con Escorias Thomas. La mayor ganancia de peso diario por animal se obtuvo con el pasto braquiaria. La capacidad de carga relativamente alta que se obtuvo para esta zona y las altas ganancias de peso diario, se pueden explicar parcialmente por el tipo de ganado que se utilizó. de poco peso y en estado de crecimiento vigoroso.

En pruebas regionales realizadas por el Programa de Pastos y Forrajes del ICA en Urrao (Antioquia), con pasto pangola y comparando pastoreo alterno con y sin fertilización, se aumentó la capacidad de carga de 2 a 3 animales/Ha; la ganancia de peso diaria fue de 747 g diarios sin fertilización y de 660 g con fertilización; la producción diaria de carne fue de 1,49 y 1,98 kg/Ha, respectivamente. La fertilización consistió en la aplicación de 300 kg/Ha de 10-30-10 al iniciarse el ensayo y dos bultos de úrea dos meses después. La ceba se terminó en cuatro meses.

En Turbo (Antioquia), en un ensayo de pastoreo en rotación más fertilización, en cuatro potreros de una hectárea cada uno y en pasto pangola, se tuvo una capacidad de carga de seis animales/Ha, con una ganancia diaria de 495 g por animal. La producción de carne fue de 2,97 kg/Ha/día. El fertilizante empleado fue el 10-20-20 en dosis de 250 kg/Ha al iniciarse el ensayo y 50 kg/Ha de N en forma de úrea, cada tres meses.

En Rionegro (Antioquia), con ganado Holstein mestizo, se realizó un ensayo de pastoreo en rotación más fertilización en cinco potreros de 3.000 m² cada uno; el período de ocupación era de siete días y de 28 días de descanso. Se tuvieron 10 vacas, es decir, una capacidad de carga de 6,6 animales/Ha. La producción diaria de leche inicialmente, sin fertilización y con concentrado, era de 39 litros; con fertilización, esta producción llegó a 90 litros diarios con los mismos animales y el suministro de concentrado se redujo en tres bultos por semana. Se empleó 10-20-20 a razón de 350 kg/Ha, aplicados inicialmente y 50 kg/Ha de N en forma de úrea después de cada pastoreo. El ensayo duró seis meses.

Los beneficios de la fertilización de pastos se pueden observar claramente en los datos de la Tabla 10, en donde se incluye un buen número de pruebas regionales realizadas por el Programa de Pastos y Forrajes del ICA en diferentes lugares de Colombia.

TABLA 10. Capacidad de carga, ganancia diaria de peso y producción de carne en potreros manejados según distintas alternativas en Colombia*.

Sistema de utilización del pasto	Carga	Producción de carne, kg	
	Animal/Ha	Animal/día	Ha/año
Continuo (condiciones naturales)	1,4	0,400	204
Alterno	2,5	0,520	475
Alterno + fertilización**	3,0	0,500	548
Rotación	3,4	0,490	609
Rotación + fertilización	5,1	0,470	876

* Los aumentos en producción de carne, además del factor pasto, también son debidos al factor animal en lo que se refiere a raza o cruce, mejor manejo y sanidad.

** Las dosis y frecuencias de aplicación de fertilizantes, variaron según el pasto, el suelo y el clima.

Los datos presentados en la Tabla 10 confirman plenamente el hecho de las ventajas que se obtienen al aplicar fertilizantes a los pastos, además de otras prácticas de manejo.

Las fuentes, dosis, frecuencias, métodos de aplicación, etc., de los fertilizantes pueden afectar algunas de las características químicas y físicas del suelo, especialmente el pH, disponibilidad de nutrimentos y permeabilidad. En la Tabla 11 se incluye el efecto de diferentes fuentes y dosis de N en el pH de un suelo aluvial que había recibido N por cinco años en forma continua. En el caso de fuentes de efecto residual ácido, como el sulfato de amonio y la úrea, es necesario aplicar cal con alguna frecuencia para evitar los efectos perjudiciales de una acidez alta en el suelo.

TABLA 11. Efecto de diferentes fuentes y dosis de nitrógeno sobre el pH del suelo. Facultad de Ciencias Agrícolas, Medellín.

Fuentes de Nitrógeno	Dosis de N, kg/Ha por corte					Promedio
	0 (0)	50 (1.250)*	100 (2.500)	150 (3.750)	200 (5.000)	
Nitrato de sodio	6,08	6,54	6,80	7,03	6,85	6,66
Sulfato de amonio	5,46	5,13	4,35	3,85	3,57	4,46
Urea	5,73	5,77	5,76	5,50	5,27	5,60
Promedio	5,75	5,81	5,64	5,46	5,20	

* Entre paréntesis la cantidad total de N aplicado en cinco años.

En la Figura 1 se puede observar la relación entre el Al intercambiable y el pH. La disminución del pH y aumento de Al intercambiable resultaron de la aplicación continuada de N en forma de úrea al pasto pangola, en dosis de 50, 100, 200 y 400 kg/Ha de N cada seis semanas, durante cuatro años.

Una fertilización mal realizada empleando fuentes, dosis y métodos de aplicación inadecuados, puede resultar en efectos perjudiciales para el pasto y para el suelo. En el caso de fertilizantes simples, que se mezclan para su aplicación, se debe tener en cuenta la compatibilidad de los materiales usados; así por ejemplo, la úrea no se debe mezclar con fertilizantes de reacción básica como las Escorias Thomas, porque el N se pierde en forma de NH_3 .

Es muy probable que el animal en pastoreo tenga efectos significativos sobre el estado de fertilidad del suelo, por el retorno de excreciones.

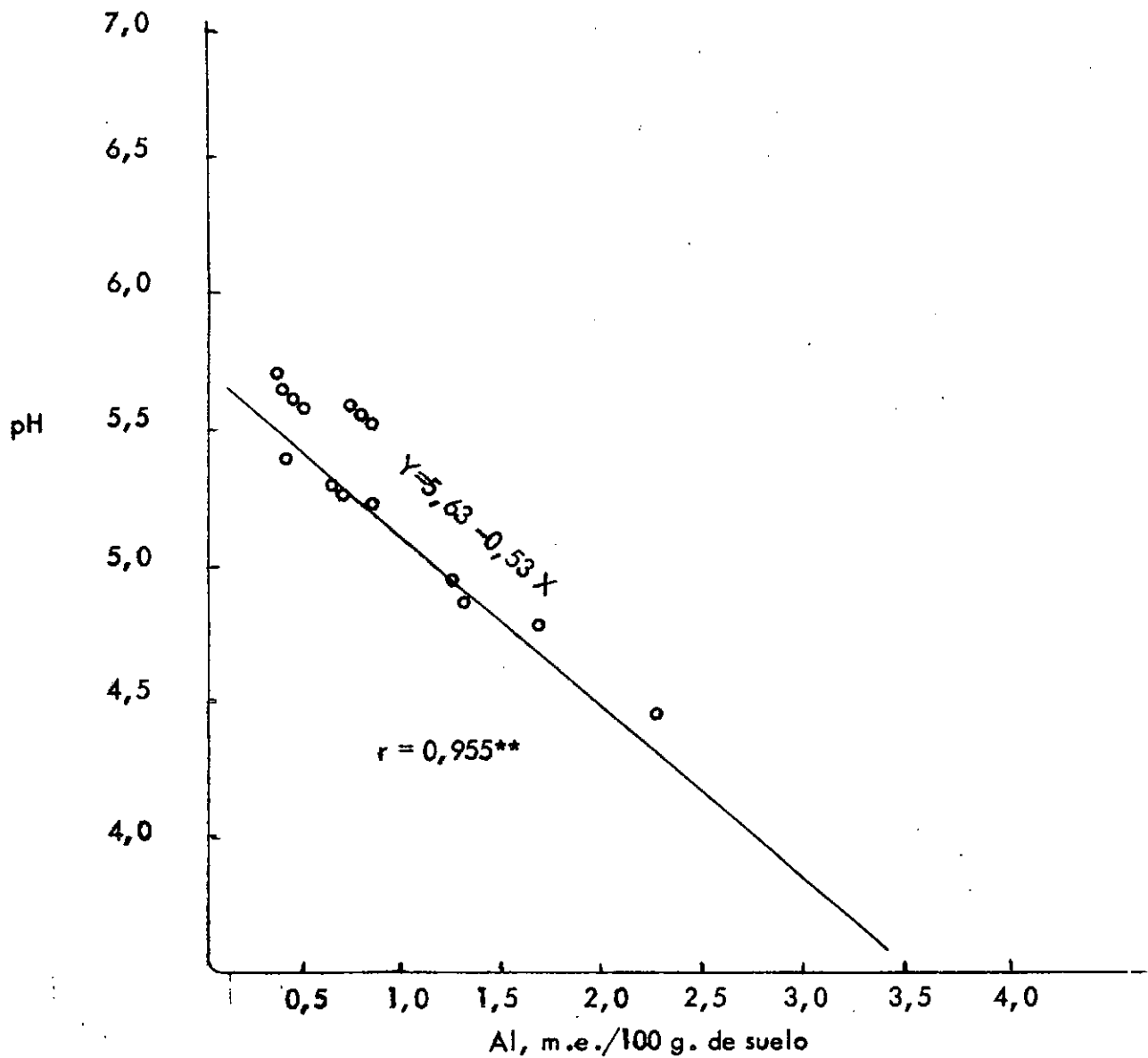


FIGURA 1. Relación entre el pH y el contenido de aluminio intercambiable del suelo.

Se ha estimado que los bovinos retornan en las heces y en la orina, aproximadamente el 75% del N, el 80% del P y el 85% del K contenidos en el alimento. Se ha encontrado que los animales bajo pastoreo continuo, distribuyen los excrementos en una forma no uniforme y que durante una estación normal de pastoreo, solamente el 10 a 15% del potrero es afectado significativamente por las excreciones. Aparentemente se requiere la misma fertilización, en presencia o ausencia del animal en pastoreo continuo; es muy probable que bajo pastoreo en rotación y especialmente con el uso de la cerca eléctrica, el animal en pastoreo distribuya las excreciones en forma más uniforme, aumentando la eficiencia de éstas.

Algunas estimaciones que se han hecho sobre la composición química de las excreciones, indican que éstas contienen aproximadamente 0,38% de N, 0,18% de P_2O_5 y 0,22% de K_2O en las heces, mientras que la orina contiene: 1,10% de N, 0,01% de P_2O_5 y 1,15% de K_2O . También se ha determinado que el ganado vacuno de dos años de edad produce aproximadamente 25 kg de estiércol y 9 kg de orina por día.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. ALARCON, E.; LOTERO, J. Establecimiento, fertilización y manejo de las principales gramíneas y leguminosas forrajeras en dos pisos térmicos de Colombia. Bogotá, ICA, 1969. 31p. (Boletín Técnico No. 5).
2. _____; LOTERO, J.; CHAVERRA, H. Demostraciones sobre Manejo y Producción de Pastos en Fincas Ganaderas. Instituto Colombiano Agropecuario, 1972. 84p. (Boletín Técnico No. 23).

3. BEAR, F.E.; KING, W.A. and BENDER, C.B. The dairy cow as a conserver of soil fertility. N.J. Agr. Expt. Sta., 1946. (Bull. 730).
4. CHANDLER, J.V. et al. El manejo intensivo de forrajeras tropicales en Puerto Rico. Univ. de Puerto Rico, Recinto de Mayaguez, Est. Exp. Agr., 1967. 169p. (Bol. 202).
5. CHUNG SANG, G.; LOTERO, J. Efecto de la orina depositada por animales en pastoreo sobre la fertilidad del suelo. Revista ICA 12(2): 107-123. 1977.
6. CROWDER, L.V.; RIVEROS, G. Resumen de las Investigaciones en pastos y forrajes. Agric. Trop. 18:391-420. 1962.
7. ESCOBAR, L.; RAMIREZ, A.; LOTERO, J. Dosis y frecuencia de aplicación de nitrógeno en tres gramíneas tropicales. Agric. Trop. 23:726-737. 1967.
8. IGNATIEFF, V.; PAGE, H.J. El uso eficaz de los fertilizantes. Colección FAO. 1959. (Estudios Agropecuarios No. 43).
9. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. Programa de Pastos y Forrajes. Informes Anuales de Progreso 1965-1970.
10. LOTERO, J.; WOODHOUSE, W.W. Jr. and PETERSEN, R.G. Local effect on fertility of urine voided by grazing cattle. Agron. Jour. 58: 262-265. 1966.
11. _____. Algunos aspectos de la fertilización de pastos. En: Pastos y Ganados para la Costa Atlántica. ICA, 1967. p.33-42. (Boletín de Divulgación No. 15).

12. LOTERO, J. et al. Respuesta de gramíneas y leguminosas forrajeras al encalamiento. Acidez y encalamiento en el trópico. Primer Coloquio de Suelos. S.C.C.S. Suelos Ecuatoriales 3(1): 210-239. 1971.
13. _____. Región trópico húmedo. Conferencia especial de la FAO sobre pastos y cultivos forrajeros en América Tropical. Cali, Colombia, enero 17-22 de 1972. 18p.
14. PETERSEN, R.G.; WOODHOUSE, W.W. Jr. and LUCAS, H.L. The distribution of excreta by freely grazing cattle and its effect on pasture fertility. II. Effect of returned excreta on the residual concentration of some fertilizer elements. Agron. Jour. 48: 444-449. 1956.
15. RUSSELL, E.W. Soil conditions and plant growth. John Wiley and Sons. 9th. Ed. 1961.
16. TISDALE, S.L. and NELSON, W.L. Soil Fertility and Fertilizers. 2nd. Ed. New York, The MacMillan Co. 1966.

FERTILIZACION QUIMICA Y ORGANICA DE MONOCULTIVOS Y CULTIVOS ASOCIADOS EN EL CLIMA FRIO DE ANTIOQUIA

José Hiriam Tobón C.*

1. INTRODUCCION

Las zonas de clima frío en Antioquia ocupan unos 10.000 Km² en donde se cultivan como especies principales: Papa, maíz, fríjol, repollo, zanahoria, remolacha, arveja y arracacha.

Desde hace cerca de 20 años, el ICA viene desarrollando intensamente en su Estación Experimental La Selva en Rionegro, trabajos agronómicos para definir recomendaciones para los agricultores, entre ellas la de fertilización de cultivos.

A partir de 1971 y a través del Proyecto de Desarrollo Rural del ICA en el Oriente Antioqueño, se ha dado énfasis al estudio de los sistemas agrícolas existentes, ajustando las recomendaciones agronómicas a estos sistemas. Después de 1976 se iniciaron trabajos similares en la zona fría del Norte de Antioquia.

Los cultivos de papa, maíz, fríjol y las hortalizas como repollo, zanahoria y remolacha, ocupan la atención especial de este trabajo por la mayor área sembrada y el mayor número de agricultores involucrados en su producción.

La heterogeneidad de los suelos y los microclimas de montañas hacen necesario buscar para áreas específicas, las recomendaciones de

* Ingeniero Agrónomo, M.S. Productividad de Suelos. Distrito de Transferencia de Tecnología del ICA, Rionegro, Antioquia.

fertilizantes, variedades y prácticas de cultivo que se ajusten a los sistemas de producción allí practicados por los agricultores.

En el presente trabajo se discuten los resultados más sobresalientes realizados por varios investigadores en los cultivos alimenticios más importantes; sin embargo, los nuevos conocimientos de la agricultura, especialmente en hortalizas, hacen necesario desarrollar mayores trabajos en fertilización, sistemas de producción y prueba de nuevas alternativas de cultivos para diversificar la producción y aprovechar los buenos recursos del clima en términos de lluvias. De ahí que se de un mayor énfasis a la presentación de las experiencias directas en el trabajo de ensayos y parcelas demostrativas con pequeños productores que a la presentación de datos de ensayos en Estaciones Experimentales.

2. CARACTERISTICAS GENERALES DEL CLIMA FRIO ANTIOQUEÑO

Las zonas de clima frío en Antioquia están localizadas entre los 2.000 y 2.500 m. s. n. m., representadas principalmente en las regiones conocidas como el Norte y el Oriente Antioqueño; así, de los 10.640 Km² de clima frío en el departamento, unos 5.582 Km² corresponden a estas áreas. La temperatura anual promedio es de 15 a 17°C y la precipitación promedio anual en mm para el Oriente Antioqueño varía, en 23 años, de 1.652 para La Ceja a 2.704 para El Carmen de Viboral, obteniéndose un promedio general de 1.945 mm bien distribuidos. Las épocas de lluvia empiezan desde mediados de marzo hasta junio y mediados de agosto hasta principios de diciembre. Los meses de diciembre, enero y febrero son de baja precipitación, de 60 a 100 mm/mes. Los meses de mayo y octubre representan los más lluviosos, con 240 y 230 mm, respectivamente (17).

En el Oriente de Antioquia los suelos de planicie y vegas tienen mal drenaje externo e interno; los suelos de ladera o colinas presentan muy baja densidad aparente 0,3 a 0,7 g/cc y son porosos, lo que los hace de un drenaje externo e interno bueno, excesivo a veces, incapaces de retener suficiente humedad; son suelos susceptibles a la erosión pero de muy fácil laboreo (3).

La topografía en las colinas altas es de 21 a 50% y tiene forma redondeada; en algunos casos, esta topografía es muy escarpada a ondulada. Las terrazas y aluviones son de topografía plana.

Según Fernández y Santa, citados por varios autores (ver Referencias Bibliográficas), los suelos según la nomenclatura francesa se pueden clasificar como podzólicos; hidromórficos con pseudogley; según la séptima aproximación como inceptisoles (orden) Andepts (sub-orden) y según Wright como Alófano Húmico derivado de cenizas volcánicas. Las colinas están formadas por depósitos volcánicos más o menos profundos. Las terrazas y aluviones descansan sobre un material arcilloso, de posible origen lacustre (2).

La experiencia general del ICA en los análisis de suelos, indica que éstos son fuertemente ácidos con pH's de 4,4 a 5,6; muy altos en materia orgánica, 10 a 28%; presencia de aluminio intercambiable de 0,1 a 4,4 meq/100 g de suelo y con bajo contenido de calcio intercambiable (Tabla 1). La saturación de bases es muy baja y el potasio disponible para las plantas es muy variable. El fósforo presenta el mayor complejo en su determinación; aún para diferentes métodos, presenta valores de 5,0 a 97 ppm indicando la gran heterogeneidad del suelo, a causa del manejo. En los suelos después de cultivados con papa y hortalizas por varias cosechas, se puede encontrar niveles altos de P disponible. Los suelos en su estado natural o en pastos son muy bajos en P asimilable por Bray II. El contenido de Mg es de 0,24 a 1,5 meq/100 g de suelo.

TABLA 1. Características químicas generales de la zona fría de Antioquia.

	pH	M. O. %	P ppm Bray II	Ca ⁺⁺	K ⁺	Al ⁺⁺⁺
				meq/100 g de suelo		
Rango	4,4-5,6	10-28	5,0-97	0,4-5,6	0,04-1,30	0,1-4,4
Promedio	5,2	19	18,0	2,5	0,32	1,2
Desviación Standard	0,32	5,8	20,5	1,3	0,25	0,9

Diferentes investigadores (1, 2, 3, 6, 7, 9, 17, 19), concuerdan con la baja fertilidad de los suelos y la respuesta de los cultivos a fertilizantes químicos que aumentan la producción en más del 500%, siendo mayores cuando se acompaña de aplicaciones de cal y abonos orgánicos. Estos suelos son altamente fijadores de fósforo. León, Lotero y Ospina, citados por Tobón (17) indican que pueden fijar hasta 80 ppm de P.

Los requerimientos de cal para llevar un suelo hasta pH 6,6 determinados por Rodríguez son muy altos, del orden de 60 t/Ha y unas 10 t/Ha son necesarios para neutralizar el Aluminio intercambiable*.

En general, se puede concluir que por las condiciones topográficas, ausencia de riego y pobres características, los suelos son de baja productividad. Por lo anterior, es interesante conocer toda la estrategia desarrollada por los agricultores de estas zonas, en los aspectos

* Rodríguez J., M. Encalamiento en suelos volcánicos de la Penillanura Central de Antioquia. Revista ICA (Colombia) 9(1): 61-76. 1974.

agronómicos de variedades, sistemas de labranza, distribución de épocas de siembra, formas de aplicación de abonos, y sistemas de asociación, intercalamiento y relevo de varias especies vegetales en un mismo lote para la cosecha, que ha repercutido en una relativa alta producción, rentabilidad y eficiencia.

3. RESULTADOS EN PAPA, Y SUS ASOCIACIONES CON FRIJOL

La Figura 1, indica la respuesta del cultivo de papa a las aplicaciones de Nitrógeno siendo, a la misma dosis de P, mayor la producción al aplicar mayor cantidad de Nitrógeno cuando se aplicaron 300 kg/Ha de P_2O_5 . La diferencia entre 0 y 50 kg/Ha de N fue de 4 t/Ha de papa y la diferencia entre 50 y 100 kg/Ha de N fue de 1,9 t/Ha de papa.

La respuesta a 50 kg/Ha de N es clara y no justifica económicamente en condiciones actuales llegar a 100 kg/Ha de N con rendimientos tan bajos como 9 a 13 t/Ha, aunque las diferencias sean estadísticamente significativas. A todos los tratamientos se les aplicó 5 t/Ha de cal y 100 kg/Ha de K_2O . Cuando se aplicó 4 t/Ha de gallinaza y 100 kg/Ha de Agrimins en presencia de 100 - 300 - 100 kg/Ha de N, P_2O_5 y K_2O , respectivamente, los rendimientos fueron de 16,8 y 15,2, respectivamente.

Este experimento duró 10 años (1958 a 1967). En otro experimento de seis años (1961 a 1966) con fertilizaciones de 100 - 450 - 100 kg/Ha de N, P_2O_5 y K_2O , respectivamente, el rendimiento fue de 13 a 14 t/Ha de papa y aumentó a 16 t/Ha de papa cuando se aplicó mulch o "tapa" y aún con niveles bajos de fertilización con la aplicación de 5 t/Ha de gallinaza pasó de 17,1 a 26 t/Ha de papa.

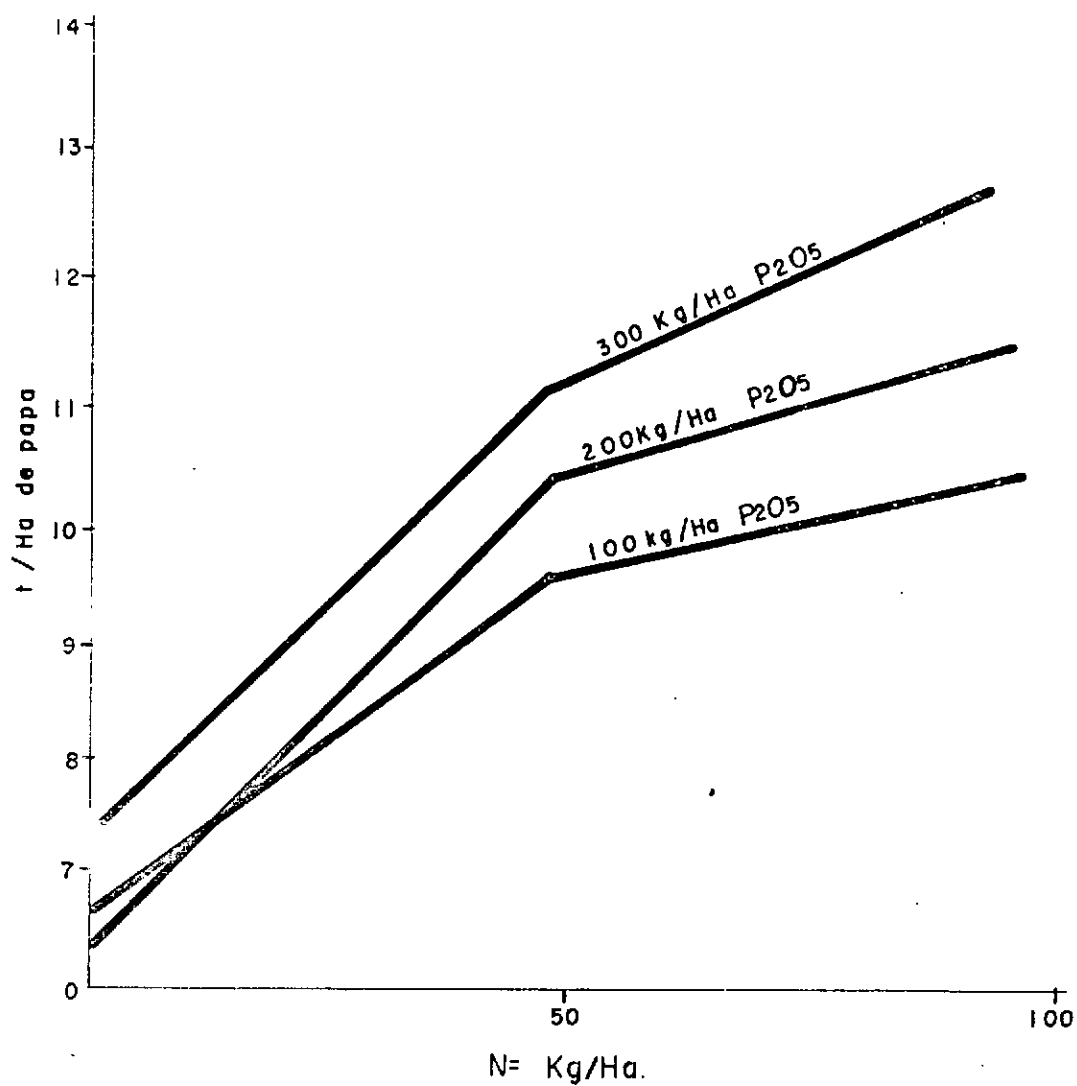


FIGURA 1 - RESPUESTA DE LA PAPA A LA FERTILIZACION CON N, P₂O₅ EN UNA ROTACION PAPA - AVENA, EN SUELO ANDEP DE LA SELVA (Rionegro).

* (Tomada de Muñoz y Rodríguez 5,12).

Rodríguez (11), en experimentos conducidos de 1958 a 1967 en la Estación Experimental La Selva del ICA en Rionegro, usando rotaciones con pastos con el objetivo de observar el efecto de altas dosis de cal y fósforo en la producción de papa y pastos, encontró que, en papa y pastos a mayores cantidades de P aplicado, mayor es la producción, siendo lo mejor 450 kg/Ha de P_2O_5 (Tabla 2). Sin embargo, observados los resultados y con los costos actuales y en cualquiera de las dosis usadas, no es aconsejable aumentar de 300 kg/Ha de P_2O_5 principalmente para lograr mejores rendimientos en papa.

TABLA 2. Efecto de las aplicaciones de fósforo y cal en la producción de papa (t/Ha) en suelo volcánico y la papa sembrada en el primer semestre de 1958, 1960, 1962 y 1965. Después de la cosecha de papa el suelo se cultiva con pastos Orchoro y Pangola. Rodríguez (11).

t/Ha Cal	kg/Ha de P_2O_5				Promedio
	50	150	300	450	
0	10,3	14,3	17,0	17,8	14,9
10	10,1	13,4	15,4	15,6	13,6
40	8,0	10,2	12,3	14,5	11,2
Promedio	9,5	12,6	14,9	16,0	13,3
Promedio prod. pasto t/Ha		2,0	2,2	2,3	

Para una buena rotación de papa - pastos, es aconsejable tener como mínimo dos cosechas de papa y los pastos pueden permanecer unos cinco semestres para unos buenos rendimientos.

Muñoz (5) al analizar los ensayos de Rodríguez (11,12) concluye "que para suelos con resultados de análisis de suelo en fósforo por Olsen o Bray II inferiores a 40 ppm, la aplicación de 100 a 300 kg/Ha de P_2O_5 aumenta significativamente los rendimientos. Dosis más altas de P_2O_5 incrementan la producción, pero no son económicamente muy eficientes, debido a que la relación beneficio-costos es muy baja. La dosis de P_2O_5 que se debe aplicar, para suelos con contenidos mayores de 40 ppm de P por estos métodos, puede variar entre 75 y 150 kg/Ha en cada cosecha".

Con respecto a Potasio, Muñoz (5) analizando los mismos ensayos, indica que los rendimientos cambian de 7,7 a 13,0 t/Ha cuando se aplican 100 kg/Ha de K_2O en presencia de 100 y 300 kg/Ha de N y P_2O_5 , respectivamente y 5 t/Ha de cal y no recomienda su aplicación para suelos con contenidos superiores a 0,30 meq/100 g de suelo de K^+ intercambiable.

En la Tabla 2 se observa que las aplicaciones de cal agrícola no influyen apreciablemente en los rendimientos o los disminuyen y estas disminuciones dice Rodríguez (11) se deben posiblemente a desbalanceamientos con otros nutrimentos como el Magnesio y a elementos menores; como también pudo influir el cambio de pH; además, se notó cuando se aplicó la cal, que el Fósforo aprovechable era menor, posiblemente debido a que el Ca y el $Al(OH)_3$ recientemente precipitado, se puede combinar con los fosfatos, haciéndolos menos solubles.

Los anteriores resultados y otros derivados de pruebas regionales llevadas a cabo por Rodríguez (11,12) en el cultivo de papa, sirvieron de base en la selección o determinación de los espacios o niveles de exploración en fertilizantes para ensayos agronómicos realizados

a partir de 1971, realizados directamente en las fincas de agricultores del Oriente Antioqueño y a partir de 1976 en el Norte de Antioquia, por personal de los Programas de Desarrollo Rural e Investigación.

Dentro de los ensayos de investigación adaptativa, se ha tratado de "ajustar" las recomendaciones de fertilizantes, acorde con las variedades, arreglos de cultivos y áreas de producción que conforman conjuntos productivos, que se identificaron principalmente en el Oriente Antioqueño. En esta área se reconocen tres sistemas productivos a saber:

- .1. Sistema I. Producción de papa y asociados en suelos nuevos, delgados, en ladera y fuertemente erosionados; con subsuelo blanco a poca profundidad o visible y con baja capacidad de retención de humedad. Estos se han encontrado en los municipios de La Unión, San Vicente, Guarne, Marinilla y El Santuario.
- .2. Sistema II. Producción de papa y asociados en suelos de varias cosechas de papa, maíz y frijol, profundos, negros, con pendiente somera a plana, sin impedimentos de drenaje y buena capacidad de retención de humedad, ubicados éstos en áreas de La Unión, Sonsón, El Carmen de Viboral, Marinilla y parte occidental de Rionegro.
- .3. Sistema III. Producción de papa en suelos altamente erosionados, pendientes, con uso de mezclas de subsuelo, de baja retención de humedad, de colores claros o pardos a negruscos y de reciente incorporación a la agricultura, ubicados en Marinilla y El Santuario.

En ensayos demostrativos realizados en el Oriente Antioqueño, se trató de probar una matriz de tratamientos con N, P_2O_5 , K_2O y gallinaza, bajo condiciones de previa neutralización del Al intercambiable; se concluyó que el cultivo de papa responde bien a la aplicación de 1,5 toneladas de cal por hectárea, por cada miliequivalente de aluminio intercambiable.

Para asegurar un mejor aprovechamiento, se puede aplicar la cal localizada sobre los hilos o rayado del terreno con una semana de anticipación a la siembra de la papa. La cantidad de cal necesaria en este sistema de encalado por surco, es de cerca de 1/2 a 1 t/Ha en cada siembra, es decir, aplicar un kilogramo por cada 10 metros a lo largo del surco. Este sistema de encalamiento sobre el surco reduce en una quinta parte el requerimiento total. Los cultivos siguientes de maíz y fríjol, no requieren encalamiento, aprovechando los residuos del cultivo de papa.

A pesar de ser suelos ricos en materia orgánica, la mayor respuesta de la papa a los diferentes nutrientes, N y P principalmente, se ha obtenido experimentalmente cuando se aplica gallinaza y algunos tipos de compost hechos en la finca, en dosis de 2 t/Ha para suelos ya trabajados y de 3 a 4 t/Ha para suelos nuevos o de primera cosecha.

Con el desarrollo de nuevas variedades de papa más productivas, más resistentes a la gotera y el mejor control realizado sobre plagas y enfermedades, fue posible eliminar la competencia de fríjol hacia papa cuando se asociaban. La reducción era de 4 - 5 t/Ha de papa en ensayos de campo realizados en 1972, según Tobón (17); actualmente, la fertilización no está afectada si el cultivo es solo o asociado, sino que la producción de fríjol va en detrimento directo del mayor o menor desarrollo del cultivo de papa. La variedad de fríjol Diacol Catío, de menor período vegetativo que el fríjol mocho cargamanto, reduce esta competencia y se puede sembrar doble población con respecto a la papa, según las experiencias en el Oriente Antioqueño.

Como se observa en la Tabla 3, el sistema I tiene muy baja capacidad productiva y la respuesta de papa a los fertilizantes es limitada.

Actualmente y de acuerdo a las experiencias de campo, la recomendación para cualquier arreglo es de 600 a 700 kg/Ha de 10-30-10 o

TABLA 3. Rendimientos en t/Ha de papa x fríjol en el sistema I. Promedios del Oriente Antioqueño (Datos de 22 fincas).

Municipio	Fórmulas de fertilización en N- P ₂ O ₅ y K ₂ O, kg/Ha		
	50-150-50	100-300-50	100-300-50+10G* 120-450-50
La Unión	13,5	16,3	23,4
La Unión	15,0	19,9	23,6
La Unión	10,5	13,4	14,4
La Unión	11,7	12,8	-
La Unión	23,0	25,7	16,23
La Unión	10,0	12,7	-
La Unión	10,5	14,0	-
San Vicente	5,23	6,2	-
San Vicente	13,3	17,5	19,6
San Vicente	8,1	11,7	-
San Vicente	4,1	5,2	-
San Vicente	9,7	9,6	-
San Vicente	7,1	7,2	-
Rionegro	12,7	12,5	-
Rionegro	8,5	6,3	-
Marinilla	13,2	14,3	-
Marinilla	15,3	17,7	-
El Carmen	15,2	19,0	-
El Carmen	12,0	13,8	-
El Carmen	7,87	8,7	-
El Carmen	9,6	9,1	-
El Carmen	9,9	10,1	-
Promedio \bar{X}	11,2	12,9	19,4
Desviación	4,04	5,08	4,14

* 10 t/Ha de gallinaza.

13-26-6; básicamente en estos suelos se trata de recuperar la inversión económica y preparar el suelo para futuras cosechas del mismo u otros cultivos.

En el Sistema II (Tabla 4) son suelos con mayor capacidad productiva; frecuentemente se logran los mayores rendimientos y la recomendación es de 1.000 a 1.300 kg/Ha de 10-30-10 o 13-26-6, según experiencias de la región. Para gallinaza, se recomiendan 2 y 4 t/Ha en los Sistemas I y II, respectivamente, y la Cal de 1 a 3 t/Ha surco, según el contenido de Aluminio intercambiable para ambos sistemas.

La distancia de siembra recomendable para cualquier arreglo de cultivo es el de 1 m x 0,40 m; en monocultivo se puede reducir en 7 cm la distancia entre matas. El fríjol Diacol Catío se sembrará en relación 1:2 papa: fríjol, es decir, dos plantas de fríjol en medio de cada planta de papa. Con respecto a elementos menores no se ha encontrado respuesta satisfactoria.

En el Norte de Antioquia se ha estudiado la fertilización de papa y sus arreglos principales. Para ilustración se anotan algunos ejemplos reportados por Quirós y colaboradores (8):

En ensayos sobre niveles de fertilización en la vereda Quitasol del municipio de Santa Rosa, utilizando 1.250 kg de 10-30-10 y 2 t/Ha de gallinaza, los rendimientos con la variedad Capira fueron de 21 t/Ha. Utilizando 1 t/Ha de 10-30-10 y 2 t/Ha de gallinaza, con la misma variedad, los rendimientos en una parcela demostrativa en la vereda Orobajo (Santa Rosa), estuvieron en las 40,5 t/Ha.

En un ensayo sobre adaptación y comportamiento de variedades e híbridos de papa, en la vereda Malambo, municipio de Santa Rosa, se obtuvieron en 1979 30 t/Ha de la variedad Capira. Con la misma variedad, en el corregimiento Hoyorrico del mismo municipio, en un ensayo

TABLA 4. Rendimiento en t/Ha de papa en el sistema II. (Datos de 22 fincas).

Municipio	Fórmulas de fertilización en N- P_2O_5 y K_2O , kg/Ha			
	50-150-50	100-300-50	100-300-50+10G*	120-450-50
La Unión	19,5	22,3	18,3	30,2
La Unión	22,0	27,0	-	27,2
La Unión	16,4	23,4	19,5	27,2
La Unión	16,2	21,0	22,7	-
La Unión	18,4	20,1	24,6	-
La Unión	28,4	30,3	-	-
La Unión	11,52	12,3	-	-
La Unión	10,9	13,2	-	-
La Unión	17,4	15,3	-	19,2
La Unión	14,8	20,6	-	20,25
El Carmen	15,9	18,9	21,7	-
El Carmen	16,9	20,3	29,6	-
El Carmen	16,9	19,3	-	22,4
El Carmen	23,2	27,3	29,7	-
El Carmen	18,0	25,5	-	-
El Carmen	6,76	11,27	-	-
El Carmen	24,5	26,3	-	23,4
El Carmen	10,5	14,8	-	-
Guarne	22,4	26,0	-	-
Rionegro	28,2	27,8	31,1	-
Rionegro	20,5	27,6	25,45	-
Rionegro	15,0	15,6	-	-
Promedio \bar{X}	17,8	21,2	24,7	24,2
Desviación	5,53	5,6	4,6	4,0

* 10 t/Ha de gallinaza.

sobre niveles de fertilización, utilizando fertilizante químico, los rendimientos estuvieron entre 33 y 38 t/Ha, cuando el promedio de la región se encuentra entre 12 y 15 t/Ha.

Es de destacar los resultados que se vienen obteniendo en parcelas de pequeños agricultores de la región, con el sistema de siembra de papa en surco doble. En un ensayo realizado en la vereda La Lana del municipio de San Pedro, comparando la siembra en surco doble y aplicación de dos toneladas de cal a la siembra, una tonelada de gallinaza y tres dosis diferentes del fertilizante 13-26-6 y utilizando la variedad criolla de la zona denominada "Caretá" o papa de año, se obtuvo un promedio de producción de 27 toneladas por hectárea, contra 10 toneladas promedio de producción en la zona.

En un segundo ensayo realizado en la vereda El Espinal del mismo municipio y utilizando la variedad mejorada de papa ICA-Puracé, con la aplicación de tres dosis diferentes de fertilizante 13-26-6 y una tonelada de cal al momento de la siembra, se obtuvo 35 t/Ha en surco doble contra 18 toneladas promedio en la zona.

4. RESULTADOS EN MAÍZ

Desde inicios de la investigación agrícola hasta 1970, los ensayos de fertilización en maíz fueron dirigidos para siembras en monocultivo. En la casi totalidad del área fría antioqueña se siembran maíces criollos dispuestos en asociados, relevos o intercalado con otros cultivos. Esta estrategia le ha permitido al agricultor obtener diversidad de cosechas en el mismo lote, lo que no permitiría las siembras de monocultivo de maíz por su largo período vegetativo de 8 a 10 meses.

La estrategia utilizada ha sido la de estudiar y evaluar los diferentes sistemas de siembra de maíz, comparación con materiales híbridos y variedades mejoradas, con énfasis principal en distancias de siembra, habilidad competitiva de los maíces para desarrollar en medio de cultivo de papa o fríjol, su resistencia como tutor del fríjol cargamanto, niveles de requerimiento de fertilizante y su rendimiento.

El maíz criollo en los diferentes arreglos, con 37.000 plantas/Ha responde a 50 kg/Ha de Nitrógeno cuando el cultivo anterior ha sido de papa u hortalizas. Cuando el cultivo anterior es diferente a papa u hortalizas pero, si ha tenido varias cosechas, responde a N y P_2O_5 en dosis de 50 kg/Ha para cada nutriente, aplicándose el P al momento de la siembra y el N cuando al maíz se le hace la segunda desyerba o se encaballona.

Estos cambios del maíz criollo, representados en mayor densidad de población que la usada normalmente por el agricultor (22.000 plantas/Ha), sembrar más granos para después ralear, la fertilización con N y/o P y el encaballonamiento, han permitido elevar los rendimientos de maíz criollo de 900 kg/Ha a 2.400 y 3.580 kg/Ha de grano seco y limpio al 15% de humedad, como se aprecia en la Tabla 5. En esta Tabla, se presentan resultados de los maíces ICA V.453 y criollo montaña a diferentes niveles de fertilización.

Con el maíz criollo montaña se probó la asociación de fríjol en varias distancias de siembra y diferentes dosis de N, P y K con niveles de 0 y 50 kg/Ha de N, P_2O_5 y K_2O . Los mejores rendimientos para el sistema se obtuvieron con aumentos de 10.000 plantas/Ha, a las que usa el agricultor; es decir, se alcanzan poblaciones de 37.000 plantas/Ha. Los rendimientos de maíz aumentaron de 1,0 t/Ha a 3 t/Ha de grano seco; el fríjol cargamanto con 250 kg/Ha de 10-30-10, produjo hasta 850 kg/Ha de grano seco.

TABLA 5. Rendimiento en kg/Ha de grano al 15% de humedad de maíces ICA V.453 y Criollo Montaña a diferentes dosis de fertilizantes de N y P₂O₅.

Municipio	ICA V.453		Criollo Montaña	
	50-0 N - P ₂ O ₅	50-50 N - P ₂ O ₅	50-0 N - P ₂ O ₅	50-50 N - P ₂ O ₅
Rionegro	4094	4674	4231	-
El Carmen	3099	-	3050	-
Marinilla	1472	4790	1884	3089
La Unión	2404	3107	-	5300
El Santuario	-	2470	1694	2843
San Vicente	3127	2996	3528	2572
Guarne	436	4401	841	-
Sonsón	533	4262	1731	4094
Promedios	<u>2166</u>	<u>3814</u>	<u>2423</u>	<u>3580</u>
Diferencia entre dosis		<u>1648</u>	<u>1157</u>	

En el Oriente Antioqueño, trabajando sobre un sistema de cultivos de relevo como papa — maíz — fríjol cargamanto, para 1970 el Estudio Socioeconómico reportó un promedio de producción de 450 kg/Ha de fríjol cargamanto. Los primeros resultados experimentales de 1971 fueron inferiores en promedio general a los obtenidos por los agricultores

(353 kg/Ha); para esa época se ensayó una fórmula de 20-60-20 de N, P_2O_5 y K_2O , respectivamente. Para 1972 se usó espacios de exploración, así: N (30 - 120), P (100 - 150) y K (60 - 90) y tratamientos adicionales con Molibdeno, Magnesio y Gallinaza, en la esperanza que la baja fertilidad del suelo limitaba los rendimientos del fríjol cargamanto y se modificó la fecha de siembra. Previamente a la cosecha anterior se hizo una selección rústica en campo de la semilla por apariencia libre de enfermedades, buen tamaño de vaina y grano; esta semilla se usó para la siguiente siembra. Los resultados experimentales de 1972 fueron superiores hasta en doblar lo obtenido en 1971 pero muy leve aumento al promedio general de la zona.

Según la experiencia de los trabajos de campo en el Oriente Antioqueño, no es recomendable la siembra de maíces criollos ni mejorados en suelos nuevos en las zonas frías. Usando los arreglos tradicionales, el maíz capta los residuos de fertilizantes y cal y las mejores condiciones físicas dejadas por los cultivos anteriores.

No se ha encontrado respuesta satisfactoria a elementos menores bajo condiciones normales de siembra (17).

En la zona Norte de Antioquia, en algunos ensayos de investigación en terrenos de primera cosecha, se ha encontrado que con una buena preparación del suelo, la aplicación de una tonelada por hectárea de cal agrícola o 500 kg de calfos más 300 kg/Ha de un fertilizante completo de las relaciones 1:3:1 o 1:2:2 de N - P - K al momento de la siembra y 100 kg/Ha de úrea al aporque, los rendimientos tanto de las variedades mejoradas, promisorias y criollas han sido muy similares a los obtenidos en suelos donde antes se sembró papa (8).

5. RESULTADOS EN FRIJOL

Rodríguez (13) con ensayos realizados en 1971 y 1972 en suelos Andepts negros de Antioquia y Caldas, con fríjoles arbustivos mejorados encontró que para obtener la máxima producción se requería una fórmula 0 - 296 - 93 de N, P_2O_5 y K_2O en kg/Ha y 5,21 t/Ha de cal dolomítica. Aparentemente, una aplicación de 25 kg/Ha de N es conveniente para el buen desarrollo del cultivo.

El mismo autor, estimó una ecuación de regresión que permite obtener óptimos económicos; cuando el fríjol está a \$ 40,00 la fórmula sería de 0 - 248 - 73 y 1.850 kg/Ha de N - P - K y Cal, respectivamente. En un segundo grupo de experimentos, encontró que para Cal y Gallinaza se requerían 1,5 y 4,3 t/Ha, respectivamente (13). Los aumentos de rendimiento fueron causados principalmente por P y Gallinaza, siendo de 1,75 y 0,037 kg de fríjol por kilogramo de P_2O_5 y Gallinaza, respectivamente.

La estrategia usada por el Programa de Desarrollo Rural en la investigación adaptativa, fue la de estudiar los sistemas tradicionales de cultivo a partir de 1971 y evaluar su potencial productivo, que en 1971 era de 454 kg/Ha y en el primer año de trabajo los resultados experimentales fueron muy inferiores.

La investigación de varios factores a la vez presentó varios resultados durante estos años:

1. El fríjol cargamanto en relevo con maíz, con 22.000 plantas/Ha en ensayos experimentales ofrecía rendimientos promedios de 1.144 kg/Ha con una fórmula baja en kg/Ha de 20 - 40 - 20 de N, P_2O_5 y K_2O , respectivamente y 2 t/Ha de Gallinaza.

- .2. El monocultivo de fríjol ofrecía alto riesgo de pérdida total, especialmente en el segundo semestre por presentarse lluvias superiores a 250 mm/mes, siendo los ingresos negativos en 1971 con fríjol ICA Toné; en cambio el fríjol que creció asociado con papa produjo ingresos positivos.
- .3. Este fríjol ofrecía poca amplitud en la adaptación. El solo cambio de fríjol entre fincas de la misma área afectó los rendimientos en primeras cosechas pero posteriormente se adapta normalmente. Esto ocurría parece, porque cada agricultor tenía su propia semilla, sembrándola por muchos años en su misma finca y el intercambio de semillas entre ellos era casi nulo. Los ensayos de familias de fríjol Cargamanto realizados por personal de Investigación y Desarrollo Rural del ICA, mostraron diferencias significativas entre Cargamantos de diferentes agricultores.
- .4. Al sembrar semilla sana, no manchada en vaina y grano, seleccionada del campo, con tratamiento de semilla, asegurando densidad de población de 22.000 plantas/Ha para cosecha y modificaciones en el control de plagas y enfermedades, ofreció rendimientos de 909 a 1.000 kg/Ha de grano seco al 15% de humedad sin que se presentaran diferencias entre usar una dosis baja de fertilizante químico (fórmula 1) y dosis altas, fórmulas 2, 3 y 4, según aparece en la Tabla 6. Así, parece que este fríjol Criollo Cargamanto puede soportar bajas dosis de fertilizantes químicos.

En la Tabla 7 se resumen datos de ensayos de validación de tecnología, realizados en 15 fincas de El Carmen de Viboral en el sistema de fríjol Cargamanto en relevo con maíz Montaña, sin enclamiento a la siembra. Según estos datos, parece que existe un claro efecto de densidad de población, a una baja dosis de fertilizante y que la aplicación de P solo, no es suficiente, por lo cual es necesario incluir N y K.

TABLA 6. Rendimientos de frijol criollo cargamanto en 1972 en el Oriente Antioqueño con varias cantidades de fertilizante químico y orgánico con técnicas de 22.000 plantas/Ha. Tratamiento y selección de semilla en sistemas de maíz — frijol voluble.

Municipio	Vereda	Fórmulas de Fertilización				Promedio
		Rendimiento en grano limpio y seco de frijol				
		(1)	(2)	(3)	(4)*	
Rionegro	Capiro	1036	1272	787	806	975
Rionegro	Cristo Rey	364	249	258	370	310
Carmen	Garzonas	1019	1019	911	1215	1078
Carmen	Palmas	447	780	717	331	569
Carmen	Palmas	1532	1214	1246	1530	1380
Carmen	Campo Alegre	1161	1521	1410	1379	1368
Carmen	Chapa	1309	1477	1626	1657	1517
Carmen	Chapa	834	1087	1065	971	989
Carmen	Chapa	729	787	844	806	791
Carmen	Sonadora	749	543	700	672	666
Carmen	Sonadora	918	1214	1055	929	1029
Carmen	Quirama	668	835	818	791	778
Carmen	Quirama	460	566	508	470	501
Unión	La María	1446	1794	1688	1731	1665
Marinilla	Asunción	770	527	960	506	690
Marinilla	Asunción	675	992	401	728	699
Marinilla	Llanadas	515	606	422	448	498
Marinilla	Llanadas	2110	1987	1706	2137	1985
Marinilla		1046	1993	958	1090	1097
Marinilla		517	559	527	612	554
Guarne	San José	1002	1302	1020	985	1077
Promedio \bar{X}		919	1037	935	960	963
Desviación		425	453	408	480	420

* Fórmulas de Fertilización: (1) 20 - 40 - 20 kg/Ha de N, P₂₀₅ y K₂₀ + 2 t/Ha de gallinaza
 (2) 40 - 80 - 40 kg/Ha de N, P₂₀₅ y K₂₀ + 2 t/Ha de gallinaza
 (3) 60 - 120 - 60 kg/Ha de N, P₂₀₅ y K₂₀ + 2 t/Ha de gallinaza
 (4) 40 - 80 - 40 kg/Ha de N, P₂₀₅ y K₂₀ + 4 t/Ha de gallinaza.

TABLA 7. Rendimiento en kg/Ha de grano seco y limpio de fríjoles cargamanto en 1978 en el Oriente Antioqueño, con diferentes prácticas de producción en sistemas de relevo con maíz. (Datos promedios de 15 ensayos realizados en coordinación ICA-CIAT).

Práctica Agronómica	N P ₂ O ₅ K ₂ O 20-40-20 kg/Ha	Inoculación 100 kg/Ha P ₂ O ₅	P ₂ O ₅ 100 kg/Ha
22.000 plantas/Ha	1.555	1.158	1.299
66.000 plantas/Ha	2.136	1.594	1.608

El efecto de P solo como nutriente es depresivo del rendimiento, así como P más inoculación con Rhizobium disminuyó los rendimientos para ambas poblaciones con respecto a la fertilización usada.

Estos trabajos han continuado en cooperación con CIAT con igual intensidad y énfasis en el fríjol Cargamanto, para lo cual hay que establecer ciertos interrogantes como son: Si es efectivo el inóculo sin neutralizar el Al que puede ser tóxico? No es posible la deficiencia de Mo, necesario para la inoculación? No son necesarios el Ca y Mg para que funcione la inoculación?

En el área del Norte de Antioquia se inició en 1980 un proyecto sobre fertilización de fríjol; los datos no han sido publicados, pero el ICA en sus Programas de Asistencia Técnica y Desarrollo Rural para pequeños productores, ha estado probando nuevos materiales para esta región. En un ensayo sobre adaptación de variedades de fríjol arbustivo, se encontró que el fríjol Cargamanto "mocho" y el Tundama sobresalen en

rendimientos con 600 y 1.450 kg/Ha para el primero y segundo semestre del año, respectivamente. En estos casos, la fertilización al monocultivo ha sido de 500 kg/Ha de Cal Dolomítica, 300 kg/Ha de 10-30-10 y 2 toneladas de Gallinaza.

En fríjoles trepadores se ha observado que, el radical ha mostrado un rendimiento superior asociado que en monocultivo; quizás su explicación sea que, al sembrarlo en monocultivo se separa del hábitat natural en que se ha desarrollado.

Por observaciones de campo, se ha notado también que, por la acidez extrema de estos suelos, o por estar desprovistos de capa vegetal y las pocas áreas sembradas con papa, el fríjol responde muy bien a las aplicaciones de correctivos como la Cal Dolomítica.

6. RESULTADOS EN HORTALIZAS

Los cultivos hortícolas principales en el Oriente Antioqueño son el repollo, zanahoria y remolacha, ubicados en los municipios de El Santuario y Marinilla. Sólo el repollo extiende su producción a otros municipios como Rionegro y La Ceja. En las partes bajas de Rionegro (veredas Abreo), con disponibilidad de riego, se siembra lechuga. El tomate "chonto" es de una gran importancia económica en el área de los municipios de El Peñol, Marinilla y Rionegro.

Los niveles de producción de repollo, zanahoria y remolacha en la zona son bastante altos, teniéndose datos de campo, como: 94,5, 53,5 y 47,0 t/Ha de los tres cultivos, respectivamente, pero es común que los cultivos se asocien, releven o intercalen con otras hortalizas y otros cultivos. La producción es continua a través del año, sin una definición única de las fechas de siembra. En el Oriente Antioqueño, el

ICA ha identificado diferentes arreglos de cultivos hortícolas y se ha estudiado el comportamiento de estos cultivos en términos de fertilización, épocas de siembra y manejo de suelos.

Rodríguez y Lobo (9) trabajaron en la Estación Experimental La Selva del ICA en Rionegro, con zanahoria y remolacha en 1970 y 1971 y reportaron rendimientos experimentales de 7,6 t/Ha, con respecto al promedio de los agricultores de El Santuario que fue de 40 t/Ha, obtenido en 1975 por el mismo Programa de Hortalizas en trabajos en fincas en colaboración del Proyecto de Desarrollo Rural del mismo ICA.

Esto hace pensar que el área de El Santuario y Marinilla puede presentar un mismo clima, más adecuado para el desarrollo de estos cultivos, a pesar de que los suelos de cultivo son de inferior calidad que los de la Estación Experimental La Selva, por lo cual ha sido necesario buscar zonas más representativas de estos cultivos en los ensayos demostrativos de Desarrollo Rural para la investigación adaptativa.

En la Tabla 8 se resumen resultados experimentales de zanahoria, remolacha y repollo, realizados en fincas de agricultores por Mejía (5) del Programa de Hortalizas del ICA. Estos resultados indican en zanahoria que, al aumentar la dosis de 50 a 75 kg/Ha de N, los rendimientos se aumentan en 7,7 t/Ha.

El análisis gráfico llega a la recomendación de 75 - 250 - 50 kg/Ha de N, P_2O_5 y K_2O , y 10 t/Ha de Gallinaza. Por lo que se observa, es necesario estudiar dosis inferiores a 200 kg/Ha de P_2O_5 para estos suelos, mientras que, en el segundo ensayo de zanahoria hay mayor requerimiento de fósforo, lo que indica la necesidad de "ajustar" mejores recomendaciones por la heterogeneidad de estos suelos y del mismo manejo cuando se mezclan suelo y subsuelo.

Las hortalizas como cultivo pueden ser una de las alternativas para el Norte de Antioquia, ya que existen zonas potencialmente aptas para su cultivo. En estos renglones, ha sido notorio el avance, ya que el comportamiento de las distintas especies es aceptable y algunos agricultores ya inician su cultivo en forma comercial. Se trata de un cultivo totalmente nuevo en la zona, que ofrece al agricultor nuevas alternativas en la producción, fuera de mejorar notoriamente el aspecto nutricional de la familia.

En ensayos sobre niveles de fertilización con diferentes dosis de N - P - K además de gallinaza, en zanahoria de la variedad "Chantenay", los rendimientos en el corregimiento Hoyorrico de Santa Rosa, han ascendido a las 22 t/Ha con la dosis de 100 - 150 - 100 kg/Ha de N - P₂O₅ - K₂O y 2 t/Ha de gallinaza, mostrando buena respuesta a dosis altas de gallinaza. En el mismo municipio, los rendimientos en parcelas demostrativas de zanahoria de la misma variedad, han estado entre las 20 y 25 t/Ha, los cuales se consideran satisfactorios para la región.

En las demás especies de hortalizas, se trabaja a nivel de huerta y pequeñas parcelas, con las recomendaciones del Programa de Hortalizas, que permiten recomendar para la zona las siguientes variedades: Zanahoria "Chantenay"; repollo "Marion Market", "Bola Verde" y "Corazón de Buey"; remolacha "Crosby's Egiptian".

Para remolacha, el ensayo realizado en la vereda Charanga de Guarne en el Oriente Antioqueño, el K mostró efecto depresivo cuando se incrementó de 50 a 75 kg/Ha de K₂O y el análisis gráfico indica una alta respuesta a aplicaciones de materia orgánica sola. Aunque, se observan también respuestas altas a fertilizante nitrogenado solo, no se puede pensar en su aplicación solo como posible recomendación y más bien se debe mantener baja la dosis de materia orgánica en 5 t/Ha. Tampoco es recomendable aumentar la dosis de Fósforo por encima de 250 kg/Ha, debiéndose estudiar dosis menores de este fertilizante,

En resumen, la recomendación según este ensayo sería de 50 - 250 - 50 kg/Ha de N, P_2O_5 , K_2O y 10 t/Ha de materia orgánica.

Para remolacha, Mejía (5), encuentra adecuada respuesta a Boro en dosis de 30 kg/Ha de Bórax, a fin de corregir la enfermedad de Thielaviopsis, muy frecuente en la zona de El Santuario.

El estudio de otros elementos menores no ha sido afrontado todavía bajo estas condiciones de agricultura a nivel de finca de pequeño productor.

En repollo, el ensayo se realizó en la vereda Chagualo de Marinilla, encontrándose, a través de análisis gráficos, respuesta a dosis bajas de materia orgánica cuando está en presencia de iguales cantidades de N y P. Al aumentar el P se presentan respuestas a incrementos en la materia orgánica; a dosis altas de ésta, para los niveles altos y bajos de P estudiados, el N disminuye los rendimientos; la mejor dosis según la gráfica es de 50 kg/Ha de N; si se aumenta a 75 de N se disminuye el efecto de materia orgánica. El efecto de Potasio fue depresivo cuando se aumentó de 50 a 75 kg/Ha de K_2O . En resumen, los resultados del ensayo indican que para repollo, en este tipo de suelo, se deben aplicar en kg/Ha 50 de N, 250 de P_2O_5 y 50 de K_2O , así como 10 t/Ha de Gallinaza.

En ensayos demostrativos realizados por Desarrollo Rural, con el cultivo de repollo en diferentes veredas del Oriente Antioqueño, bajo seis tratamientos que incluían el fertilizante 10-30-10 y el 15-15-15, ambos con Gallinaza, no se encontró diferencias en igualdad de condiciones entre estos dos tipos de fertilizantes, con rendimientos de 85,5 t/Ha y 84,6 t/Ha, respectivamente, aplicando ocho bultos/Ha y 11 t/Ha.

Tobón (16) reporta resultados de ensayos en el Oriente con repollo en asociación o intercalado con fríjol, sistema en el cual, el cultivo

TABLA 8. Efecto de diferentes dosis de N, P₂O₅, K₂O y Materia Orgánica (M.O) sobre la producción de zanahoria, remolacha y repollo en fincas de agricultores del Oriente Antioqueño en 1978. Rendimientos expresados en t/Ha de producto comercial.

Tratamiento	Dosis en kg/Ha			t/Ha M. O	Santuario	Marinilla	Guarne	Marinilla
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O		Montañitas Zanahoria	Esmeralda Zanahoria	Charanga Remolacha	Chagualo Repollo
1	50	250	50	10	78,3	49,7	63,8	37,8
2	50	250	50	15	76,7	44,4	55,4	53,3
3	50	350	50	10	79,2	50,3	44,4	42,7
4	50	350	50	15	75,8	61,1	28,0	52,9
5	75	250	50	10	85,0	44,2	39,4	45,6
6	75	250	50	15	94,4	50,5	62,2	47,5
7	75	350	50	10	83,3	44,5	40,0	40,0
8	75	350	50	15	78,5	50,0	36,7	45,9
9	62,5	300	50	12,5	78,6	53,4	53,7	46,3
10	100	350	50	15	71,5	26,7	67,2	47,5
11	50	200	50	10	76,9	55,3	45,3	45,0
12	62,5	300	75	12,5	86,3	52,4	45,8	43,9
13	62,5	300	75	0	81,9	32,8	69,0	39,5
14	0	0	0	10	71,7	47,9	56,4	48,9

principal es el repollo, utilizando fertilización química y orgánica alta (0,6 y 6 t/Ha, respectivamente). Los rendimientos de repollo fueron del orden de 40 a 60 t/Ha y el fríjol generalmente se destina para el consumo o venta como tipo verde en vaina.

En otros arreglos hortícolas, el sistema de tomate en relevo con fríjol es usado principalmente en los municipios de Marinilla y El Peñol, utilizando espalderas. Se usa tomate de la variedad "chonto" y fríjol cargamanto voluble. El cultivo principal es el tomate, el cual recibe alta fertilización química y orgánica (0,8 y 8 t/Ha, respectivamente); el fríjol generalmente no se fertiliza y espera que capte los residuos dejados por el tomate. Aunque no se conocen resultados experimentales de estos sistemas, el rendimiento de fríjol llega a ser uno de los más altos (2.000 kg/Ha) según Tobón (16).

En base a los datos presentados, el autor recomienda que para futuros ensayos en zonas de pequeños productores, se estudien dosis menores de fertilizantes, ya que para los ensayos realizados se han escogido dosis basadas en los resultados de Centros y Estaciones Experimentales, los cuales se deben "ajustar" a las condiciones de suelo, clima y rendimiento de las pequeñas parcelas de las zonas frías de Antioquia donde se cultivan hortalizas.

7. RESUMEN Y RECOMENDACIONES

1. Las zonas de clima frío en Antioquia ocupan un millón de hectáreas y más de la mitad del área cultivada está ubicada en el Norte y Oriente del departamento. Los cultivos alimenticios predominantes son: Papa, maíz, fríjol, zanahoria, remolacha, repollo, arracacha y otras especies cultivadas, en menor área y por menor número de agricultores.

2. Esta área se caracteriza por los terrenos pendientes y ondulados, fuertemente ácidos, muy ricos en materia orgánica en Oriente y pobres en áreas desnudas de capa vegetal, bajos en bases de cambio y contenidos relativamente altos de Aluminio intercambiable y bajo en Fósforo, Calcio y Magnesio.
3. El alto poder de fijación de Fósforo de estos suelos alofánicos es quizá el principal limitante de la producción agrícola.
4. En general, la baja fertilidad natural de estos suelos y las mismas condiciones económicas de sus pobladores, los ha llevado a desarrollar sistemas de siembra de cultivos, a métodos de hacer campos cultivables, y demás prácticas de producción que han requerido en los últimos 10 años la atención especial del ICA en ensayos de "ajuste" de tecnología a nivel de finca de agricultores.
5. Los cambios constantes de precios en productos e insumos, de nuevas tierras incorporadas a la agricultura, de variación gradual en la fertilidad, estructura y laboreo de los suelos, hacen suponer que se presentarán variaciones en las respuestas de los cultivos a los fertilizantes.
6. Es importante que se dedique más atención al estudio del manejo de suelos, para el mejoramiento de sus condiciones físicas y químicas. En algunas áreas productoras, los agricultores han desarrollado sistemas de mezclas de suelo y subsuelo para la siembra de cultivos como los presentados en este artículo. La experiencia de campo del autor en estas fincas, es la de que en cultivos de papa, fríjol cargamanto, zanahoria, repollo, remolacha y tomate, los rendimientos han sido superiores y se presenta un mejor desarrollo de las plantas cuando se aplica una especie de peña en cantidades hasta de 40 t/Ha, que cuando no se aplica.

7. La práctica de encallado en maíz para el relevo con fríjol es otro ejemplo importante en este campo, donde no solo se almacena o drena el agua para las plantas según sea por deficiencia o exceso, sino que se da un soporte fuerte al maíz que servirá de tutor al desarrollo vigoroso del fríjol cargamanto y sirve como método de "hacer suelo" apto para el cultivo por incorporación constante de materia orgánica y barbechos.

Posiblemente, la investigación agrícola brindará muchas soluciones no sólo en el campo de dosis de fertilizantes sino en los demás aspectos de la producción, prioritarios a la fertilización química, por las inquietudes expuestas en el desarrollo de este texto.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS Y LECTURAS RECOMENDABLES

1. BERNAL E., J. Fertilización de gramíneas y leguminosas en suelos de clima frío de Colombia. Rev. Suelos Ecuatoriales SCCS 8(1):120-125. 1977.
2. GUERRERO M. R. La fertilización fosfórica en cultivos de clima frío. Rev. Suelos Ecuatoriales. El Fósforo en zonas tropicales. 6(1):181-223. 1974.
3. MARIN M., G. La fertilización potásica en cultivos de clima frío. Rev. Suelos Ecuatoriales SCCS. Memorias del V Coloquio de Suelos. 9(2):52-58. 1978.
4. MEJIA P., V.E. Informe sobre las realizaciones en la Estación Experimental La Selva. Rionegro, ICA, 1978. 29p. (A máquina, sin publicar).

5. MUÑOZ A., R. Fertilización y manejo de suelos cultivados con papa en Antioquia. En: "El Cultivo de la Papa". Medellín, ICA, 1978. p.77-101. (Compendio No. 24).
6. _____. Suelos y Fertilización de Hortalizas en Antioquia. En: Curso sobre Hortalizas. Medellín, ICA, 1977. p.339-351. (Compendio No. 21).
7. NAVAS A., J. El Nitrógeno en cultivos de clima frío. Revista Suelos Ecuatoriales. El uso del Nitrógeno en el trópico. 6(1): 277-300. 1972.
8. QUIROS, J.E.; CORREA P., S.; TOBON C., J.H. Desarrollo Tecnológico en Antioquia: Experiencias del ICA en el Oriente y Norte del Departamento. Medellín, ICA, 1980. 80p. (Boletín Técnico en proceso).
9. RODRIGUEZ J., M.; LOBO A., M. Fertilización de hortalizas en suelos volcánicos en Antioquia y Caldas. Revista ICA (Colombia) 7 (3):219-232. 1972.
10. _____. Algunos aspectos del cultivo del Maíz (Zea maiz). Rev. ICA (Colombia) 7(2): 89-109. 1972.
11. _____. Fertilización de una rotación papa-pastos en suelos volcánicos de Antioquia. Rev. ICA (Colombia) 8(3): 229-243. 1973.
12. _____. Fertilización de la rotación papa-avena en suelos volcánicos. Rev. ICA (Colombia) 7(3):305-308. 1972.
13. _____. Fertilización de fríjol en Antioquia. En: "Curso sobre Producción de Fríjol". Medellín, ICA, 1975. p.23-47.

14. RODRIGUEZ J., M. Fertilización y encalado de fríjol (Phaseolus vulgaris L.) en suelos volcánicos de Antioquia y Caldas. Rev. ICA (Colombia) 9(1):23-44. 1976.
15. TOBON C., J.H. Sistemas tradicionales del cultivo de fríjol. En: "Curso sobre Producción de Fríjol". Medellín, ICA, 1975. p. 7-21.
16. _____. Sistemas tradicionales de cultivos hortícolas en el Oriente Antioqueño. En: "Curso sobre Hortalizas". Medellín, ICA, 1977. p.363-375. (Compendio No. 21).
17. _____. Comportamiento de algunos sistemas agrícolas tradicionales a varias prácticas de producción en el Oriente Antioqueño. Medellín, ICA, 1977. 98p. (Boletín de Investigación No. 47).
18. _____. La papa como cultivo asociado. En: "El Cultivo de la Papa". Medellín, ICA, 1978. p.267-277. (Compendio No. 24).
19. TURRENT F., A.; TOBON C., J.H.; VARGAS O., H. Segunda Aproximación a la fertilización de papa en Antioquia. Medellín, ICA, 1972. 46p. (Documento de Trabajo).

CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS Y LA FERTILIZACION
DE LOS CULTIVOS DE MAIZ, FRIJOL, YUCA, CAÑA
PANELERA Y PLATANO, EN LA ZONA DE
CLIMA MEDIO, EN ANTIOQUIA *

Rodrigo Muñoz A. **

1. INTRODUCCION

En el departamento de Antioquia el clima medio, comprendido entre 1.200 y 1.800 metros sobre el nivel del mar y con 18 a 22^oC, es la zona de mayor importancia agrícola por estar cultivada con caña panelera, plátano, yuca, maíz, frijón, pastos y café. De los cinco primeros cultivos, existen unas 200 mil hectáreas aproximadamente, con rendimientos muy bajos. Varios son los factores que inciden en estos bajos rendimientos pero, talvez, la baja fertilidad de los suelos, el uso escaso de abonos orgánicos y fertilizantes químicos y la preparación y manejo de los mismos, son los factores que más determinan esta baja producción. En ensayos sobre estos aspectos, se han logrado incrementos que oscilan entre un 100 y 500 por ciento sobre los rendimientos promedios de la región.

En este artículo se presenta, en forma resumida, las experiencias obtenidas en el departamento de Antioquia o en zonas ecológicamente similares de otras regiones de Colombia, en los cinco cultivos mencionados. Además, se incluyen algunas recomendaciones sobre investigaciones, en el área de suelos, que debería realizar el ICA en un futuro inmediato.

* Contribución del Programa de Suelos, División de Agronomía, ICA.

** Ingeniero Agrónomo, M.S. del Programa de Suelos del ICA, Estación Experimental Tulio Ospina, Apartado Aéreo 51764, Medellín.

2. CARACTERISTICAS DEL CLIMA

La zona de clima medio comprende los suelos de ladera o residuales y los suelos aluviales o transportados de pequeños valles intermontanos. Esta zona está localizada entre los 1.200 y 1.800 metros sobre el nivel del mar, con temperaturas que oscilan entre 18 y 22°C y con precipitaciones medias anuales de 500 a 4.000 mm. La zona de vida natural comprende todas las gamas del bosque Sub-tropical o premontano; el bosque seco Subtropical (bs-ST) tiene una precipitación media anual de 500 a 1.000 mm; el bosque húmedo Subtropical (bh-ST) entre los 1.000 y 2.000 mm y el bosque muy húmedo Subtropical (bmh-ST) de 2.000 a 4.000 mm (6).

3. CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS

3.1. SUELOS ALUVIALES

Los suelos aluviales están localizados entre las riberas de los ríos y los piedemontes de las cordilleras formando terrazas, vegas, abanicos aluviales y coluvios (2,20).

La topografía de estos suelos se caracteriza por un relieve plano a ondulado con pendientes comprendidas entre 1 y 30 por ciento, aproximadamente. En estos suelos predominan las texturas medias: Arenoso franco, franco y franco arenoso, y moderadamente finas: Franco arcilloso arenoso, con cantidades variables de gravilla y casi siempre una capa de gravilla, cantos, cascajo y arena en la base del "perfil". En general, cuentan con una buena aireación, precolación rápida y buen drenaje natural. Aquellos suelos localizados en las terrazas más

próximas al cauce de los ríos o en zonas de microrelieve plano-cónca-vo son a menudo inundables, permaneciendo con esta condición de humedad por períodos largos de tiempo (2, 20).

Estos suelos presentan notables variaciones en su profundidad efectiva y nivel freático. Este último es oscilante, dependiendo especialmente de las lluvias. La profundidad efectiva, la cual parece estar determinada básicamente por el nivel freático y/o la capa de gravilla, cascajo y arena, varía entre superficial y moderadamente profunda.

Las características químicas más notables de estos suelos son una reacción o pH ligeramente ácido a neutro y bajo contenido de materia orgánica. Los contenidos de fósforo aprovechable y de las bases intercambiables calcio y magnesio varían entre medio y alto. El potasio varía entre bajo y medio. En resumen, estos suelos presentan una fertilidad media a alta, con alta probabilidad de respuesta a las aplicaciones de fertilizantes nitrogenados y en menor grado a los fertilizantes potásicos.

En la Tabla 1 se muestra las características físicas y químicas promedio de suelos aluviales de los ríos Medellín (Porce), Cauca y Magdalena en el departamento de Antioquia.

3.2. SUELOS DE LADERA

Los suelos de ladera están moderada a severamente erosionados. El horizonte A es muy delgado y en la mayoría de las zonas agrícolas ha desaparecido por completo. El horizonte B es, en cambio, muy profundo y desarrollado (2, 20).

TABLA 1. Características físicas y químicas promedias en suelos aluviales de los ríos Medellín (Porce), Cauca y Magdalena en Antioquia.

Región	Textura	pH	MO %	P ppm Bray II	Meq/100 g			No. muestras
					Ca	Mg	K	
Río Medellín	-FA y Ar.A	6,0	1,8	36,0	4,0	3,4	0,26	(8)
Río Cauca	-FL y Ar.A	5,7	1,6	17,0	6,2	3,0	0,09	(15)
Río Magdalena	-Ar.A y Ar.	5,5	2,0	20,0	3,1	2,3	0,35	(10)

Las propiedades físicas hacen de estos suelos de fácil laboreo. Estos se caracterizan por texturas medianas a pesadas con estructura granular. La consistencia es friable en húmedo y pegajosa en mojado. Además, presentan una alta porosidad y buena retención de humedad. El drenaje natural es de suelos moderadamente bien drenados a bien drenados. La topografía se caracteriza por pendientes altas, mayores de 25, 50 y 70 por ciento, con relieve ondulado, fuertemente inclinado y escarpado (2, 20).

La fertilidad natural de los suelos es baja a media. Generalmente, en estos suelos se presentan deficiencias de fósforo, potasio y magnesio. En la Figura 1, se muestra una evaluación de la fertilidad de los suelos de ladera de Antioquia. Esta evaluación se basó en los resultados de análisis de suelos provenientes de fincas de agricultores donde se cultiva frijol, caña panelera, maíz, yuca y plátano. Los datos se expresan en base a una muestra de 275 análisis de suelos. De acuerdo con los resultados de la Figura 1, predominan los suelos de texturas medias a pesadas; extremadamente ácidos a fuertemente ácidos (pH 4,6 a 5,5), medios a altos en materia orgánica (3,0 a 21,9%), bajos en fósforo aprovechable (0,7 a 15,0 ppm de P - Bray II) y en magnesio y potasio intercambiable (0,09 a 1,5 meq/100 g de K). El calcio intercambiable presenta un 50 por ciento de fincas con contenidos bajos (0,4 a 3,0 meq/100 g) y un 50 por ciento para contenidos mayores. Un alto porcentaje de las muestras analizadas, muestra contenidos de Al intercambiable mayor de 2,0 meq/100 g de suelo.

En estas condiciones naturales de fertilidad, es de esperar en estos suelos respuestas a las aplicaciones de correctivos de acidez, especialmente con cal dolomítica ($\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$); fertilizantes fosforados, potásicos y magnésicos. Estudios de campo con fertilizantes en estos suelos con maíz, frijol, caña para panela y pastos, muestran incrementos altamente significativos en los rendimientos con aplicaciones de nitrógeno (N), fósforo (P_2O_5), potasio (K_2O) y al encalamiento.

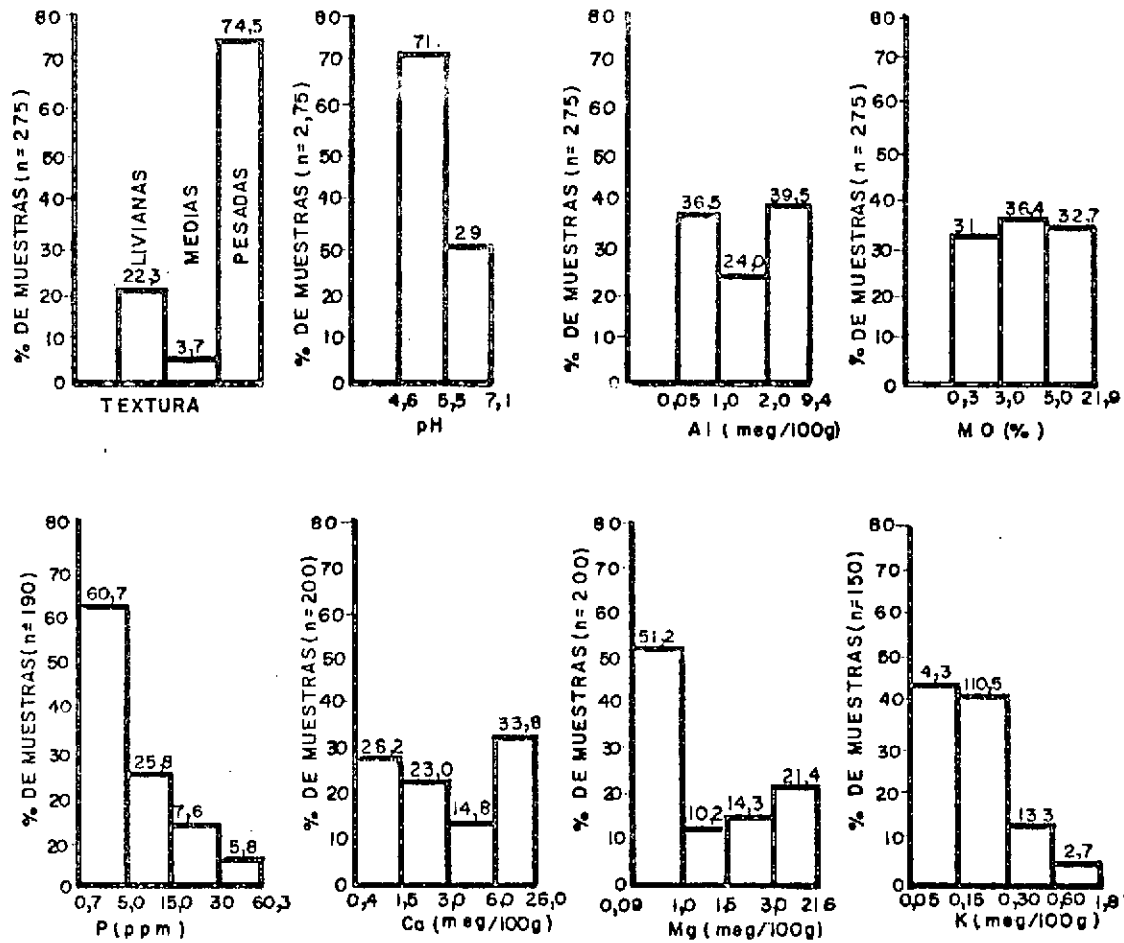


FIGURA 1: CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS DE LOS SUELOS DE CLIMA MEDIO CULTIVADOS CON FRIJOL, MAIZ, YUCA Y PLATANO, EN ANTIOQUIA.

4. EXTRACCION DE NUTRIENTES

Las plantas superiores necesitan 16 elementos esenciales para su normal crecimiento y desarrollo. Estos elementos los toman las plantas del aire y del suelo. La siembra de cosechas, en un sitio determinado, va extrayendo nutrientes, los cuales se deben regresar bien en abonos orgánicos y fertilizantes, para evitar el empobrecimiento de los suelos. En la Tabla 2 se indica la cantidad de nitrógeno (N), fósforo (P_2O_5) y potasio (K_2O) extraídos por los cultivos de caña, maíz, frijón, yuca y plátano. Los datos muestran que el potasio es el nutriente que extrae en estas plantas en mayor cantidad seguido del nitrógeno y el fósforo.

TABLA 2. Elementos extraídos por varias cosechas.

Cultivo	Parte cosechada t/Ha	Nutrientes kg/Ha		
		N	P_2O_5	K_2O
Frijón	1,0 t/Ha de grano y	148	41	109
	1,8 t/Ha de paja			
Maíz	4,5 t/Ha de grano y	128	48	140
	7,5 t/Ha de paja			
Caña	90 t/Ha de caña	85	60	190
Yuca	50 t/Ha de raíces	85	62	280
	tallos	200	70	180
Plátano	5 t/Ha de racimos	63	16	207

5. RESULTADOS SOBRE FERTILIZACION EN MAIZ, FRIJOL, YUCA, CAÑA PANELERA Y PLATANO

5.1. MAIZ

En la Estación Experimental Tulio Ospina, el ICA ha realizado varios grupos de ensayos en maíz sobre fertilización, labores de cultivo, siembras intercaladas de leguminosas, rotaciones y abonos verdes (14). Los suelos de esta Estación son aluviales muy recientes, con textura franco a franco arenosa, buen drenaje natural y de mediana fertilidad. Las propiedades químicas muestran bajos contenidos de materia orgánica, medios de P, Ca y K y muy altos en Mg. La Tabla 3 indica algunas propiedades de estos suelos.

TABLA 3. Algunas propiedades de los suelos aluviales de la Estación Experimental Tulio Ospina.

Suelos	pH	M. O. %	P ppm Bray II	meq/100 g			Tex- tura
				Ca	Mg	K	
Aluvial	5,9	1,4	32,3	2,8	4,2	0,24	F.A.
Aluvial rojo	6,4	2,1	1,5	2,4	11,2	0,36	Ar.A

Los resultados de los ensayos sobre fertilización del maíz en la Estación Experimental Tulio Ospina, muestran respuestas altamente significativas a las aplicaciones de nitrógeno y en menor grado a fósforo y potasio. En los suelos aluviales rojos con bajos contenidos de Ca, se han obtenido respuestas al encalamiento (14).

En la Tabla 4 se indica el rendimiento de maíz para el tratamiento testigo absoluto y aquellas dosis de N, P_2O_5 y K_2O con las cuales se obtuvieron incrementos altos en la producción de maíz.

TABLA 4. Rendimientos relativos de maíz con aplicaciones de N, P_2O_5 y K_2O en suelos aluviales y rojos en la Estación Experimental Tulio Ospina. Datos de ocho ensayos (14).

	Testigo sin fertilización			Con fertilización			Incremento en % con relación al testigo		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
Aluvial	3,0	3,5	3,8	80-100	40- 80	0-40	196	125	107
Rojo	3,8	2,1	4,0	40- 80	100-150	0-40	195	210	95

Además de los ensayos básicos arriba mencionados, se establecieron pruebas de adaptación de materiales mejorados de maíz, en las cuales se aplicaron fertilizantes. (17). Estos ensayos se establecieron en 24 municipios del departamento, en clima medio, en suelos aluviales y en suelos de ladera. Los materiales mejorados de maíz pertenecen a las series 100, 200, 300 y 400 y además, se incluyeron maíces regionales amarillos y blancos. La fertilización para los suelos aluviales varió entre 200 y 250 kg/Ha de un fertilizante comercial de grado 1:3:1 de N- P_2O_5 y K_2O . Esta fertilización se complementaba con 100 kg/Ha de úrea, cuando el maíz estaba rodillero (1 metro de altura). En suelos de alta fertilidad, sólo se aplicó 200 kg/Ha de úrea. En los suelos de ladera, la dosis de fertilizante varió entre 150 y 300 kg/Ha del fertilizante comercial 1:3:1 más 75 a 200 kg/Ha de úrea o únicamente 200

kg/Ha de úrea si el suelo era fértil. En algunas localidades no se aplicaron fertilizantes.

En las figuras 2 y 3 se indican las respuestas obtenidas. De acuerdo con estos resultados se presenta una respuesta "diferencial" a la fertilización en los materiales mejorados de maíz. Los materiales de la serie 100 para suelos aluviales de zonas más bajas y los de la serie 300 y 400 para suelos de ladera, muestran incrementos altos en la producción con dosis relativamente bajas de fertilizantes. Los maíces regionales blancos y amarillos también aumentan el rendimiento por efecto de la fertilización, especialmente en suelos de ladera. En los otros materiales la respuesta es menos acentuada.

En la Tabla 5 se indican las recomendaciones mínimas de N, P_2O_5 y K_2O para maíz. Estas son recomendaciones para maíces mejorados y tecnificados, es decir, maíces sembrados en suelos bien preparados, con control oportuno de malezas y plagas, poblaciones de 25 a 50 mil plantas y preferiblemente en hileras.

El N se debe aplicar fraccionado a razón de 1/3 a 1/2 al momento de la siembra. El P_2O_5 y el K_2O todo a la siembra. El N restante, cuando el maíz tenga un metro de altura aproximadamente. Cuando se recomienda cal, ésta se debe regar al voleo e incorporarla con las labores de preparación del suelo. La cal se aplica con un mes de anticipación a la siembra.

5.2. FRIJOL

En la Estación Experimental Tulio Ospina, se han efectuado ensayos de fertilización en suelos aluviales, para observar la respuesta del frijol arbustivo a nitrógeno, fósforo, potasio, cal y gallinaza (15). Además, ensayos sobre fuentes de fósforo y aplicaciones de úrea foliar.

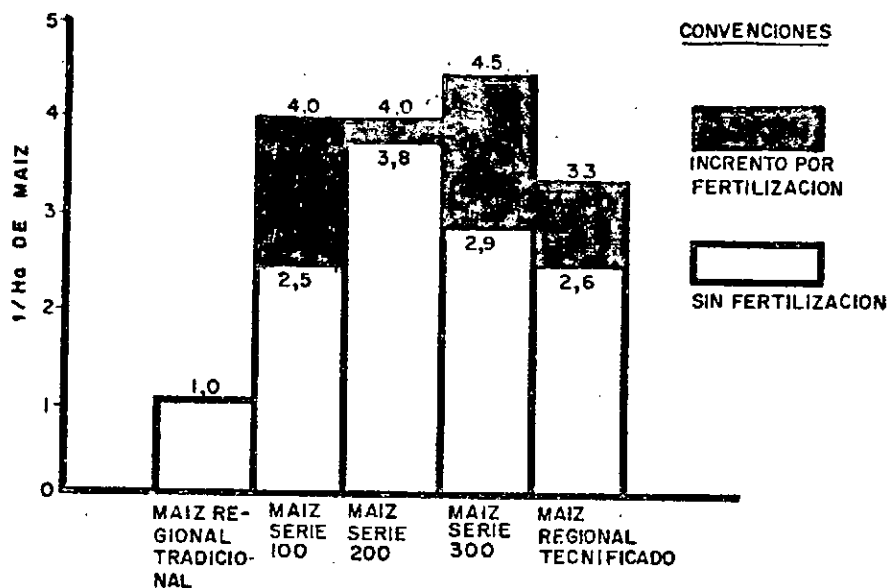


FIGURA 2. EFECTO DE FERTILIZACION EN EL RENDIMIENTO DE MAIZ, EN SUELOS ALUVIALES DE ANTIOQUIA. DATOS DE 10 LOCALIDADES.

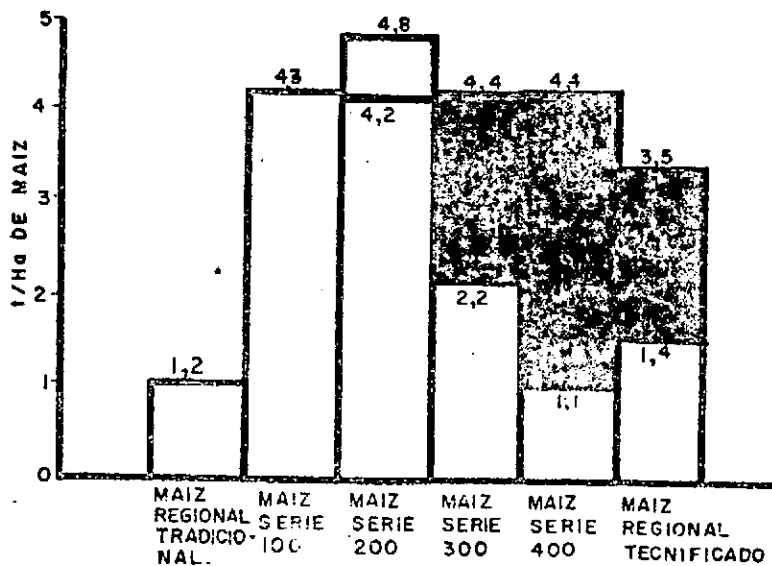


FIGURA 3. EFECTO DE LA FERTILIZACION EN EL RENDIMIENTO DE MAIZ, EN SUELOS DE LADERA DE ANTIOQUIA. DATOS DE 38 LOCALIDADES.

TABLA 5. Recomendaciones mínimas de N, P_2O_5 y K_2O para maíz según los niveles críticos de materia orgánica (M.O.), fósforo (ppm), potasio (meq/100 g) en clima medio (9, 14, 17).

Categorías - Niveles críticos	Dosis en kg/Ha	
	Elemento	Fuentes
A. <u>Materia Orgánica (%)</u>	<u>Nitrógeno (N)</u> - <u>Urea</u>	
Bajo 0,0 - 3,0	60 - 90	100 - 150
Medio 3,1 - 5,0	30 - 60	50 - 120
Alto Mayor 5,1	0 - 30	0 - 50
B. <u>P en ppm (Bray II)</u>	<u>Fósforo (P_2O_5)</u> - <u>Superfosfato triple</u>	
Bajo 0,0 - 15,0	60 - 120	120 - 200
Medio 15,1 - 30,0	30 - 60	60 - 120
Alto Mayor 30,1	0 - 30	0 - 60
C. <u>K en meq/100 g de suelo</u>	<u>Potasio (K_2O)</u> - <u>Cloruro de potasio</u>	
Bajo 0,0 - 0,15	30 - 60	50 - 100
Medio 0,16 - 0,30	15 - 30	25 - 50
Alto Mayor 0,31	0 - 15	0 - 25

En las Tablas 6, 7, 8 y 9, aparecen los resultados de las investigaciones arriba mencionadas. De acuerdo con estos datos, es posible obtener altos rendimientos en frijol arbustivo, sembrado en surcos

TABLA 6. Respuesta del fríjol a las aplicaciones de N, P_2O_5 y K_2O en suelos aluviales de clima medio en Antioquia.

N	Fríjol	P_2O_5	Fríjol	K_2O	Fríjol
kg/Ha		kg/Ha		kg/Ha	
0	470	0	310	0	550
20	590	40	650	40	580
40	630	120	740		

TABLA 7. Respuesta del fríjol a diferentes fuentes de fósforo en suelos aluviales de clima medio en Antioquia.

Fuentes	P_2O_5 %	P_2O_5 kg/Ha	Fríjol kg/Ha
Roca fosfórica	30	40	1.480
Superfosfato simple	20	40	1.640
Bifos	40	40	1.750
Amofos	49	40	1.830

TABLA 8. Efecto de la fertilización en la producción de fríjol en suelos rojos de la Estación Experimental Tulio Ospina, Frontino y Urrao en Antioquia.

<u>N</u>	<u>fríjol</u>	<u>P₂O₅</u>	<u>fríjol</u>	<u>K₂O</u>	<u>fríjol</u>	<u>Cal</u>	<u>fríjol</u>	<u>Cal</u>	<u>fríjol</u>
kg/Ha		kg/Ha		kg/Ha		t/Ha	kg/Ha	t/Ha	kg/Ha
0	370	50	270	0	310	0	110	2	1.530
25	420	100	310	50	440	5	330	4	1.444
50	420	150	280	100	460	10	420	6	1.407
								8	1.543

TABLA 9. Respuesta del fríjol arbustivo, a la fertilización, en suelos aluviales rojos de la Estación Experimental Tulio Ospina (Bello)*.

Tratamientos en kg/Ha N - P ₂ O ₅ - K ₂ O - Otros				Rendimientos en kg/Ha				
				ICA Cuna	ICA Toné	Diacol Catío	Línea 10487	Promedio
0	60	30		1.444	1.279	1.245	1.466	1.358
30	60	30		1.218	1.290	1.234	1.562	1.326
60	60	30		1.461	1.525	1.260	1.567	1.453
30	90	30		957	1.716	1.743	1.596	1.503
30	0	30		1.146	808	699	1.197	962
30	60	0		974	1.892	1.323	1.182	1.342
0	60	30 + Foliar**		1.002	1.545	1.581	1.239	1.341
30	60	30 + Foliar		1.142	1.895	1.428	1.247	1.428
30	60	30 + 500 gallinaza		1.218	1.957	1.500	999	1.418
30	60	30 + 1000 gallinaza		1.590	2.256	1.873	1.167	1.721
0	60	30 + 1000 gallinaza		1.058	2.029	1.573	1.209	1.467

* Información en libros de campo de la Sección de Suelos de la Estación Experimental Tulio Ospina, 1980.

** Aplicación de Urea foliar al 2% después de 15 días de germinación, cada 15 días, hasta maduración fisiológica.

distanciados a 60 centímetros con plantas separadas entre 15 y 20 centímetros, con aplicaciones de fertilizantes. Las dosis para suelos aluviales varían entre 30 y 60 kg/Ha de N, 40 a 90 de P_2O_5 y 0 a 30 kg/Ha de K_2O . Estos fertilizantes se aplican al fondo del surco, al momento de la siembra. El encalamiento ha dado resultados contradictorios; cuando ha habido respuestas, las dosis de cal son muy altas y no se justifican económicamente. La aplicación foliar de úrea parece promisoria, especialmente en suelos de bajo contenido de materia orgánica.

En la Tabla 9 se observa que la aplicación de 0,5 a 1,0 t/Ha de gallinaza incrementa la producción de fríjol. Estos incrementos son altos en las variedades ICA Cuna, Toné y en Diacol Catío.

El Programa de Fríjol realizó pruebas de adaptación de variedades en 21 municipios y 44 localidades en el departamento (1). En estos ensayos se utilizaron materiales mejorados y variedades regionales. Además, se tuvieron parcelas: Sin fertilización, con 1.000 kg/Ha de abono orgánico y con diferentes dosis, entre 100 y 400 kg/Ha de un fertilizante comercial cuya relación $N:P_2O_5:K_2O$ fue 1:3:1.

Los resultados mostraron diferencias en los rendimientos de acuerdo a los materiales ensayados. Las variedades Diacol Catío, ICA Cuna e ICA Quirama, presentaron rendimientos altos. En cambio los fríjoles Algarrobo, Estrada Rosado y Sangretoro dieron rendimientos bajos. Como resultado de estos ensayos se recomienda para climas cálidos moderados (800 a 1.200 m. s. n. m.), sembrar las variedades Diacol Calima y Diacol Nima; para climas medios (1.200 a 1.800 m. s. n. m.) Diacol Catío, ICA Cuna y las Líneas L. 10487 y L. 20270 y, en climas fríos moderados (1.800 a 2.200 m. s. n. m.) Diacol Catío, Diacol Andino e ICA Quirama.

Al comparar los rendimientos de las parcelas sin fertilización con las que recibieron 1 t/Ha de abono orgánico, se obtuvieron incrementos en los rendimientos que oscilaron entre 30 y 100 por ciento, de acuerdo a los diferentes materiales. Los rendimientos en las parcelas con abono orgánico fueron iguales o superiores a los de las parcelas que recibieron diferentes dosis del fertilizante 1:3:1. El fertilizante químico permitió rendimientos superiores al de las parcelas sin fertilizar. La dosis del fertilizante comercial más recomendable parece estar entre 250 y 350 kg/Ha, para los diferentes materiales.

En la Tabla 10 se indican las recomendaciones mínimas de N, P_2O_5 y K_2O para fríjol arbustivo, en suelos de clima medio en Antioquia.

5.3. YUCA

En diferentes zonas de Colombia se han establecido ensayos para observar la respuesta de la yuca a la fertilización; a las formas y épocas de aplicar los fertilizantes; tolerancia a la acidez; el encalamiento y fuentes de fósforo (3, 4, 5, 8, 16, 18). Los resultados más importantes de estas investigaciones se detallan a continuación.

En la Figura 4 se muestra el rendimiento de las variedades regionales de yuca CMC-9, amarilla y chirosa en comparación con las variedades mejoradas CMC-40, CMC-76 y CMC-92, en suelos de diferente fertilidad en los departamentos del Valle, Bolívar, Cauca y Quindío (8). Se nota en esta Figura que, las variedades mejoradas rinden más que las regionales. Esta diferencia de rendimiento se acentúa a medida que el suelo aumenta la fertilidad. En las variedades regionales, al comparar los suelos de baja con los de mediana y alta fertilidad, se obtienen incrementos en los rendimientos de 30 por ciento y 65 por ciento, en su orden. En el caso de las variedades mejoradas, dichos incrementos son del 80 y 110 por ciento.

TABLA 10. Recomendaciones mínimas de N, P_2O_5 y K_2O para fríjol arbustivo según los niveles críticos de materia orgánica (M.O), fósforo (ppm) y potasio (meq/100 g) en suelos de clima medio en Antioquia (1,9,15).

Categorías - Niveles críticos	Dosis en kg/Ha	
	Elemento	Fuentes
A. <u>Materia Orgánica (%)</u>	<u>Nitrógeno (N)</u> - <u>Urea</u>	
Bajo 0,0 - 3,0	30 - 60	60 - 120
Medio 3,1 - 5,0	15 - 30	30 - 60
Alto Mayor 5,1	0 - 15	0 - 30
B. <u>P en ppm (Bray II)</u>	<u>Fósforo (P_2O_5)</u> - <u>Superfosfato triple</u>	
Bajo 0,0 - 15,0	60 - 90	120 - 180
Medio 15,1 - 30,0	30 - 60	60 - 120
Alto Mayor 30,1		
C. <u>K en meq/100 g de suelos</u>	<u>Potasio (K_2O)</u> - <u>Cloruro de potasio</u>	
Bajo 0,0 - 0,15	15 - 30	25 - 50
Medio 0,16 - 0,30	0 - 15	0 - 25
Alto Mayor 0,31		

NOTA: Urea foliar al 2%, cada 15 días, incrementa los rendimientos en suelos bajos y medios en materia orgánica.

En la Tabla 11 se indica la respuesta de la yuca a las aplicaciones de N, P_2O_5 y K_2O a la siembra, en suelos con diferentes contenidos de materia orgánica, fósforo aprovechable extraído por el método de Bray II y potasio intercambiable (8). En aquellos suelos de baja fertilidad, es decir, con contenidos bajos de materia orgánica (menor de 3,0%), fósforo aprovechable (menor de 15 ppm de P - Bray II) y de bajos a medios en K - intercambiable (menor de 0,30 meq de K por 100 g de suelo), se presenta una respuesta alta a la fertilización en las variedades mejoradas y en menor grado en las variedades regionales. En estos suelos se obtienen rendimientos altos con 200 - 50 a 100 - 100 kg/Ha de N - P_2O_5 - K_2O para variedades regionales y 100 - 50 a 100 - 100 kg/Ha de N - P_2O_5 - K_2O para variedades mejoradas. En los suelos de mediana a alta fertilidad hay una ligera respuesta o se presentan disminuciones en la producción al aplicar fertilizantes.

En el departamento de Caldas, en un suelo influenciado por cenizas volcánicas de mediana fertilidad, se obtuvieron producciones altas con aplicaciones de 145 kg/Ha de N, 194 kg/Ha de P_2O_5 y 46 kg/Ha de K_2O . Además, en este ensayo se encontró que la aplicación de todo el nitrógeno (100 kg/Ha) al momento de la siembra, era superior en rendimiento en comparación con el nitrógeno dividido en dos porciones (16).

En el departamento de Antioquia, se estudió la respuesta de la yuca a N, P_2O_5 , K_2O , cal agrícola y una mezcla de elementos menores (Cu, B, Zn y Mo), en cinco localidades con diferentes grados de fertilidad. Además, se comparó el efecto de la aplicación de todo el N al tiempo de la siembra y dividido en dos dosis (16).

Los resultados obtenidos indicaron que la respuesta a la aplicación del fertilizante depende, en gran parte, de la fertilidad del suelo. Los experimentos sembrados en Chigorodó y La Pintada, en suelos de alta fertilidad, no respondieron a las aplicaciones de N, P_2O_5 y K_2O .

TABLA 11. Respuesta de la yuca a la fertilización en suelos de los departamentos de Cauca, Valle, Bolívar y Quindío. Datos de 12 localidades. Variedades regionales (CMC-9, amarilla y Chirosa). Variedades mejoradas (CMC-40, CMC-76 y CMC-92).

Nutrimentos kg/Ha			VARIETADES					
			Regionales			Mejoradas		
			Contenido de materia orgánica (%)			Contenido de materia orgánica (%)		
N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Bajo (< 3)	Medio (3 - 5)	Alto (> 5)	Bajo (< 3)	Medio (3 - 5)	Alto (> 5)
0	50	100	14,7	18,6	14,4	24,3	29,2	20,9
100	50	100	20,7	26,6	16,7	33,3	26,6	22,9
200	50	100	26,3	26,9	17,5	33,7	31,3	22,8
			Contenido de P (ppm - Bray II)			Contenido de P (ppm - Bray II)		
			Bajo (< 15)	Medio (15-30)	Alto (> 30)	Bajo (< 15)	Medio (15-30)	Alto (> 30)
100	0	100	13,6	49,8	22,4	18,0	54,1	28,9
100	50	100	17,7	47,6	24,6	21,6	65,8	28,8
100	100	100	17,4	43,3	24,2	14,0	56,2	32,9

TABLA 11. Continuación.

Nutrimentos kg/Ha			Contenido de K (meq/100 g)			Contenido de K (meq/100 g)		
N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Bajo (< 0,15)	Medio (0,15-0,30)	Alto (> 0,30)	Bajo (< 0,15)	Medio (0,15-0,30)	Alto (> 0,30)
100	50	0	10,2	22,0	18,4	12,4	21,8	30,0
100	50	100	14,6	26,2	20,2	23,9	29,3	30,2
100	50	200	16,5	24,1	20,5	25,5	25,9	32,6

Estos suelos tuvieron altos contenidos de P, Ca, Mg y K. El P fue superior a 17,6 ppm (Bray II), el Ca, Mg y K fueron superiores a 12,8, 2,70 y 0,34 meq en 100 g de suelo, respectivamente. Para los suelos de baja fertilidad, Tulio Ospina (Bello), Urrao y San José del Nus, la aplicación de N estaría comprendida entre 80 y 120 kg/Ha; la aplicación de P_2O_5 entre 160 y 300 kg/Ha, y la de K_2O entre 100 y 130 kg/Ha. En estos ensayos, las aplicaciones de cal dieron buenos resultados en suelos con menos de 4,3 meq de Ca en 100 g de suelo. La aplicación de la mezcla de elementos menores, así como la aplicación de N fraccionado, tuvieron poco efecto en la producción. El estiércol de gallina (gallinaza), que se utilizó en el ensayo de San José del Nus, tuvo buen efecto en la producción.

En 23 localidades diferentes de Colombia se encontró que, para suelos pobres en fósforo, es aconsejable aplicar a la yuca 40 - 240 - 80 kg/Ha de N - P_2O_5 - K_2O . Además, 40 a 70 kg/Ha de N a los cuatro meses de la siembra (18).

En Santander de Quilichao, en un suelo extremadamente ácido (pH 4,4) y muy bajo en fósforo (2 ppm de P - Bray II) se encontraron rendimientos altos en yuca de la variedad "Llanera", cuando la concentración de fósforo en la solución del suelo oscilaba entre 0,015 y 0,025 ppm. Estas concentraciones en el suelo, se lograron con aplicaciones altas de hasta 400 kg/Ha de P_2O_5 . Estos datos muestran que el requerimiento externo de P de la yuca es más bajo que para otros cultivos como el maíz que requiere 0,06 ppm de P; el frijón con 0,06 ppm de P y la papa con 0,20 ppm de P (3,4,5).

En yuca también se ha estudiado la respuesta de este cultivo a diferentes fuentes de fósforo, en Carimagua (Llanos Orientales). Los resultados mostraron que las fuentes superfosfato triple (SFT) y las

Escorias Thomas (ET) fueron superiores en rendimiento a las rocas fosfóricas nacionales y extranjeras, cuando se compararon en dosis de 0 a 400 kg/Ha de P_2O_5 . Las Escorias Thomas, presentaron el efecto residual más ventajoso sobre las otras fuentes de P. En los ensayos no hubo diferencias estadísticamente significativas entre las diferentes fuentes de P (3, 4, 5).

La yuca se indica como una planta tolerante a las condiciones extremas de acidez del suelo. Datos obtenidos en Carimagua indican que la yuca tolera saturaciones altas de Al de aproximadamente un 80%, a niveles de calcio de 0,025 me/100 g de suelo que, en el caso del ensayo, resultaron en un pH de 4,7 (3, 4, 5).

En la Figura 5 se ilustra la respuesta promedio de la yuca al enca-lamiento en suelos de Carimagua que tiene un pH 4,3, 2 meq/100 g de suelo de Al - intercambiable y menos de 1,0 meq de Ca y Mg/100 g de suelo. En esta Figura, se nota que los rendimientos de la yuca sin aplicaciones de cal alcanzaron a ser, aproximadamente, un 70% en comparación con la producción obtenida con 2,0 t/Ha de cal. Entre 2 y 6 t/Ha de cal, no hubo diferencias apreciables en el rendimiento.

En el Valle, Bolívar, Tolima, Huila, Llanos Orientales y Antioquia, se han establecido ensayos para estudiar formas y épocas de aplicación de fertilizantes en yuca (3, 4, 5, 8, 16, 18). Las formas de aplicación ensayadas fueron en corona, banda, media banda, en huecos, mezclado con el suelo y a chuzo. Los resultados indican que el mejor método para fertilizar yuca es el de corona. Con este método, se obtienen rendimientos altos y un buen número de yucas con diámetro y longitud proporcionados. El método en banda es también eficiente. Los otros métodos tienden a producir bajos rendimientos y/o yucas mal proporcionadas.

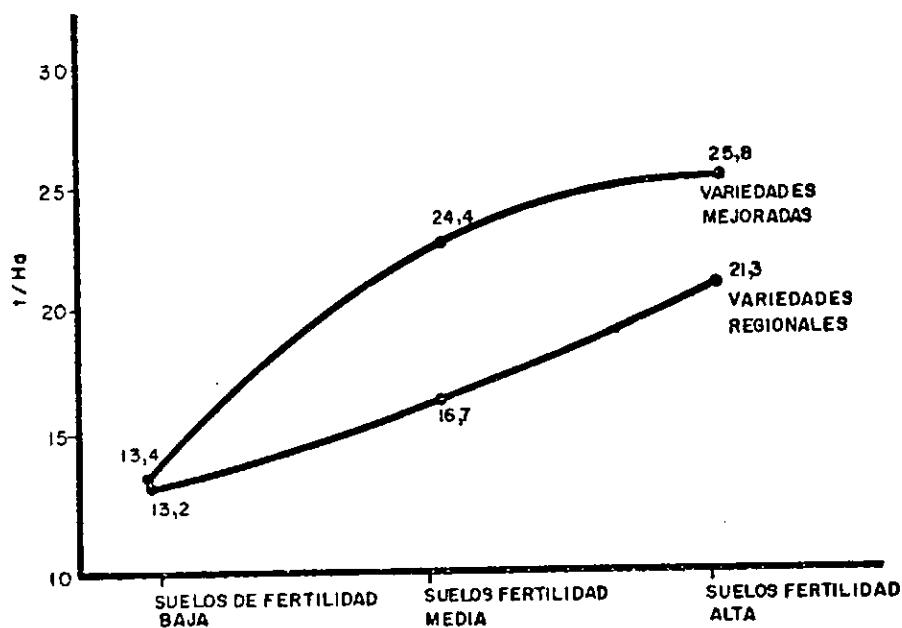


FIGURA 4: RENDIMIENTO DE VARIEDADES REGIONALES DE YUCA (CMC9, AMARILLA Y CHIROSA) Y MEJORADAS (CMC-76 Y CMC-92), SIN FERTILIZACION EN SUELOS DE LOS DEPARTAMENTOS DEL CAUCA, VALLE, BOLIVAR Y QUINDIO. DATOS DE 12 LOCALIDADES.

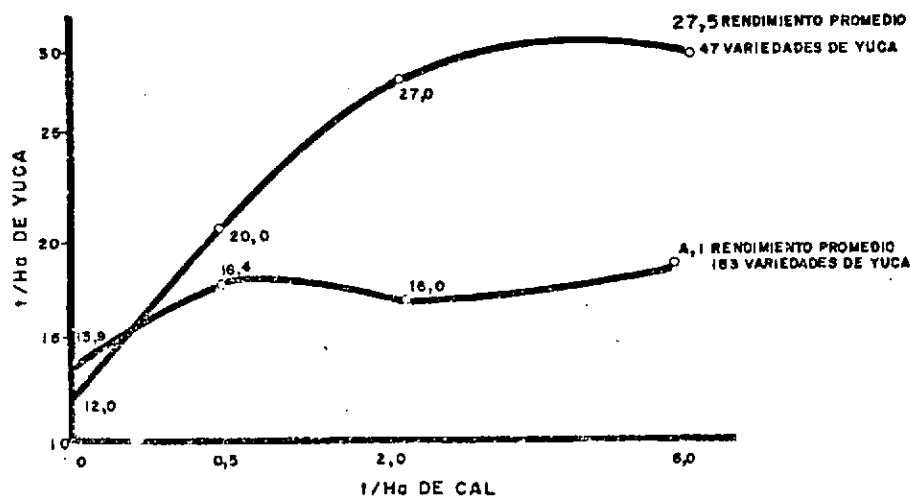


FIGURA 5. RESPUESTA DE LA YUCA A LA APLICACION DE CAL EN SUELOS DE CARIMAGUA (ADAPTADO DE CIAT C-61 DE 1977).

Los estudios sobre épocas de aplicación de N, P_2O_5 y K_2O indican que el fraccionamiento de estos nutrimentos en los primeros 90 días del cultivo no se reflejan significativamente en los rendimientos, en comparación con las aplicaciones totales a la siembra.

En las Tablas 12 y 13 se indican las recomendaciones mínimas de N, P, K y encalamiento según los niveles críticos de materia orgánica, fósforo, potasio y condiciones de acidez, para yuca en clima medio.

5.4. CAÑA

En Antioquia, la caña panelera está localizada principalmente en suelos de ladera de baja fertilidad y erosionados severamente. En las plantaciones son frecuentes los síntomas de deficiencias nutricionales especialmente de N, P, K y B.

En este departamento se han realizado varios ensayos sobre fertilización en caña de la variedad POJ 28-78, en plantilla. Los aspectos básicos estudiados han sido entre otros: Dosis de N, P_2O_5 , K_2O , cal agrícola y dolomítica, sulfato de magnesio, azufre elemental, bórax, molibdato de sodio, fuentes de nitrógeno y fósforo y épocas de aplicación del nitrógeno. Los ensayos estuvieron localizados en los municipios de Amagá, Barbosa y Cocorná (11, 12, 13, 19).

En la Tabla 14 se indican algunas características de clima y suelo, de las localidades estudiadas. Estos datos indican que los sitios son representativos de la zona productora de caña en Antioquia. Además, son de baja fertilidad, caracterizados por tener un pH fuertemente a ligeramente ácido; medios en materia orgánica, bajos en P aprovechable, cuando éste se extrae por el método de Bray II; medios en K y Ca intercambiable y con contenidos bajos en Mg, con excepción del suelo de Amagá.

TABLA 12. Recomendaciones mínimas de N, P_2O_5 y K_2O para yuca según los niveles críticos de materia orgánica, fósforo y potasio (3, 4, 5, 8, 9, 16, 18).

Categorías - Niveles críticos	Dosis en kg/Ha	
	Elemento	Fuentes
A. <u>Materia Orgánica</u>	<u>Nitrógeno (N)</u>	- <u>Urea del 45% de N</u>
Bajo 0,0 - 3,0	75 - 150	160 - 320
Medio 3,1 - 5,0	50 - 75	110 - 160
Alto Mayor 5,1		
B. <u>Fósforo en ppm (Bray II)</u>	<u>Fósforo (P_2O_5)</u>	- <u>SFT del 45-48% P_2O_5</u>
Muy bajo 0,0 - 5,0	150 - 300	320 - 640
Bajo 5,1 - 15,0	75 - 150	160 - 320
Medio 15,1 - 30,0	25 - 75	40 - 160
Alto Mayor 30,1		
C. <u>Potasio meq/100 g</u>	<u>Potasio (K_2O)</u>	- <u>KCl del 60% de K_2O</u>
Bajo 0,0 - 0,15	75 - 150	120 - 240
Medio 0,16 - 0,30	25 - 75	40 - 120
Alto Mayor 0,31		

NOTA: A niveles entre 100 y 400 kg/Ha de P_2O_5 , el SFT, las Escorias Thomas o rocas fosfóricas con fósforo soluble en nitrato entre 7,5 y 20,9% son fuentes eficientes para fertilizar la yuca.

TABLA 13. Recomendaciones de cal agrícola, en t/Ha, para yuca bajo tres condiciones A, B y C de acidez y contenido de calcio (3, 4, 5, 9).

Factor	Condiciones de acidez y de calcio en el suelo		
	A (favorable)	B (intermedio)	C (desfavorable)
pH	Mayor 5,5	4,6 - 5,5	Menor 4,5
Al - meq/100 g	Menor 1,0	1,0 - 2,0	Mayor 2,0
Saturación de Al*	Menor del 40	40 - 80	Mayor del 80
Ca - meq/100 g	Mayor 0,5	0,3 - 0,5	Menor 0,3
Recomendaciones de cal en t/Ha	0	0,0 - 0,5	0,5 - 1,0

$$* \% \text{ de saturación de Al} = \frac{\text{Al}}{\text{Ca} + \text{Mg} + \text{K} + \text{Na}} \times 100 = \frac{2}{2 + 1 + 0,5 + 0,1} = 55\%$$

NOTA: La cal se aplica al voleo en todo el lote, antes de la siembra y se incorpora con las labores de preparación del suelo para dicha siembra.

TABLA 14. Características del clima y el suelo de diferentes localidades donde se han establecido ensayos de caña en Antioquia.

Datos	Barbosa	Amagá	Cocorná	Barbosa	Cocorná
Relieve	Ondulado	Quebrado	Escarpado	Plano	Ondulado
Altura (m. s. n. m.)	1.100	1.200	1.100	1.100	1.200
Temperatura (°C)	22	21	23	24	22
Precipitación anual	1.600	1.800	2.300	1.500	2.000
Zona de vida natural	bh-ST	bh-ST	bmh-ST	bs/bh-ST	bh-ST
Tipo de suelo	Residual	Residual	Residual	Aluvial	Residual
Textura	F.A.	Ar.A.	F.Ar.	Ar.A.	F.A.
pH	5,8	5,2	5,7	5,6	5,2
M.O (%)	4,4	3,4	4,4	5,4	5,7
P (ppm-Bray II)	2,8	2,3	2,8	15,2	4,4
Al - meq/100 g	-	3,6	-	-	2,4
Ca - meq/100 g	4,4	6,4	3,2	-	0,4
Mg - meq/100 g	0,68	3,74	1,0	-	0,4
K - meq/100 g	0,18	0,32	0,18	0,27	0,20

En la Figura 6 se muestra el efecto de la interacción de N y K_2O (11). Se observa en esta Figura que se pueden obtener altos rendimientos de caña (TCH), azúcar (TAH) y concentración de sacarosa con 75 kg/Ha de N en presencia de 150 a 225 kg/Ha de K_2O , en corte de plantilla y primera soca.

En la Figura 7 se indica el efecto del fósforo, aplicado como SFT (11). En estos suelos bajos en fósforo se presenta un incremento muy alto en las TCH, TAH y concentración de sacarosa con las aplicaciones de P_2O_5 , en plantilla y primera soca. El fósforo es el nutrimento que parece estar incidiendo más acentuadamente en la producción de panela en Antioquia. La dosis más aconsejable para plantillas está entre 150 y 300 kg/Ha de P_2O_5 y entre 75 y 150 kg/Ha de P_2O_5 para socas.

En la Tabla 15 se muestran los resultados obtenidos al aplicar molibdato de sodio, bórax, sulfato de magnesio, cal agrícola, dolomítica y azufre elemental (11). Se nota en esta Tabla que, el bórax, el sulfato de magnesio y el azufre elemental, producen incrementos muy altos en las TCH y TAH y concentración de sacarosa. Entre las cales agrícola y dolomítica no se presentan diferencias apreciables, pero al comparar estas fuentes con sus respectivos testigos, se notan incrementos altos, en las TAH y porcentaje de sacarosa, en plantilla. En la primera soca, el efecto de las cales no fue tan notorio.

Los resultados con la fuente de sulfato de magnesio y el azufre elemental parecen indicar que el Mg y/o SO_4 podrían estar incidiendo tanto en la nutrición de la caña como el N, P_2O_5 y K_2O , en los suelos estudiados. Igual planteamiento se podría establecer para el bórax.

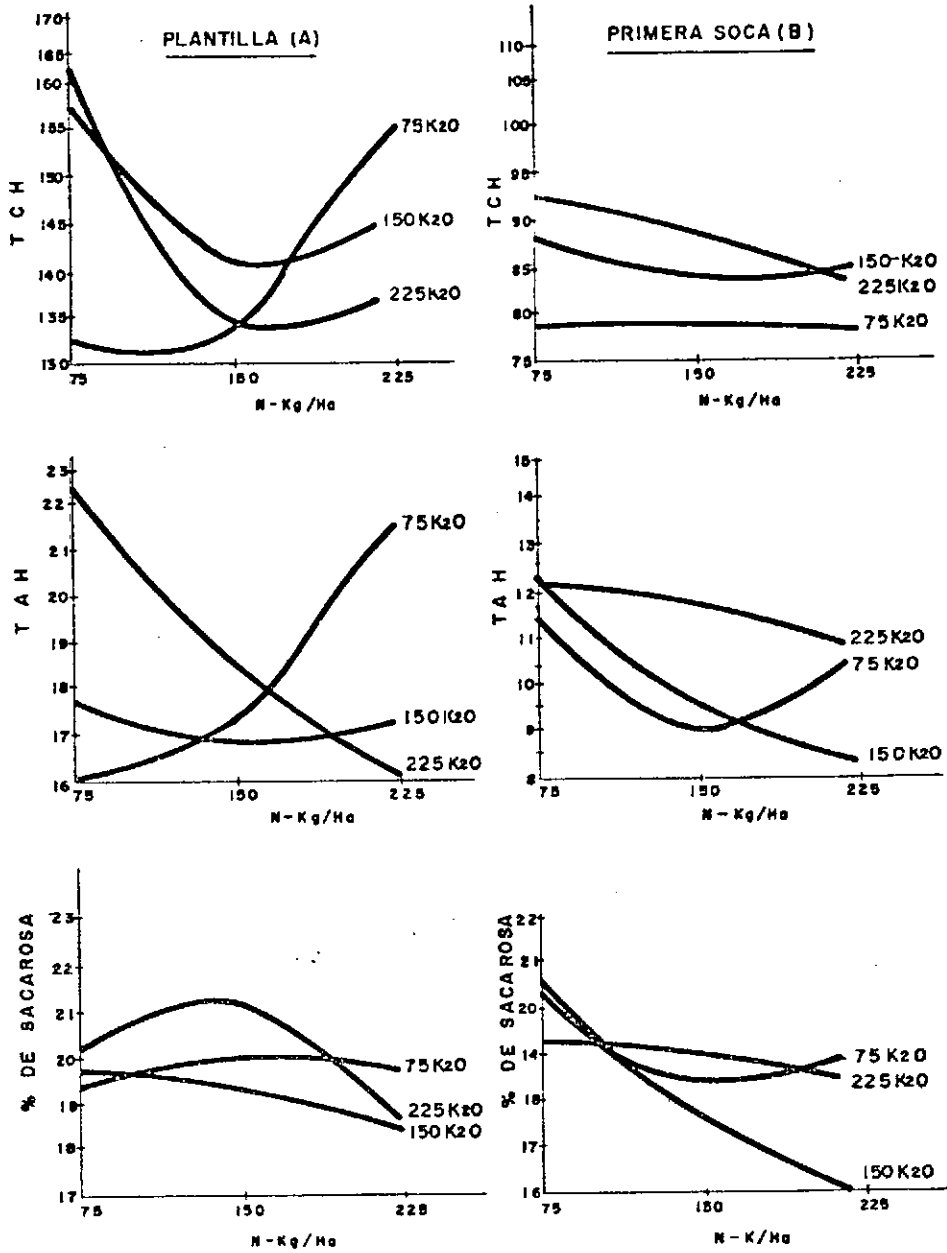


FIGURA 6. EFECTO DE LA INTERACCION N x K₂O EN CAÑA PARA PANELA EN SUELOS DE LADERA EN ANTIOQUIA CORTE DE PLANTILLA (A) Y DE PRIMERA SOCA (B). CONTENIDO DE M.O DE 3,4 a 4,4 % Y DE K-me/100 gr DE 0,18 a 0,32.

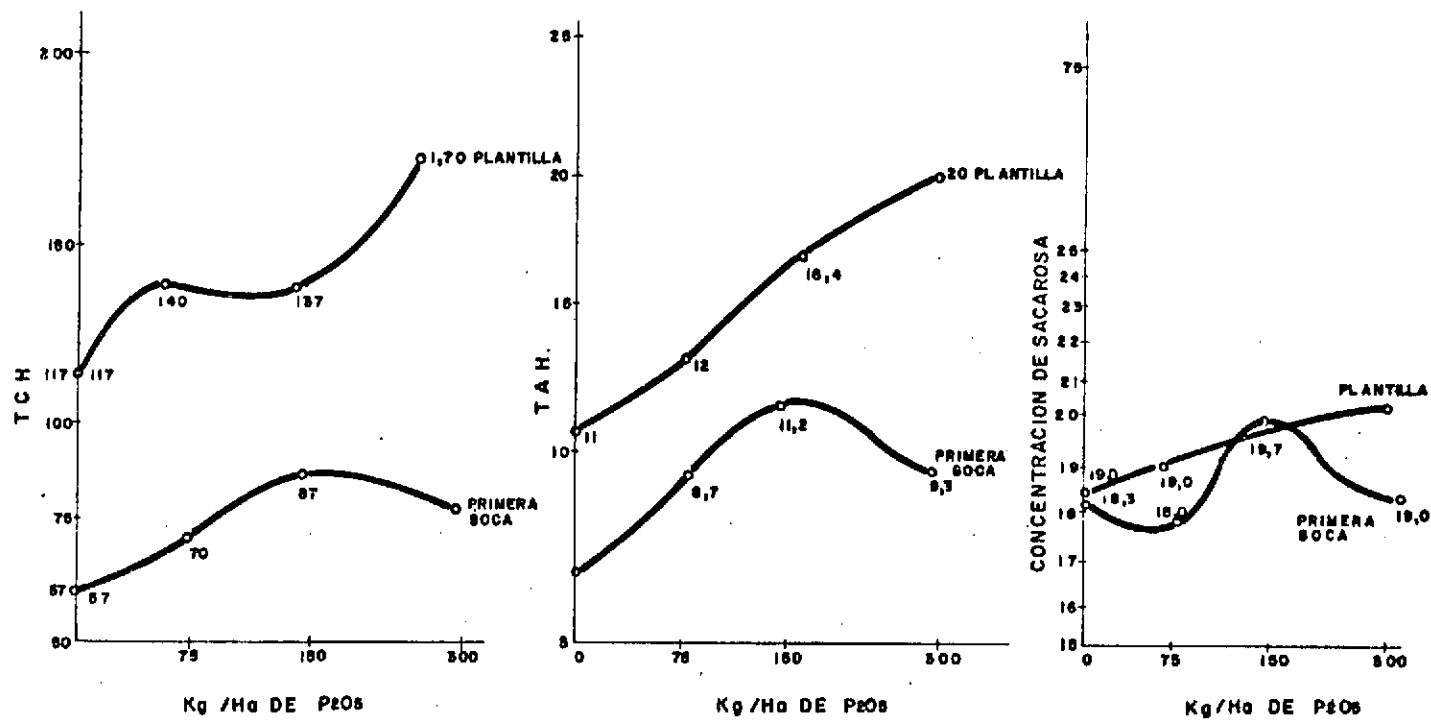


FIGURA 7: EFECTO DEL FOSFORO (P₂O₅) COMO SFT, EN CANA PARA PANELA, EN SUELOS DE LADERA CON 2, 3 o 2,8 ppm DE P (BRAY II) EN ANTIOQUIA.

TABLA 15. Respuesta de la caña a la fertilización en suelos de ladera en Antioquia (11).

Tratamientos en kg/Ha				Plantilla			Primera soca		
N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Otros	TCH	TAH	% Sacarosa	TCH	TAH	% Sacarosa
0	0	0	0	109	10,7	16,8	69	8,8	19,6
150	75	150	0	143	16,7	19,3	85	9,2	18,0
150	75	150	2 de Molibdato de Na	140	15,2	17,5	95	12,0	19,6
150	75	150	10 de Bórax	172	24,1	20,7	104	12,6	19,2
150	75	150	100 de MgSO ₄	167	23,2	22,6	87	11,9	20,7
150	75	150	500 cal agrícola	151	21,5	22,1	87	10,6	19,1
150	75	150	500 cal dolomítica	142	19,2	21,8	78	9,8	19,7
0	75	150	39 S elemental	165	18,8	18,1	90	11,9	20,2

En la Tabla 16 se muestra el efecto de las tres fuentes de nitrógeno: Urea, sulfato de amonio y Nitrón 26 y de la gallinaza en el rendimiento de la caña (TCH), azúcar (TAH) y concentraciones de sacarosa en dos suelos de ladera de los municipios de Barbosa y Cocorná (12). Los datos muestran que el sulfato de amonio y la úrea permiten altos rendimientos en caña (TCH), con jugos de alta concentración de sólidos y sacarosa, lo cual se traduce en un alto rendimiento en azúcar (TAH). La gallinaza promovió un buen desarrollo vegetativo, con cañas grandes y acuosas, pero con jugos bajos en el contenido de sólidos y sacarosa, lo cual se tradujo en un bajo rendimiento de azúcar. El Nitrón 26 produjo efectos menos marcados en los tres factores considerados, en comparación con las otras dos fuentes de nitrógeno.

En la Tabla 17 se observa la respuesta de la caña a diferentes dosis y épocas de aplicación de nitrógeno, como úrea, en suelos de ladera de los municipios de Barbosa y Cocorná (12). Los datos muestran muy poca respuesta en las TCH al comparar las dosis de nitrógeno de: 0, 75 y 150 kg/Ha. Al comparar las épocas de aplicación no se notan diferencias que justifiquen fraccionar el nitrógeno en una cualquiera de las distintas modalidades estudiadas. Aparentemente, las aplicaciones únicas a la siembra son iguales o superiores en las TCH en comparación con las aplicaciones tardías a los cuatro y ocho meses después de la siembra o fraccionada dentro de los ocho primeros meses del cultivo.

En relación con las toneladas de azúcar por hectárea (TAH) y concentración de sacarosa (Tabla 17) se nota un incremento muy alto para el corte de plantilla no así para el corte de primera soca, entre el testigo y las dosis de 75 y 150 kg/Ha de N. El fraccionamiento o la aplicación única a la siembra a los cuatro y ocho meses no provocaron diferencias apreciables en los TAH. Se nota sin embargo, que las aplicaciones únicas o fraccionadas pero tardías, a los cuatro y ocho meses, tienden a disminuir las TAH y concentraciones de sacarosa, en comparación con las aplicaciones únicas a la siembra.

TABLA 16. Efecto de tres fuentes de nitrógeno y gallinaza en el rendimiento de caña (TCH), azúcar (TAH) y concentración de sacarosa, en suelos de ladera en Antioquia. Los suelos con 5,4 a 5,7% de materia orgánica (12).

Tratamientos		T. C. H.			T. A. H.			Concentración de sacarosa (%)		
Dosis kg/Ha	Fuente	Plan- tilla	1a. soca	Prome- dio	Plan- tilla	1a. soca	Prome- dio	Plan- tilla	1a. soca	Prome- dio
0		165	89	127	6,2	11,1	8,6	12,6	19,2	15,9
150	Sulfato de amonio (16% N)	196	110	153	17,3	13,0	15,1	16,4	18,8	17,6
150	Urea (45% N)	174	114	144	14,6	14,5	14,6	15,4	19,3	17,3
150	Nitrón 26 (26% N)	195	81	138	16,5	11,7	14,1	14,2	20,7	17,4
2 kg/metro lineal de gallinaza (2% N) 15 t/Ha*		196	97	147	13,7	13,5	13,6	13,3	19,2	16,3

* Aproximadamente 300 kg/Ha de N en forma orgánica.

NOTA: Todos los tratamientos recibieron además 75 - 150 - 500 kg/Ha de P_2O_5 - K_2O - cal dolomítica.

TABLA 17. Efecto de tres dosis de N y siete épocas de aplicación de nitrógeno en la producción de caña (TCH), azúcar (TAH) y concentración de sacarosa (%) en suelos de ladera de Antioquia. Suelos con 5,4 a 5,7% de materia orgánica (12).

Dosis de N kg/Ha	Tratamientos			T.C.H.		T.A.H.		Concentración de sacarosa (%)	
	Epocas de aplicación en meses			Plantilla	1a. Soca	Plantilla	1a. Soca	Plantilla	1a. Soca
	0	4	8						
0	-	-	-	156	89	6,2	11,1	12,6	19,2
75	1	-	-	143	89	11,4	10,8	17,0	18,3
75	-	1	-	156	83	14,0	10,8	15,6	19,8
75	-	-	1	176	87	16,6	11,3	16,0	19,6
150	1	-	-	176	92	17,6	14,4	16,9	19,9
150	-	1	-	173	93	17,9	11,5	16,8	19,0
150	-	-	1	141	88	14,8	10,8	17,4	18,9
150	1/2	1/2	-	169	114	16,3	14,5	16,1	19,2
150	1/2	-	1/2	149	86	18,4	10,8	18,7	19,2
150	-	1/2	1/2	164	86	17,1	10,9	16,9	19,3
150	1/3	1/3	1/3	156	73	15,4	9,2	17,4	19,4

NOTA: Todos los tratamientos recibieron 75 - 150 - 500 kg/Ha de P_2O_5 - K_2O - cal dolomítica.

En resumen, los datos de las Tablas 16 y 17 indican que son buenas fuentes de nitrógeno para caña tecnificada de la variedad P. O. J. 2878, la úrea y el sulfato de amonio. El Nitrón 26, aunque incrementa los rendimientos, sus efectos no son tan favorables como las otras dos fuentes. La gallinaza da cañas grandes pero acuosas con baja concentración de sacarosa y sólidos solubles. Las aplicaciones tempranas de una dosis adecuada de nitrógeno a la siembra, es superior en comparación con aplicaciones tardías, a los cuatro y ocho meses o fraccionada en los primeros ocho meses del cultivo.

En la Figura 8 se muestran los efectos de tres fuentes de fósforo: Superfosfato triple con 45% de P_2O_5 ; Escorias Thomas con 16% de P_2O_5 y una roca fosfórica de origen nacional con 20% de P_2O_5 total (13). Los suelos donde se realizaron estos ensayos mostraron contenidos de fósforo arrovechable, extraído por el método de Bray II, de 1,5 a 13,2 ppm. Estos son contenidos bajos a medios de fósforo. En estos ensayos, se encontró que la aplicación de P_2O_5 aumenta las TCH, TAH y concentración de sacarosa tanto en plantilla como en primera soca. Las dosis más eficientes en cada cosecha están alrededor de 75 a 150 kg/Ha de P_2O_5 . La época de aplicación debe ser al momento de la siembra en banda al fondo del surco. Después del corte, en banda en la parte superior del surco.

Las fuentes de fósforo: Superfosfato triple (soluble en agua), Escorias Thomas (soluble en citrato) y una roca fosfórica de origen nacional (insoluble en agua y citrato) presentan en ese orden, efectos positivos en los TCH, TAH y concentración de sacarosa. La dosis de 150 kg/Ha de P_2O_5 como roca fosfórica, en cada corte, es tan eficiente como el superfosfato triple y las Escorias Thomas, en una dosis de 75 kg/Ha de P_2O_5 (13).

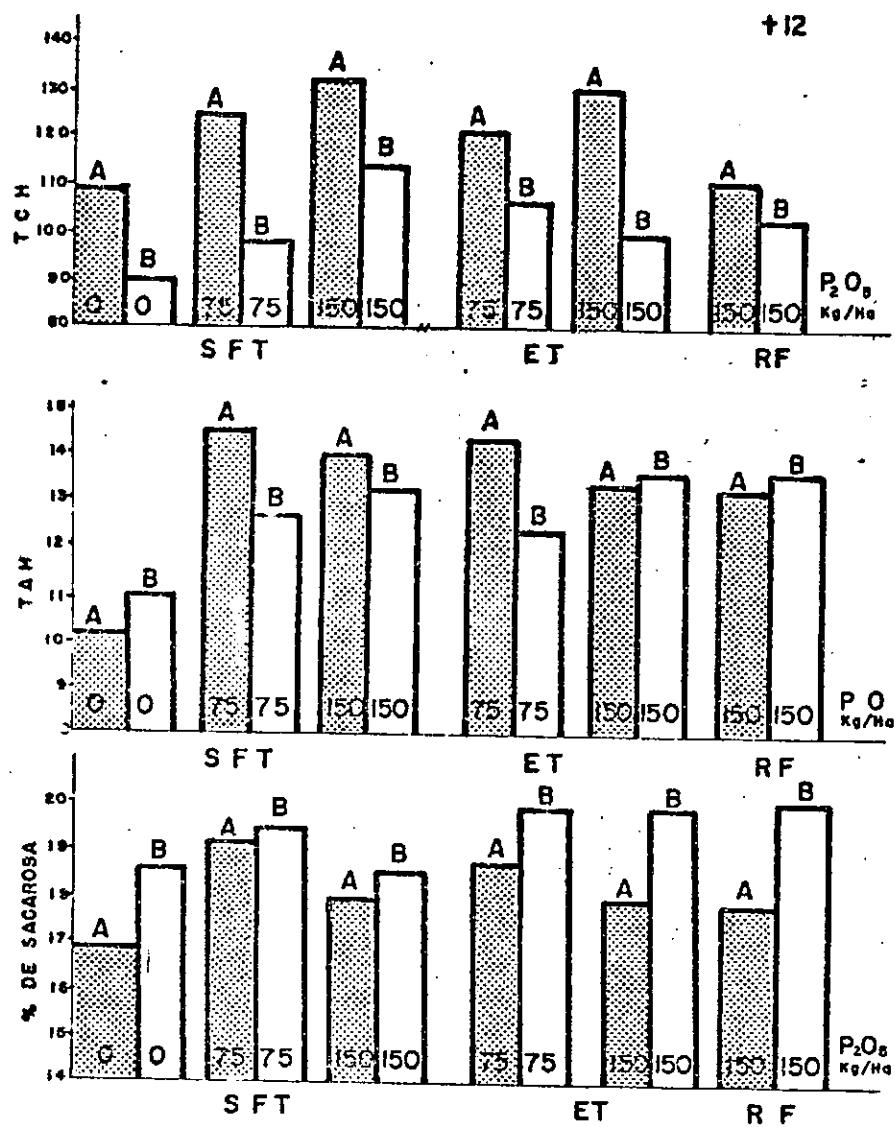


FIGURA 8. EFECTO DE LAS FUENTES DE FOSFORO: SUPERFOSFATO TRIPLE (S FT) ESCORIAS THOMAS (ET) Y ROCA FOSFORICA (RF) EN LAS TONELADAS DE CAÑA (T CH) DE AZUCAR (TAH) Y CONCENTRACION DE SACAROSA EN EL CORTE DE PLANTILLA (A) Y PRIMERA SOCA (B), EN SUELO DE LADERA DE ANTIOQUIA. DATOS PROMEDIOS DE CUATRO LOCALIDADES.

En la Tabla 18 se muestran las recomendaciones mínimas de N, P_2O_5 y K_2O , según los niveles críticos de materia orgánica, fósforo y potasio para caña panelera en Antioquia.

En suelos de pH menor de 5,5 y concentración de Ca y Mg menor de 2,0 y 1,0 meq/100 g de suelo, respectivamente, se debe aplicar cal dolomítica a razón de 500 kg/Ha en el fondo del surco antes de la siembra. Esta cal se puede repetir después de cada corte, si las condiciones de suelo no han mejorado.

En Antioquia, la caña panelera responde muy bien a las aplicaciones de sulfato de magnesio y bórax comercial del 10,2% de B_2O_3 , en dosis de 100 y 10 kg/Ha, respectivamente. Estas fuentes se pueden aplicar al momento de la siembra o inmediatamente después del corte.

5.5. PLATANO

En la zona cafetera y en el Valle del Cauca, se han realizado algunos ensayos sobre fertilización del plátano (7,10). Las variedades estudiadas han sido el Dominico y Dominico-Hartón. En estos ensayos se ha logrado establecer que este cultivo es muy exigente en potasio; la respuesta depende del contenido de este elemento en el suelo, el cual parece estar alrededor de 0,30 meq de K/100 g de suelo. La respuesta a nitrógeno y a fósforo ha sido incierta y no parece seguir un patrón definido. Igual parece ocurrir con el abonamiento orgánico a base de pulpa de café descompuesta y con algunos elementos menores como el Zn, B, Mn y secundarios como el Mg.

Existen también algunos trabajos sobre fraccionamiento y forma de aplicación de los fertilizantes. Los resultados parecen indicar que la mayor eficiencia se logra dividiendo el fertilizante en 2 a 4 aplicaciones

TABLA 18. Recomendaciones mínimas de nitrógeno, fósforo y potasio para caña panelera según los niveles críticos de materia orgánica, fósforo y potasio (9, 11, 12, 13, 19).

Categorías - Niveles críticos	Dosis en kg/Ha	
	Elemento	Fuentes
A. <u>Materia Orgánica (%)</u>	<u>Nitrógeno (N)</u>	<u>Urea del 45%</u>
Bajo 0,0 - 3,0	75 - 100	160 - 220
Medio 3,1 - 5,0	50 - 75	110 - 160
Alto Mayor 5,1	Opcional*	- -
B. <u>Fósforo ppm (Bray II)</u>	<u>Fósforo (P₂O₅)</u>	<u>SFT del 45% P₂O₅</u>
Bajo 0,0 - 10,0	75 - 150	160 - 320
Medio 10,1 - 20,0	50 - 75	110 - 160
Alto Mayor 20,1		
C. <u>Potasio meq/100 g</u>	<u>Potasio (K₂O)</u>	<u>KCl del 60% K₂O</u>
Bajo 0,0 - 0,20	75 - 150	120 - 240
Medio 0,21 - 0,40	50 - 75	80 - 120
Alto Mayor 0,41		

* Opcional de acuerdo al desarrollo vegetativo a los cuatro meses. Aplicar hasta 50 kg/Ha de N.

por año, iniciando la primera aplicación un mes después de la siembra, cuando la semilla haya desarrollado raíces. En cuanto al método de fertilización, la aplicación en corona alrededor de la planta es muy eficiente; el fertilizante se coloca en la faja del suelo debajo de las puntas de las hojas, incorporándolo para evitar el arrastre de ellos por las aguas de escorrentía o por volatilización.

En la Tabla 19 se indican las recomendaciones mínimas de N, P y K para plátano, en base a los niveles críticos de materia orgánica, fósforo y potasio. Estas recomendaciones son tentativas debido a la poca información existente en la actualidad.

6. RESUMEN

En Antioquia existen unas 200 mil hectáreas en clima medio, dedicadas al cultivo de la caña panelera, maíz, fríjol, yuca y plátano. En estos cultivos se han realizado varios ensayos tendientes a obtener información sobre manejo de los suelos y la fertilización de los cultivos. La información obtenida indica que los suelos de ladera están erosionados y son de baja a mediana fertilidad. En estos suelos se encuentra respuestas a las aplicaciones de nitrógeno, fósforo y potasio, en casi todos los cultivos. En caña hay, además, respuestas al $MgSO_4$, Bórax y azufre. El enclamiento ha sido poco estudiado, aunque los suelos acusan contenidos bajos de calcio y especialmente de magnesio.

Los suelos aluviales son de mayor fertilidad que los de ladera. En estos suelos, el contenido de materia orgánica es muy bajo y las respuestas a las aplicaciones de nitrógeno son muy altas tanto en gramíneas como en leguminosas.

TABLA 19. Recomendaciones mínimas de nitrógeno, fósforo y potasio para plátano, en base a los niveles críticos de materia orgánica, fósforo, potasio en suelos de ladera en Antioquia (7,9,10).

Elemento - Categorías	Dosis en kg/Ha	
	Elemento	Fuente
A. <u>Materia Orgánica</u>	<u>Nitrógeno (N)</u>	<u>Urea del 45% de N</u>
Bajo Menor de 3,0	75 - 100	160 - 220
Medio 3,1 - 5,0	50 - 75	110 - 160
Alto Mayor 5,1	Opcional*	- -
B. <u>P en ppm (Bray II)</u>	<u>Fósforo (P₂O₅)</u>	<u>SFT del 48% de P₂O₅</u>
Bajo Menor de 15,0	50 - 75	110 - 160
Medio Del 16,1 a 30,0	25 - 50	55 - 110
Alto Mayor 30,1		
C. <u>K meq/100 g de suelo</u>	<u>Potasio (K₂O)</u>	<u>KCl del 60% de K₂O</u>
Bajo Menor de 0,30	100 - 150	160 - 240
Medio De 0,30 a 0,60	50 - 100	80 - 160
Alto Mayor de 0,61	Opcional*	- -

* De acuerdo al desarrollo del cultivo, inmediatamente después de una época de sequía para vigorizar las plantas.

Es importante anotar que los estudios sobre fertilización biológica (abonos orgánicos, fijación simbiótica y asimbiótica, coberturas) son muy escasos. No obstante, las pocas experiencias que se tienen indican que la aplicación de dosis relativamente bajas de estiércol son iguales o superiores en aumentar la producción en comparación con los fertilizantes químicos. El uso de abonos verdes también se muestra promisorio en mantener o mejorar la fertilidad de los suelos.

7. RECOMENDACIONES

En la zona de clima medio de Antioquia, la investigación en suelos se puede dividir en dos aspectos básicos, a saber: Uno que considere la caña, el fríjol, maíz, yuca y plátano como unicultivos, y otro como cultivos múltiples. En el primer aspecto se debe enfatizar en los siguientes aspectos:

1. Realizar ensayos a nivel de las diferentes regiones sobre dosis de N, P y K. Fuentes y épocas de aplicación de los mismos.
2. Estudiar el enclamiento en relación a fuentes, dosis, épocas y formas de aplicación de los correctivos.
3. Estudiar el S, Mg y B, sus estados en el suelo y la respuesta de los cultivos a dosis, fuentes, formas y épocas de aplicación de estos nutrientes.
4. Estudiar las pérdidas de suelo por erosión cuando se siembran estas plantas como unicultivos.

5. Estudiar la fertilización biológica (orgánica, fijación simbiótica y asimbiótica, coberturas) como una alternativa de la fertilización química.

En relación a cultivos múltiples es necesario enfatizar en:

1. Un reconocimiento de las zonas y de los diferentes sistemas de explotación en los cultivos asociados.
2. Estudiar los métodos de preparación de los suelos y sistema de siembra de los cultivos.
3. Estudiar la fertilización de los diferentes sistemas en cuanto a dosis, fuentes, épocas y formas de aplicación de los fertilizantes.
4. Formas de asociar el maíz y/o frijol a la yuca, plátano y caña. Esto se refiere específicamente a variedades, poblaciones, distancias de siembra, épocas de siembra y cosecha y número de cosechas.
5. Estudiar las pérdidas del suelo por erosión bajo diferentes sistemas de asociación de los cultivos.
6. Estudiar la fertilización biológica en comparación con la fertilización química, en los diferentes sistemas de cultivos.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. ALVAREZ, I. Pruebas Regionales de fríjol en Antioquia. Medellín, Instituto Colombiano Agropecuario, Estación Experimental Tulio Ospina, 1972. p.1-30. (Mimeografiado).
2. CORREA, J.C. Mejor capacidad potencial de uso de los suelos del Centro Regional Occidente. En: Secretaría de Agricultura y Fomento de Antioquia. Medellín, 1979. p.1-38. (Publicación Especial No. 145).
3. CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. Sistemas de producción de yuca; Suelos. En: Informe Anual 1976. Cali, Colombia, 1978. B-65 a B-75.
4. _____. Programa de yuca. Suelo y nutrición de la planta. En: Informe Anual 1977. Cali, Colombia, 1978. C-59 a C-68.
5. _____. Programa de yuca. Suelos y nutrición de la planta. En: Informe Anual 1978. Cali, Colombia, 1979. A-83 a A-91.
6. ESPINAL, S. Formaciones vegetales del departamento de Antioquia. Medellín, Revista Facultad Nacional de Agronomía 24(60):83. 1964.
7. GARCIA, R.F.; ECHEVERRY, L.M. Información general sobre trabajos de investigación en el cultivo del plátano realizados en CENICAFE, Departamento de Agronomía y Tecnología, Sección Cultivos Asociados al café. 1979. p.1-27. (Hojas en Xérox).

8. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. Fertilización de la yuca en suelos de los departamentos del Cauca y Valle del Cauca. En: Informe de Progreso 1978. Bogotá, Programa Nacional de Suelos, 1979. p.104-109.
9. _____. El estado actual de la fertilidad de los suelos colombianos y estimativos sobre las necesidades de fertilizantes para varios cultivos. Bogotá, Subgerencia de Investigación, División de Agronomía, Programa Nacional de Suelos, s.f. 117p. (Documento de Trabajo).
10. MUÑOZ A., R. Alguna información existente y disponible sobre suelos, fertilidad y fertilización en plátano y banano en Colombia. En: Memorias de la Primera Reunión Técnica de la Unión de Países Exportadores de Banano, UPEB. Palmira, Colombia, 1978. p.84-97.
11. _____; MOLINA, L. Respuesta de la caña (Saccharum officinarum L.) variedad POJ-2878 a la fertilización en suelos de ladera en Antioquia. Medellín, Instituto Colombiano Agropecuario, Programa de Suelos, Estación Experimental Tulio Ospina, 1980. 18p. (Sin publicar).
12. _____; MOLINA, L. Respuesta de la caña (Saccharum officinarum L.) para panela, a la fertilización con nitrógeno, en suelos de ladera en Antioquia. Medellín, Instituto Colombiano Agropecuario, Programa de Suelos, Estación Experimental Tulio Ospina, 1980. 19p. (Sin publicar).

13. MUÑOZ A., R.; MOLINA, L. Respuesta de la caña (Saccharum officinarum L.) variedad POJ-2878 a dosis y fuentes de fósforo, en suelos de ladera en Antioquia. Medellín, Instituto Colombiano Agropecuario, Programa de Suelos, Estación Experimental Tulio Ospina, 1980. 20p. (Sin publicar).
14. RODRIGUEZ, M.J. Fertilización de maíz. En: Curso sobre producción de maíz. Medellín, Estación Experimental Tulio Ospina, 1974. p.23-53.
15. _____. Fertilización de fríjol. En: Curso sobre Producción de fríjol. Medellín, ICA, Estación Experimental Tulio Ospina, 1975. p.15-38.
16. _____. Fertilización de yuca. En: Curso sobre Producción de yuca. Medellín, ICA, Estación Experimental Tulio Ospina, 1975. p.119-133.
17. RIVERA, J.A.; LLANO, J.E. Pruebas Regionales de maíz en Colombia. Medellín, Estación Experimental Tulio Ospina, 1974. p.23-79. (Boletín de Investigación No. 13).
18. TARAZONA, C.; MARIN, G.; LEON, A. Respuesta de la yuca (Manihot esculenta Grantz) a la fertilización de parcelas demostrativas. Bogotá, Instituto Colombiano Agropecuario, 1973. 38p.
19. VELEZ, B.E.; LOTERO C., J. Fertilización de la caña de azúcar para la producción de panela en la zona de Frontino, Antioquia. Revista ICA (Colombia) 4(1):27-44. 1969.

20. VILLOTA, G.H. et al. Estudio general de los suelos del Centro, Norte, Sur, Oriente y parte del Occidente del departamento de Antioquia. Bogotá, Instituto Geográfico "Agustín Codazzi", 1972. 611 p.

EL ANALISIS DEL SUELO PARA DIAGNOSTICAR SU FERTILIDAD

J. Gildardo Marín Morales*

1. INTRODUCCION

La fertilización de los cultivos es una práctica muy necesaria en Colombia para obtener los rendimientos máximos en las cosechas. Esto es debido fundamentalmente a que los suelos del país son generalmente deficientes en uno o más de los nutrimentos esenciales para el crecimiento normal de las plantas.

El uso de fertilizantes, sin embargo, requiere por parte de los agricultores y ganaderos, una buena orientación técnica. El propósito fundamental del análisis del suelo es caracterizar el factor suelo y de esta manera tener más bases técnicas para tomar decisiones en las recomendaciones de fertilizantes y enmiendas para los diferentes cultivos.

Para lograr estos objetivos, el análisis de suelos incluye varias fases, todas ellas de mucha importancia para una utilización correcta de los resultados. Tales fases son: a) La toma de la muestra para analizar; b) Los procedimientos de laboratorio; c) La calibración del análisis con ensayos de fertilizantes; d) La interpretación del análisis, y e) Las recomendaciones de fertilizantes y enmiendas.

* Ingeniero Agrónomo, M.S. Director Nacional del Programa de Suelos, Centro Nacional de Investigaciones Tibaitatá, Apartado Aéreo 151123, Bogotá.

2. LA MUESTRA DEL SUELO

La toma adecuada de la muestra del suelo para análisis tiene tanta importancia como la exactitud de las determinaciones de laboratorio o el criterio de interpretación de los resultados. Por consiguiente, es necesario que las personas que realicen esta tarea se ajusten a las instrucciones que en efecto se aconsejan, con el objeto de obtener una información exacta.

2.1. LA MUESTRA REPRESENTATIVA DEL SUELO

Una muestra del suelo es una mezcla de varias submuestras más pequeñas que se toman en distintas partes de un lote hasta cubrir toda el área del terreno.

Una muestra que se tome solamente en un punto del terreno, dará información únicamente para ese punto y no dice nada acerca del área total. La muestra del suelo debe incluir, por lo menos 15 a 20 lugares diferentes del campo o área, de 10 hectáreas o más, según la homogeneidad del terreno en características visuales y de manejo.

2.2. COMO TOMAR LA MUESTRA DEL SUELO

Cuando la herramienta usada para tomar la muestra del suelo es una pala o garlancha, se procede como se observa en la Figura 1. Se raspa aproximadamente un centímetro de la superficie del suelo para eliminar los residuos frescos de materia orgánica, polvo de las carreteras o caminos u otras contaminaciones artificiales; luego se cava un hueco en forma de V cuyo tamaño aproximado es del ancho de la pala y

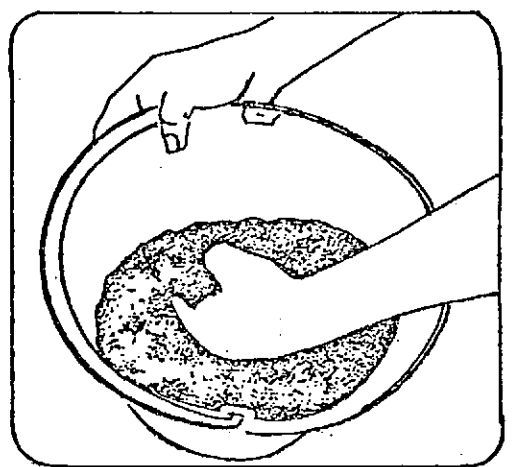
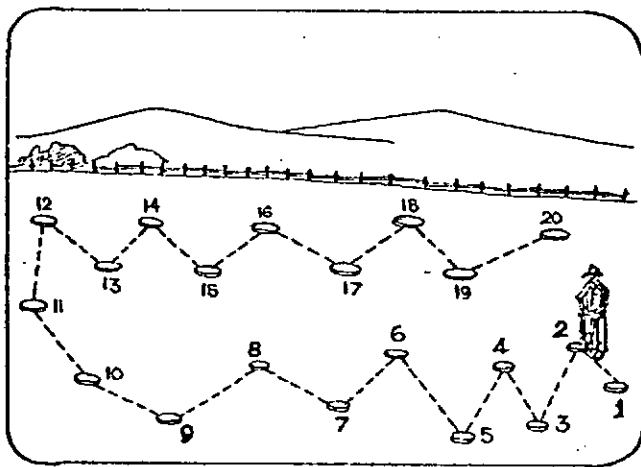
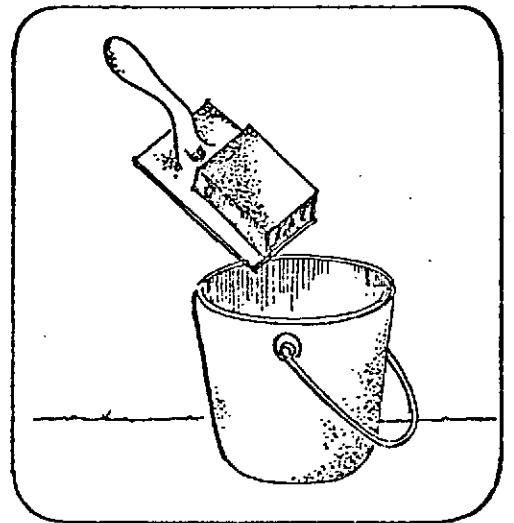
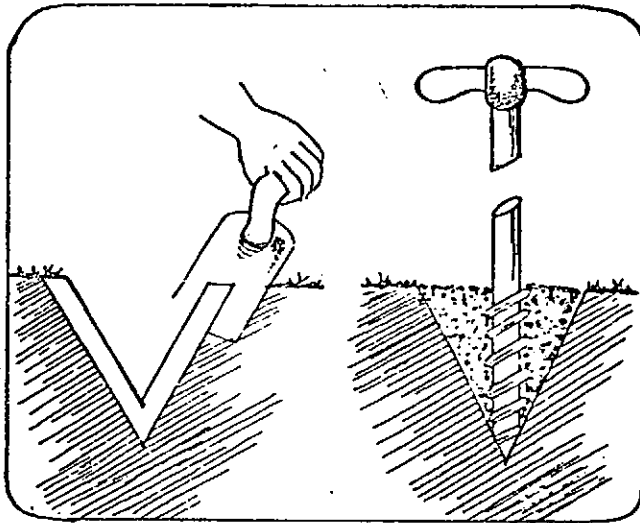


Figura 1. Fases para tomar la muestra del suelo (12).

de una profundidad de 20 cm para la mayoría de los cultivos. En el caso de alfalfa, la muestra se toma de 0 - 30 cm y para pastos de 0 - 10 cm.

En la pared del hueco se corta una tajada de suelo de 2 a 3 cm de grueso y se toma una faja de unos 3 a 5 cm de ancha. Esta porción de suelo se coloca en un balde y se repite la operación en 15 o 20 lugares del área delimitada para la toma de la muestra completa.

Las 15 o 20 porciones se mezclan muy bien en el balde y luego en una caja de cartón o bolsa plástica se echa aproximadamente 500 g de suelo, los cuales constituyen la muestra representativa del área para la cual se quiere las recomendaciones de fertilizantes y enmiendas. Es muy importante llenar la hoja de información sobre la muestra del suelo lo más exactamente posible. Esta es una ayuda muy valiosa en la formulación de las recomendaciones que cada agricultor necesita.

2.3. AREAS EN LAS QUE NO SE DEBEN TOMAR SUBMUESTRAS DEL SUELO.

Es necesario evitar aquellas áreas muy pequeñas que difieren mucho del resto del campo y que por su tamaño no tienen significación en la producción de la cosecha. Hay que evitar el tomar muestras en áreas de antiguos canales, carreteras o caminos, o en sitios donde se haya colocado estiércol o cal, residuos de cosecha o quemas, o en el límite de cambio de pendiente, en la orilla de las cercas, inmediato a los árboles, en parches pantanosos, o cualquier área de uso poco común no representativa.

3. METODOS DE ANALISIS DEL SUELO

En los laboratorios de suelos del ICA (9), se efectúan los análisis de suelos siguiendo los métodos descritos a continuación:

3.1. pH

El pH se determina por el método del potenciómetro con electrodo de vidrio en la relación suelo-agua por volumen de 1:1. A 10 centímetros cúbicos de suelo, se agregan 10 centímetros cúbicos de agua destilada. La mezcla se deja en reposo durante una hora, se agita y luego se lee el pH en el potenciómetro.

3.2. ACIDEZ INTERCAMBIABLE ($AI^{+++} + H^+$)

Se determina mediante la extracción con KCl normal, titulando el extracto con 0,1N NaOH en presencia de fenolftaleína. La acidez intercambiable se expresa en miliequivalentes por 100 gramos de suelo (meq/100 g de suelo).

3.3. MATERIA ORGANICA

La materia orgánica del suelo se calcula indirectamente, determinando el carbono orgánico. La materia orgánica del suelo se oxida con ácido crómico en presencia de un exceso de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado y posterior determinación colorimétrica.

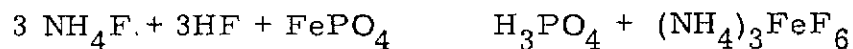
3.4. FOSFORO (P)

Para determinar el fósforo en el suelo, se utiliza el método Bray II. La extracción se efectúa con una mezcla de 0,03 N NH_4F + 0,1N HCl . El fósforo del suelo se expresa en partes por millón de P (ppm de P).

Puesto que el fósforo es uno de los elementos que presenta mayor dificultad para determinar la porción del suelo aprovechable por las plantas, se han utilizado otros métodos para su extracción de acuerdo a las características de los suelos. De estos métodos, los más conocidos son los siguientes:

3.4.1. Método Bray I.

La solución extractora utilizada en este método es una mezcla de NH_4F 0,03N y HCl 0,025N. El ion F^- tiene la propiedad especial de formar complejos con los iones Al^{+++} y Fe^{+++} en soluciones ácidas, con la consecuente liberación del fósforo retenido en el suelo por estos iones trivalentes. La reacción en solución ácida se puede representar así:



La fórmula AlPO_4 representa diferentes fosfatos de Al. La reacción con el FePO_4 no es completa, debido a las concreciones o al óxido de Fe que cubre al FePO_4 .

3.4.2. Método de Truog.

En este método, se usa una solución extractora de H_2SO_4 0,002N taponada a pH3 con $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ o K_2SO_4 .

3.4.3. Método de Olsen.

Este método, emplea una solución 0,5N NaHCO_3 a un pH de 8,5. Es muy recomendable para la extracción del fósforo en suelos calcáreos.

3.5. BASES INTERCAMBIABLES (Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+)

La extracción de las bases del suelo se hace con acetato de amonio normal y neutro y posterior determinación por espectrofotometría. Las bases intercambiables se expresan en miliequivalentes por 100 gramos de suelo (meq/100 g de suelo).

3.6. CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (CIC)

Al desplazar los cationes del suelo con acetato de amonio, se lava el exceso de amonio con alcohol. El amonio (NH_4^+) retenido en el complejo de intercambio catiónico, se desplaza con una solución de cloruro de sodio (NaCl) al 10 por ciento. Al lixiviado se agregan 10 centímetros cúbicos de formaldehido neutro al 40 por ciento. Luego se titula con 0,1N NaOH , utilizando fenolftaleina como indicador. La CIC se expresa en meq/100 g de suelo. La Figura 2, ilustra al respecto, el complejo de adsorción del suelo.

3.7. CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICA EFECTIVA (CICe)

La CICe se determina indirectamente por la suma de los cationes Al^{+++} , H^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ y Na^+ , determinados en el suelo en su forma intercambiable o sea, haciendo su extracción con acetato de amonio normal y neutro.

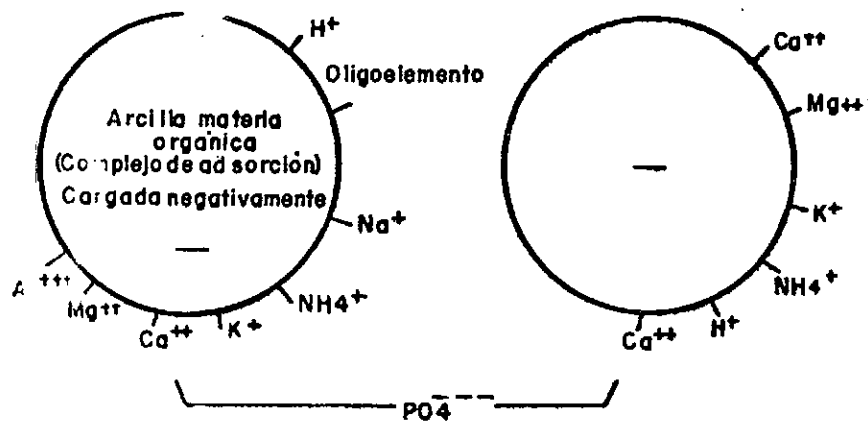


Figura 2. El Complejo de Adsorción del suelo.

3.8. SALINIDAD Y ALCALINIDAD

Se determina la conductividad eléctrica (CE) y la clase de aniones (NO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , HCO_3^-) y cationes (Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+) en un extracto del suelo saturado. También se determina el pH del suelo saturado y el contenido de Na^+ intercambiable en el suelo, expresado en porcentaje. La conductividad del extracto se expresa en milimhos.

3.9. TEXTURA.

El análisis de textura, comúnmente denominado fisicomecánico, se hace por el método de Boujocous o del Hidrómetro. Como agente dispersante se utiliza una solución de hexametáfosfato y carbonato de sodio.

La textura se puede determinar también frotando una pequeña cantidad del suelo sobre los dedos. Si el suelo es suave y mullido, sus partículas se unen bien, pero si se deshace fácilmente sin que se sienta demasiada arena gruesa, la textura es de categoría media.

Un suelo de textura arenosa, es muy grueso y granulado y puede advertirse o verse con facilidad cada una de las partículas de arena. No se liga fácilmente formando una bola cuando se oprime, ni oscurece los dedos cuando se frota entre ellos. La Figura 3 ilustra los porcentajes de arena, limo y arcilla en las clases básicas de la textura de los suelos.

Un suelo de textura arcillosa se siente pegajoso y suave al tacto cuando está mojado. Igualmente, se escurre en tiras por entre los dedos como si fuera pasta dentífrica, o se desmorona, formando pequeños cubos cuando está seco.

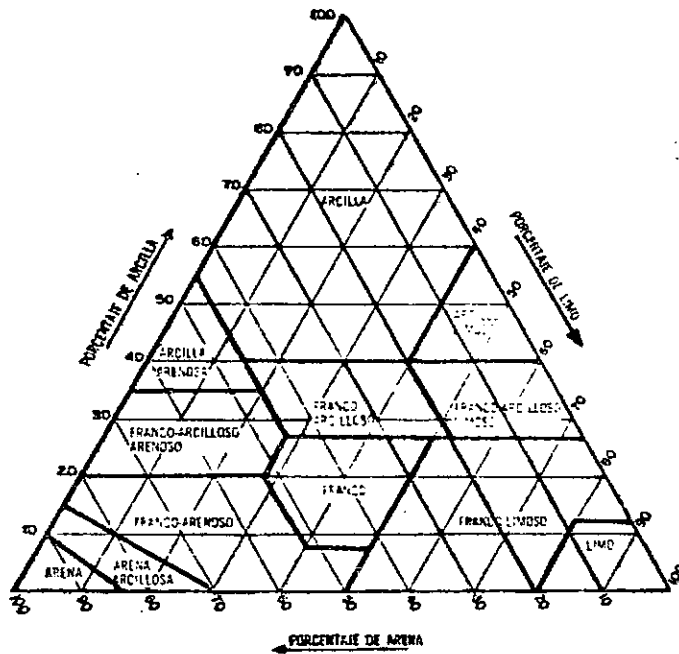


Figura 3. Porcentaje de arena, limo y arcilla en las clases básicas de la textura de los suelos (3)

Los suelos donde predomina el limo, se sienten muy suaves al tacto, dando una sensación parecida a la que produce el roce con el terciopelo.

3.10. LAS UNIDADES EMPLEADAS PARA EXPRESAR LOS VALORES DE ANALISIS DEL SUELO.

Las unidades comúnmente empleadas en el análisis de suelos son:
 a) Porcentaje (%); b) Miliequivalentes por 100 gramos de suelo (meq/100 g); c) Partes por millón (ppm). Es de anotar que se acepta que una hectárea de suelo, capa arable, pesa 2.000.000 de kilogramos o en su defecto que tiene un volumen de 2.000.000 de litros, cuando el suelo tiene una densidad aparente de $1,0 \text{ g/cm}^3$.

Brevemente se explicarán las unidades empleadas:

3.10.1. Partes por millón (ppm).

Se llama ppm a las unidades en un millón de unidades. Ejemplo: kg en un millón de kilogramos; gramos en un millón de gramos; litros en un millón de litros.

Si un suelo tiene 10 ppm de P, ese suelo tendrá 20 kg/Ha de P o lo que es lo mismo, 45,8 kg/Ha de P_2O_5 . Un ppm de P es igual a 4,58 kg de P_2O_5 /Ha.

3.10.2. Miliequivalentes.

El equivalente químico de un elemento es su peso atómico dividido por su valencia. Si se expresa en gramos, se le denomina equivalente gramo.

Ejemplos: a)	Peso atómico de calcio (Ca)	40
	Valencia	2
	Equivalencia gramo	$40 \div 2 = 20$ g
b)	Peso atómico del magnesio (Mg)	24
	Valencia	2
	Equivalente gramo	$24 \div 2 = 12$ g
c)	Peso atómico del potasio (K)	39
	Valencia	1
	Equivalente gramo	$39 \div 1 = 39$ g

Se denomina miliequivalente al equivalente dividido por 1.000.

Ejemplos: a)	Miliequivalente gramo de Mg	$= 12/1.000 = 0,012$ g
b)	Miliequivalente gramo del K	$= 39/1.000 = 0,039$ g
c)	Miliequivalente gramo del Ca	$= 20/1.000 = 0,020$ g

3.10.3. Conversión de miliequivalentes a kilogramos por hectárea.

La hectárea de suelo capa arable, pesa en promedio 2.000.000 de kg.

Si se supone que un análisis de suelo dio 1 meq de calcio por 100 g de suelo, ésto equivale a 0,02 g en 100 g de suelo, o sea a 0,0002 kg por kg de suelo. Por tanto en 2.000.000 de kg o sea en una hectárea habrá 400 kg de Ca.

Aplicando los mismos razonamientos se tiene:

$$1 \text{ meq de Ca}/100 \text{ g de suelo} = 400 \text{ kg de Ca}/\text{Ha}$$

$$1 \text{ meq de Mg}/100 \text{ g de suelo} = 240 \text{ kg de Mg}/\text{Ha}$$

1 meq de K/100 g de suelo = 780 kg de K/Ha

1 meq de Na/100 g de suelo = 460 kg de Na/Ha

4. LA CALIBRACION DEL ANALISIS DEL SUELO

Desde el punto de vista físico o químico, una técnica de análisis con fines agrícolas puede ser buena, pero si no existe correlación con la respuesta obtenida por la planta bajo condiciones de campo o de invernadero, dicha técnica o procedimiento no tendrá ningún valor. Por tanto, es necesario calibrar el método, o sea, fijar los valores límites para calificar el suelo como bajo, medio o alto en determinado elemento, de acuerdo con los resultados analíticos por el método bajo estudio.

La calibración se obtiene después de comparar estadísticamente los resultados del análisis de un adecuado número de suelos, con los resultados de rendimiento obtenidos en el campo o invernadero, al aplicar a esos suelos el nutrimento o nutrimentos bajo estudio. La calibración de un método para establecer los límites estimativos de bajo, medio y alto, sólo se puede hacer con base en una probabilidad de que el suelo sea realmente pobre, medio o rico en el elemento que se estudia (Figura 4).

Cuando el suelo se considera pobre, la probabilidad de que responda, es decir que aumente significativamente el rendimiento al aplicar dicho nutrimento, debe ser alta; cuando es rico, la probabilidad debe ser baja. Agrupados y comparados los resultados de los análisis de los suelos estudiados con la respuesta de la planta a la aplicación del elemento, se establecen los límites de los valores para que se cumplan los requisitos establecidos en la Tabla 1.

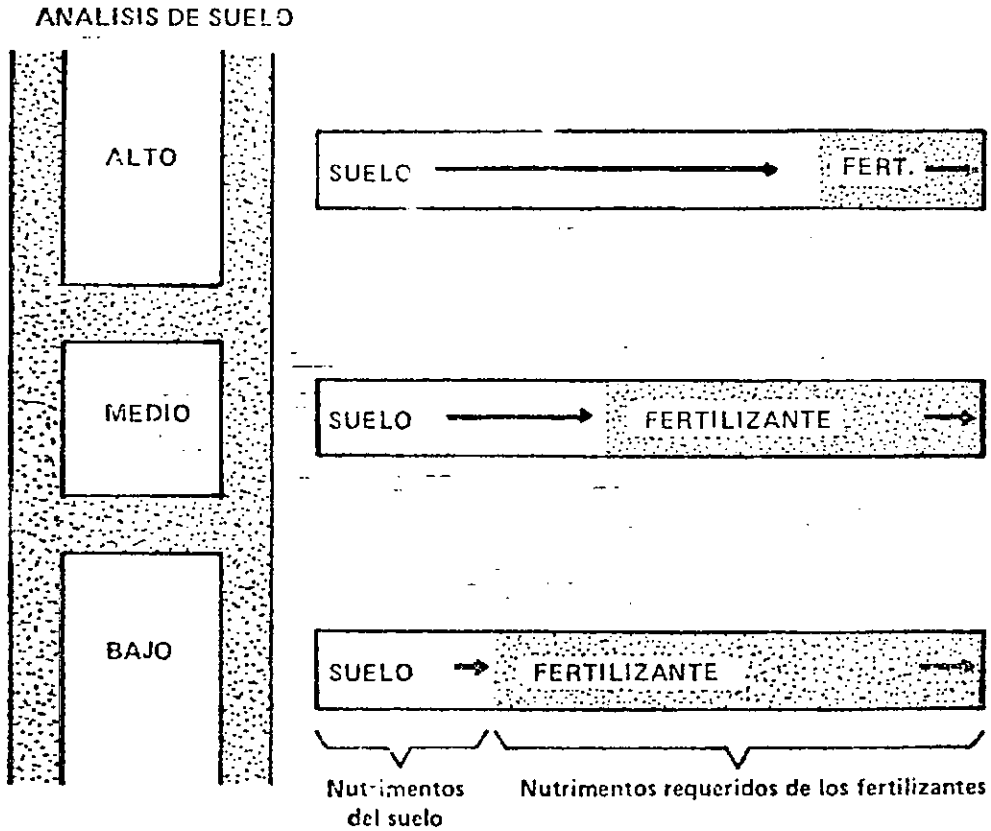


Figura 4. Interpretación de los valores bajo, medio y alto del análisis de suelos en relación con los requerimientos de fertilizantes.

TABLA 1. Probabilidad de respuesta de los cultivos a la fertilización según el contenido del nutrimento en el suelo.

Contenido del nutrimento en el suelo	Probabilidad (%) de respuesta a la fertilización
Bajo (B)	Igual o mayor de 80 alta (A)
Medio (M)	Alrededor de 50 media (M)
Alto (A)	Igual o menor de 20 baja (B)

La calibración del análisis de suelos se define o se describe simplemente como la "relación que existe entre el crecimiento de las plantas y la contribución de un nutrimento en particular". Su nivel en el suelo se mide por algún método químico o biológico. Al seleccionar suelos que tienen un límite amplio de concentración del nutrimento, se puede predecir dentro de ciertos límites, la respuesta de la cosecha que puede esperarse cuando una cantidad dada de ese nutrimento es añadido al suelo.

Los requerimientos de fertilizantes varían de acuerdo a las condiciones del suelo y al tipo de planta. Por esta razón, es preciso correlacionar el análisis de suelos con la respuesta de los cultivos a la aplicación de fertilizantes bajo una amplia gama de condiciones ambientales. Se debe recordar que los ensayos de campo, generalmente, incluyen datos obtenidos bajo condiciones muy heterogéneas, es decir, localidades diferentes, variedades distintas, suelos muy disímiles en fertilidad y en regiones con clima muy variable de un año a otro.

En Colombia se han realizado numerosos trabajos para correlacionar el análisis de suelos con la probabilidad de respuesta de los cultivos a la fertilización. Por ejemplo, Navas y Asociados (14) correlacionaron diferentes métodos de extracción del fósforo del suelo con la respuesta de trigo a la aplicación de fertilizantes fosfóricos mediante pruebas regionales llevadas a cabo en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá.

En la Tabla 2 se presentan algunos datos tomados de Navas y Asociados (14), que indican la probabilidad de respuesta del trigo a la fertilización fosfórica cuando se siembra en suelos con diferentes contenidos de fósforo extractable por varios métodos. Para establecer la probabilidad de respuesta, los autores consideraron como respuestas positivas a la aplicación de fósforo, aquellas superiores al 20 por ciento o que no respondieron a fósforo aquellas inferiores al 20 por ciento.

5. LA INTERPRETACION DEL ANALISIS DEL SUELO

Posiblemente, la interpretación del análisis del suelo sea la etapa más importante y al mismo tiempo la más difícil. No se trata simplemente de conocer los niveles críticos de los nutrimentos de las plantas en el suelo, sino que es necesario tener conocimientos muy precisos sobre los factores interrelacionados que afectan la absorción de nutrimentos por las plantas.

Indudablemente que para tener conocimientos muy sólidos sobre los factores del suelo que afectan la nutrición de las plantas, se requiere un gran respaldo de la investigación realizada en el propio país. Desafortunadamente, esta información es escasa en muchos aspectos, casos en los cuales habrá necesidad de reforzarla con la investigación foránea.

TABLA 2. Probabilidad de respuesta del trigo a la fertilización fosfórica según el contenido de fósforo en el suelo extraído por varios métodos (14).

Método de extracción	Límites de P extraído ppm	Número de ensayos	Aumento en el rendimiento		Probabilidad de respuesta %
			>20%	<20%	
Truog	<20	36	30	6	83
	20 - 40	22	6	16	27
	>40	17	1	16	6
Bray II	<20	34	27	7	80
	20 - 40	18	10	8	55
	>40	22	1	21	4
Bray I	<10	35	27	8	77
	10 - 20	15	7	8	47
	>20	23	3	20	13
N.C. *	<10	43	26	17	60
	10 - 20	17	9	8	53
	>20	26	2	24	8

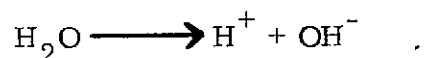
* Método utilizado en el Estado de Carolina del Norte (USA).

En esta sección se tratará de utilizar la información disponible, tanto nacional como extranjera, en la forma más práctica posible, con el objeto de que la interpretación del análisis del suelo se acoja a conceptos básicos de la Ciencia del Suelo complementados con los resultados más precisos obtenidos en Colombia.

De esta manera, se espera que el profesional de Asistencia Técnica obtenga los criterios fundamentales para la interpretación del análisis del suelo, de la misma manera como el médico utiliza los análisis del laboratorio clínico para diagnosticar los males del paciente y formular una serie de medicinas para remediarlos.

5.1. EL pH DEL SUELO

El pH es una medida de la concentración de los iones H^+ en una solución. Los iones H^+ y OH^- provienen de la ionización de las moléculas de agua, de acuerdo con el siguiente esquema:



La extensión a la cual el agua se ioniza, se puede expresar en términos de una constante de ionización KH_2O , que se expresa así:

$$KH_2O = (H^+) (OH^-) \quad (1)$$

(H^+) y (OH^-) son las concentraciones de iones hidrógeno e hidróxido, expresados como miliequivalentes por litro. Un equivalente de un ión es el peso en gramos de ese ión que contiene $6,023 \times 10^{23}$ partículas. El valor KH_2O es 10^{-14} , a $22^\circ C$ y con cualquier sistema acuoso; a esta temperatura el producto de las concentraciones de los iones hidrógeno e hidróxido es 10^{-14} , de donde $(H^+) (OH^-) = 10^{-14}$.

Por tanto, la ecuación 1 se puede escribir así:

$$\text{Log } 1/\text{KH}_2\text{O} = \text{Log } 1/(\text{H}^+) + \text{Log } 1/(\text{OH}^-) = 14 \quad (2)$$

Los valores de $\text{Log } 1/(\text{H}^+)$ y $\text{Log } 1/(\text{OH}^-)$ se refieren a pH y pOH respectivamente, de donde:

pH = Logaritmo del recíproco de la concentración de iones hidrógeno en la solución del suelo.

Generalmente, en lugar de utilizar las palabras ácido, alcalino o neutro, se dice grado de acidez y se expresa en números. La escala de valores de pH va de 0 a 14. El grado 1 corresponde a la mayor acidez. El grado 14 corresponde a la mayor alcalinidad (Tabla 3, Figura 5).

5.2. LA ACIDEZ INTERCAMBIABLE

La acidez intercambiable se refiere a los iones H^+ y Al^{+++} que se encuentran adsorbidos en la fracción coloidal del suelo (8). En los suelos minerales de regiones húmedas, la acidez intercambiable es debida principalmente al Al^{+++} , ya que existe muy poco H^+ intercambiable.

Al hidrolizarse el Al^{+++} intercambiable del suelo, libera iones H^+ como se indica en las reacciones siguientes:

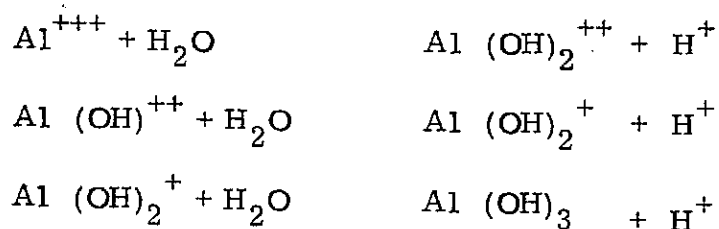


TABLA 3. Nombre de la reacción del suelo de acuerdo con los valores de pH y su relación con los nutrimentos de las plantas. (4, 11).

pH	Reacción del Suelo	Efecto
Menos de 5,0	Extremadamente ácido	Toxicidad de aluminio y manganeso en varios cultivos. Deficiencias de P, Ca, Mg y Mo. Es necesario encalar.
5,0 a 5,5	Fuertemente ácido	Posible toxicidad del aluminio. Posibles deficiencias de P, Ca, Mg. Es necesario encalar para la mayoría de los cultivos.
5,5 a 5,9	Moderadamente ácido	Baja solubilidad del P y regular disponibilidad de Ca y Mg. Algunos cultivos como leguminosas, requieren encalamiento.
6,0 a 6,5	Ligeramente ácido	Condición adecuada para el crecimiento de la mayoría de los cultivos.
6,6 a 7,3	Casi neutro o neutro	Buena disponibilidad de Ca y Mg; moderada disponibilidad de P, baja disponibilidad de micronutrimentos a excepción del Mo.
7,4 a 8,0	Alcalino	Posible exceso de carbonatos. Baja solubilidad del P y de micronutrimentos a excepción del Mo. Se inhibe el crecimiento de varios cultivos. Es necesario tratar el suelo con enmiendas.
Mayor de 8,0	Muy alcalino	Posible exceso de Na intercambiable. Se inhibe el crecimiento de la mayoría de los cultivos. Es necesario tratar el suelo con enmiendas.

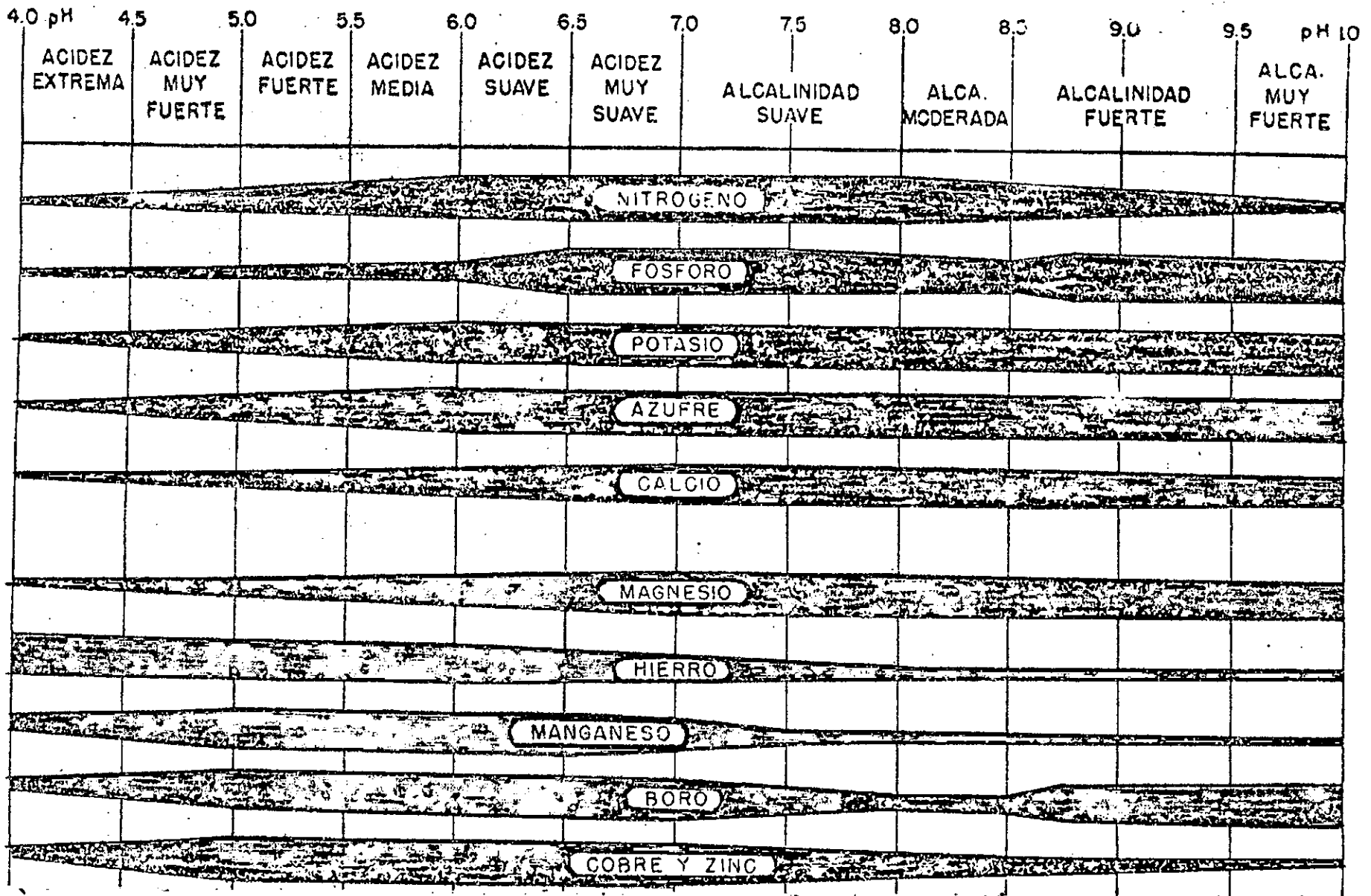


Figura 5. Efecto del pH del suelo en la disponibilidad de los nutrimentos de las plantas (3).

Generalmente, a valores de pH por debajo de 5,5 en suelos minerales y por debajo de 5,0 en suelos orgánicos, existen problemas con el aluminio, especialmente en plantas muy sensibles como alfalfa, trébol, fríjol, soya, algodón, trigo, cebada, arroz, tabaco y algunos frutales. Otras plantas son bastante tolerantes al aluminio, tales como la piña, el fique, la yuca y los pastos gordura, puntero, pangola e imperial.

El Programa de Suelos (9) ha establecido algunos criterios generales para considerar al aluminio intercambiable como problema en los suelos:

- .1. Cuando la cantidad es superior a 2 meq/100 g de suelo
- .2. Si la relación $\frac{\text{Ca} + \text{Mg} + \text{K}}{\text{Al}} \leq 1$
- .3. Si el porcentaje de Al de la suma total de los cationes intercambiables es mayor de 25.

5.3. LA MATERIA ORGANICA

A medida que disminuye la temperatura, el contenido de materia orgánica aumenta debido a la baja tasa de mineralización de ésta. En Colombia, por existir relación inversa entre altitud y temperatura, se ha encontrado correlación positiva entre el contenido de materia orgánica y la altura sobre el nivel del mar. En términos generales, la materia orgánica dividida por 20 es igual al porcentaje N. En la Tabla 4 se observa el estimativo conceptual de la materia orgánica en los suelos, de acuerdo al clima.

La materia orgánica, es fuente, principalmente de N, P, S y algunos elementos menores. Además, mejora las propiedades físicas del suelo,

TABLA 4. Estimativo de materia orgánica en los suelos colombianos según el clima (11).

Clima	Interpretación del % de materia orgánica		
	Bajo	Medio	Alto
Frío	Menor de 5	5 - 10	Mayor de 10
Templado	Menor de 3	3 - 5	Mayor de 5
Cálido	Menor de 2	2 - 3	Mayor de 3

aumenta la capacidad amortiguadora (Buffer) y tiene gran influencia en la capacidad de intercambio catiónico.

Dicho en otra forma, la presencia de la materia orgánica tiende a disminuir la tendencia del pH del suelo a cambiar cuando se agrega material ácido o alcalino.

Cada 1% de materia orgánica representa en general, 2 meq/100 g en la medida de la CIC (13).

La materia orgánica hace los suelos pesados más friables, más fáciles de trabajar y promueve una mejor estructura, mejora la capacidad de los suelos ligeros o arenosos para retener agua y disminuye la pérdida de nutrimentos por lixiviación.

5.4. EL FOSFORO (P) APROVECHABLE POR LAS PLANTAS

Existen varios métodos para la extracción del P del suelo. Sin embargo, no todos son igualmente adecuados para extraer la porción aprovechable por las plantas, como se indica en los datos de la Tabla 5. Algunos trabajos realizados en Colombia, han mostrado muy buena correlación entre el P del suelo extraído con los métodos BRAY II, BRAY I y TROUG y la respuesta de los cultivos a la fertilización fosfórica. Los niveles críticos del P del suelo establecidos con el método BRAY II, son los que utiliza el ICA para definir la necesidad de fertilizantes fosfóricos en varios cultivos (9).

TABLA 5. Fósforo extraído (ppm P) en suelos fuertemente ácidos de la Sabana de Bogotá.

Bray I	Bray II	Troug
7,0	24,5	13,0
5,0	33,3	18,0
3,9	15,3	6,7
2,5	5,5	7,0
7,6	6,7	12,0

Un exceso de P en el suelo puede causar un desorden metabólico dentro de las células de la planta, relacionado con un desbalance entre el P y el Zn, que produce deficiencias de este último elemento, sobre todo en las plantas muy sensibles como el maíz (18). Desafortunadamente es muy difícil establecer, en términos generales, un nivel de P en

el suelo a partir del cual se presenta la deficiencia de Zn en las plantas. Habrá necesidad de registrar la relación P/Zn en el suelo cuando la deficiencia se manifieste en la planta o haya respuestas económicas a la aplicación de Zn como fertilizante.

5.5. LAS BASES INTERCAMBIABLES DEL SUELO (Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+).

En general, es difícil establecer niveles críticos en el suelo para estos nutrimentos de las plantas. En la mayoría de los casos se debe tener en cuenta no solamente la cantidad del elemento intercambiable, sino también el porcentaje de saturación en el complejo de cambio, el pH del suelo y sus relaciones entre sí.

En la Tabla 6 se presentan algunos estimativos sobre el contenido de bases intercambiables del suelo. Sin embargo, es más importante tener en cuenta las relaciones entre las mismas bases que interpretarlas en términos absolutos.

Muchos investigadores se han ocupado del estudio de las proporciones que deben guardar las bases Ca, Mg y K en los suelos, para el óptimo crecimiento de las plantas, encontrando relaciones óptimas para cada cultivo. En algodónero, por ejemplo, se ha establecido que cuando la relación $(\text{Ca} + \text{Mg})/\text{K}$ es superior a 100, habrá problemas en el cultivo con la nutrición de este elemento (6).

Las interacciones del Ca y del Mg con el K en los suelos se indican gráficamente en la Figura 6. Cuando se aplica K a un cultivo que requiere cantidades altas de este elemento, como es el caso de la papa, disminuye la adsorción de Ca y Mg si no se encuentran en el suelo en cantidad adecuada para el cultivo.

TABLA 6. Estimativo conceptual sobre la cantidad de las bases intercambiables en el suelo (11).

Elemento		Interpretación		
		Bajo	Medio	Alto
Calcio	meq/100 g	Menos de 3	3 - 6	Más de 6
	saturación %	Menos de 30	30 - 50	Más de 50
Magnesio	meq/100 g	Menos de 1,5	1,5 - 2,5	Más de 2,5
	saturación %	Menos de 15	15 - 25	Más de 25
Potasio	meq/100 g	Menos de 0,20	0,20-0,40	Más de 0,40
	saturación %	Menos de 2	2 - 3	Más de 3
Sodio	meq/100 g	Su contenido debe ser menor de 1		
	saturación %	Debe ser menor del 15%.		

Relación normal: Ca: Mg: K

2 a 3: 1: 0,15 a 0,25

Con cantidades altas de K disponible, las plantas tienden a tomar más del necesario ("consumo de lujo"), reduciéndose de este modo la proporción del Mg aprovechable. De igual modo, la adición de cantidades apreciables de K al suelo, puede resultar en una gran disminución de la absorción de Ca por las plantas, especialmente en suelos con baja saturación de este catión como lo son los suelos extremadamente ácidos.

5.5.1. La Relación Ca/Mg.

Uno de los problemas más comunes de la fertilidad de los suelos colombianos está relacionado con la relación Ca/Mg en el complejo coloidal

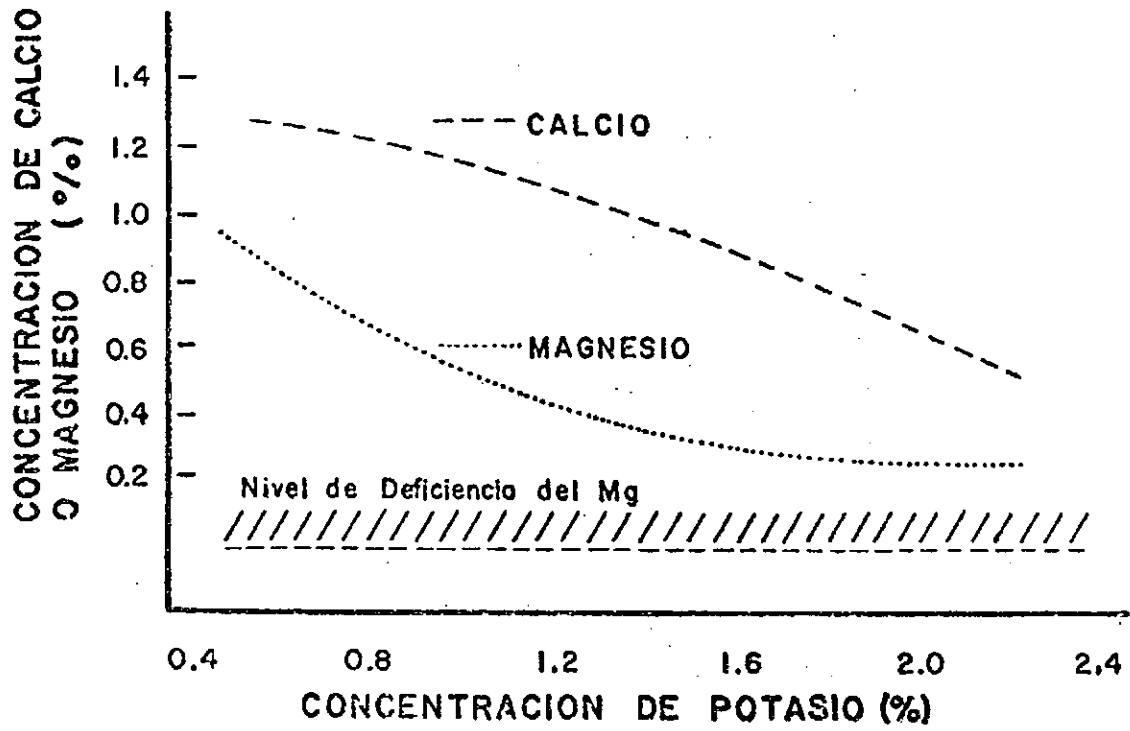


Figura6. Interacciones del Calcio y el Magnesio con el Potasio (17)

del suelo. Normalmente, se espera que el suelo tenga más Ca que Mg intercambiables, o sea que la relación Ca/Mg sea superior a la unidad.

Sin embargo, en muchas áreas de Colombia se ha encontrado suelos con una relación Ca/Mg invertida, especialmente en el Valle geográfico del Río Cauca y en Oxisoles del departamento de Antioquia. Por otra parte, la relación amplia es muy común en los suelos tropicales húmedos y en los de clima frío con alto contenido de materia orgánica.

Según Russell (15), los suelos que contienen una elevada proporción de Mg intercambiable, en la relación con el Ca, tienen una permeabilidad reducida y las plantas absorben menos Ca que en condiciones normales. Por otra parte, a presiones osmóticas altas e iguales, los iones de Mg son más tóxicos que los iones de Na y además ejerce sobre las propiedades físicas del suelo, efectos análogos a los de un exceso de Na.

5.5.2. El Caso del Sodio (Na).

Aunque el Na no es un elemento esencial para las plantas, su efecto sobre las propiedades físicas de los suelos hace que en muchas regiones cause disturbios en la nutrición de las mismas plantas, especialmente cuando se trata de suelos alcalinos.

La alcalinización es el proceso por medio del cual el contenido de Na intercambiable de un suelo aumenta hasta sobrepasar el 15 por ciento de su saturación en el complejo de cambio, condición conocida como suelo sódico. La alcalinización involucra tanto la salinización como el cambio de composición de las sales acumuladas en el suelo (8).

El Ca y el Mg son las bases dominantes en los suelos de las regiones áridas. Sin embargo, a medida que las sales solubles de las aguas

para riego se retienen en el suelo por falta de lavado, se aumenta la concentración de estos iones y se presentan ciertos cambios en las propiedades de los suelos. Así, por ejemplo, se sobrepasan los límites de solubilidad del sulfato de calcio y de los carbonatos de Ca y de Mg, causando la precipitación del Ca y del Mg (8).

En esta forma, se produce un incremento en la proporción relativa de Na en la solución del suelo, o sea, que el porcentaje de Na soluble aumenta (8).

Debido al equilibrio dinámico entre los iones solubles y adsorbidos, el sodio constituye parte del calcio y del magnesio, originalmente presentes en el complejo de intercambio del suelo. Generalmente, la mitad o más de los cationes solubles debe ser sodio (PSS 50) antes de que cantidades apreciables de este ión sean adsorbidas por el complejo de intercambio catiónico. En algunos suelos salinos, prácticamente todos los cationes solubles son sodio; por lo tanto, el sodio es el catión adsorbido en forma predominantemente (8).

Mientras se encuentran sales solubles en cantidades considerables en la solución del suelo, el suelo salino-sódico permanece floculado y permeable en pH menor de 8,5. Si las sales solubles se eliminan mediante lavados, el suelo se convierte en sódico y puede hacerse muy impermeable debido al efecto dispersante del ión sodio adsorbido en el complejo de intercambio (8).

Las sales alcalinas de sodio (bicarbonato, carbonato, silicato) favorecen la casi completa substitución de calcio por sodio, debido a la baja solubilidad de las correspondientes sales de calcio. Inversamente, las sales neutras de sodio, sulfatos y cloruros, producen únicamente una substitución parcial de calcio por sodio. Por lo tanto, el grado de alcalinización es más rápido para las sales básicas que para las sales neutras (8).

5.6. LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (CIC)

Los cationes utilizables por las plantas se encuentran en la solución del suelo o retenidos en la superficie del complejo de cambio. En esta última forma, pueden ser cambiados por otros cationes de la solución del suelo. Por eso se dice que los cationes o las bases son cambiables. La Figura 7, ilustra la representación esquemática del fenómeno de cambio en los suelos.

La capacidad de intercambio catiónico representa el número total de posiciones intercambiables o cargas negativas de la fracción coloidal del suelo, expresadas en miliequivalentes por 100 gramos de suelo (meq/100 g de suelo). Por esta razón, el contenido de arcilla o de materia orgánica de los suelos juega un papel importante en su fertilidad. El complejo arcilla-materia orgánica es la despensa de los elementos nutritivos para las plantas.

La CIC del coloide orgánico y de las arcillas vermiculita, montmorillonita, illita, caolinita, hidróxidos y alófana, es en promedio de 200, 125, 100, 30, 9, 4 y 40 meq/100 g, respectivamente (7, 10). Los suelos arenosos y los suelos franco-arenosos son bajos en arcilla coloidal y generalmente en materia orgánica; por tanto, su CIC es menor que en los suelos arcillosos. Sin embargo, en algunos casos, la materia orgánica puede compensar las diferencias en la CIC con dos suelos de diferente textura.

En términos generales, un estimativo conceptual de la CIC es la siguiente (11):

Menor de 10 meq:	Baja
10 - 20 meq:	Media
Mayor de 20:	Alta

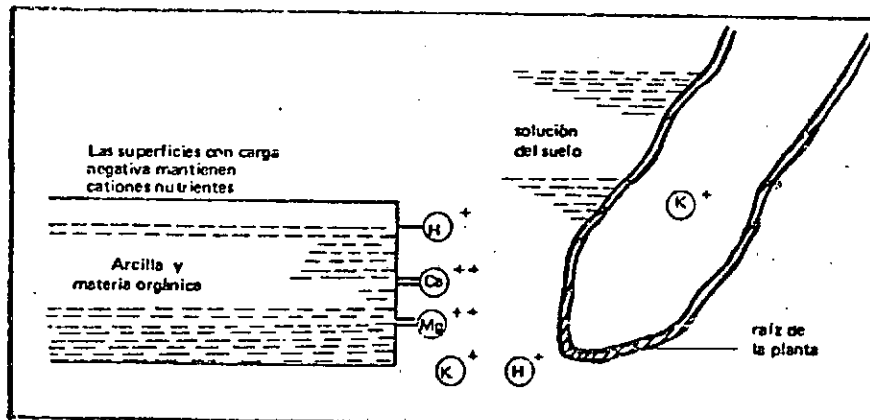


Figura 7. Representación esquemática del fenómeno de cambio en los suelos.

En Colombia, la CIC de los suelos es muy variable, aún dentro de una misma región. La CIC más alta se ha encontrado en los climas fríos donde predomina el coloide orgánico como se indica en la Tabla 7.

El pH del suelo está directamente correlacionado con el porcentaje de saturación de bases. En la Tabla 7, se observa que los suelos con un pH mayor de 6,3 tienen más de 74% de saturación de bases y los suelos con pH menor de 4,7 tienen menos del 20% de saturación.

Es difícil establecer niveles críticos para calcio en el suelo. La deficiencia del calcio depende principalmente de su porcentaje de saturación y del pH. Así por ejemplo, 4,65 meq de Ca en el suelo del Valle del Alto Magdalena se pueden considerar altos, mientras que 9 meq en el Centro Experimental Tibaitatá, se pueden considerar bajos. La explicación es muy sencilla: el pH en el suelo del Alto Magdalena es de 6,5 y en el de Tibaitatá es de 5,0. El porcentaje de saturación de bases en el suelo del Alto Magdalena es de 80,72 mientras que en el de Tibaitatá es apenas de 47,67. Además, se ha dicho que, si el porcentaje de saturación con calcio en un suelo es alto, el desplazamiento de este catión será comparativamente fácil y rápido. Esta consideración es muy importante en la práctica al sembrar leguminosas.

La CIC 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).

TABLA 7. Capacidad de intercambio catiónico, contenido de bases intercambiables y el porcentaje de saturación en varios suelos colombianos.

Localización	pH	Bases Intercambiables					Saturación de bases
		CIC	Ca	Mg	K	Na	
		meq/100 gramos de suelo					
C.E. Tibaitatá	5,0	27,00	9,00	2,30	0,76	0,81	47,67
Valle Alto Magdalena	6,5	8,30	4,65	1,52	0,48	0,05	80,72
Jamundí - Valle del Cauca	4,6	24,00	2,15	1,90	0,42	0,12	19,12
E.E. La Selva - Rionegro	5,0	55,40	2,50	0,92	0,41	0,14	7,16
C.E. Turipana - Cereté	6,7	23,90	12,25	4,00	1,10	0,37	74,14
Llanos Orientales	4,5	11,20	0,55	0,07	0,12	0,07	7,23
Meseta de Popayán	4,7	27,25	2,15	0,75	0,84	0,12	14,16
C.E. Palmira	6,3	30,60	18,06	7,94	0,52	-	88,02

5.7. CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (C.E.)

La conductividad eléctrica es un índice de la salinidad y el porcentaje de saturación de sodio es un índice de la sodicidad del suelo. En la Tabla 8 se indica la interpretación de la conductividad eléctrica en relación con el grado de salinidad del suelo.

TABLA 8. Interpretación de la conductividad eléctrica del extracto del suelo (milimhos/cm) en relación a la salinidad (1).

0 - 2	2 - 4	4 - 8	8 - 18	16
No salino	Muy ligeramen- te salino.	Moderadamen- te salino.	Fuertemen- te salino.	Muy fuerte- mente salino

Las sales afectan el crecimiento de las plantas directamente al aumentar la presión osmótica de la solución del suelo, por la acumulación de ciertos iones en concentraciones tóxicas en el tejido vegetal y alterando la nutrición mineral de las plantas (1).

Los iones principales de la solución del suelo, en los suelos con problemas de sales, son: El calcio, el magnesio, el sodio, el potasio, el cloruro, el sulfato y el bicarbonato. Otros iones como el boro y el litio pueden ser tóxicos en muy bajas concentraciones (1).

La concentración total de solutos en la solución y no su naturaleza química es la causa principal de los efectos inhibitorios de las soluciones salinas sobre el crecimiento de las plantas cultivadas.

En condiciones de salinidad, ciertos iones ejercen efecto específico que disminuye el crecimiento y los rendimientos de las plantas independientemente de los efectos osmóticos. Estos efectos específicos de los iones, pueden ser de toxicidad o de naturaleza nutricional (1).

Se considera que un efecto tóxico se debe a la presencia de un ión en la solución, que causa un daño directo a la planta. El daño está generalmente asociado con la acumulación de concentraciones perjudiciales del ión tóxico en el tejido de la planta, la cual puede no mostrar otro cambio significativo en su composición mineral (1). La toxicidad de los iones sodio y cloruro puede ser el principal factor de daño causado por las sales a cultivos tropicales especialmente sensibles.

La salinidad también puede inhibir el desarrollo de las plantas, debido a efectos sobre la nutrición de las mismas. En general, las altas concentraciones de sulfato disminuyen la absorción del calcio y promueven una mayor utilización del sodio (8). Por otra parte, las altas concentraciones de calcio pueden restringir la absorción de potasio.

Debido a que las plantas varían considerablemente en sus necesidades nutritivas y capacidad para absorber elementos nutritivos específicos, los efectos de la salinidad sobre la nutrición difieren marcadamente de una especie a otra.

5.8. LA TEXTURA DEL SUELO

Probablemente, la propiedad física del suelo más importante es la textura, con la cual la mayor parte de los agricultores están familiarizados. Así, se habla corrientemente de suelos "pesados", "suelos", "gredosos", todo lo cual corresponde a una mayor facilidad de laboreo que depende de la textura del suelo. Técnicamente, la textura es una

propiedad que se refiere a la clasificación y proporción de las partículas del suelo de acuerdo con el tamaño de ellas. En la Tabla 9, se da la clasificación de las partículas del suelo de acuerdo al tamaño.

TABLA 9. Clasificación de las partículas del suelo de acuerdo a su tamaño (3).

Nombre	Diámetro mm
Arena	2,0 a 0,05
Limas	0,05 a 0,002
Arcilla	Menos de 0,002

De acuerdo con el tamaño que predomine en el suelo, la textura recibe un nombre especial. Así por ejemplo, si domina la arena, el suelo se denomina arenoso o liviano; si domina la arcilla, se denomina arcilloso o pesado, y si hay una mezcla adecuada de las tres fracciones, se denomina franco o mediano.

Entre algunas propiedades del suelo relacionadas con la textura, se pueden citar: La facilidad de laboreo o preparación del terreno, la susceptibilidad a la erosión, la facilidad de germinación de las semillas y penetración de las raíces, el contenido y retención de nutrimentos, la retención y penetración del agua, el contenido de materia orgánica y la estructura.

Si domina la arena y los elementos gruesos, el suelo es muy poroso, excesivamente permeable, retiene poco la humedad, es "secante", tiene poca cohesión y plasticidad y pocas reservas de elementos minerales nutritivos; si por el contrario predomina la arcilla, el suelo es poco filtrante, muy retentivo de la humedad, plástico húmedo, muy cohesionado en seco y tiene elevadas reservas de elementos nutritivos.

Ambos extremos son inadecuados. La textura ideal es la denominada medio o franca, que contiene de 10 a 20 por ciento de arcilla, máximo 50 por ciento de arena y máximo 50 por ciento de limo; generalmente, son suelos que producen buenas cosechas.

Las partículas de arena, limo o arcilla, no se encuentran en el suelo en forma aislada, sino que forman agregados terrosos de diferentes tamaños y formas. La forma como se unen y ordenan estas partículas se llama estructura. En la Figura 8 se indica la forma como se pueden unir las partículas del suelo y su relación con el movimiento del agua.

6. LAS RECOMENDACIONES DE FERTILIZANTES

6.1. ASPECTOS GENERALES

El mayor problema y la mejor oportunidad del análisis del suelo yace en esta área. Idealmente, las recomendaciones de fertilizantes deben estar basadas sobre datos de correlación entre el estudio de la fertilidad del suelo y las respuestas del cultivo a la fertilización. Aún así, habrá necesidad de tomar una decisión subjetiva para cada recomendación individual, porque los agricultores emplean deficiente grado de tecnología para la producción de cosechas.

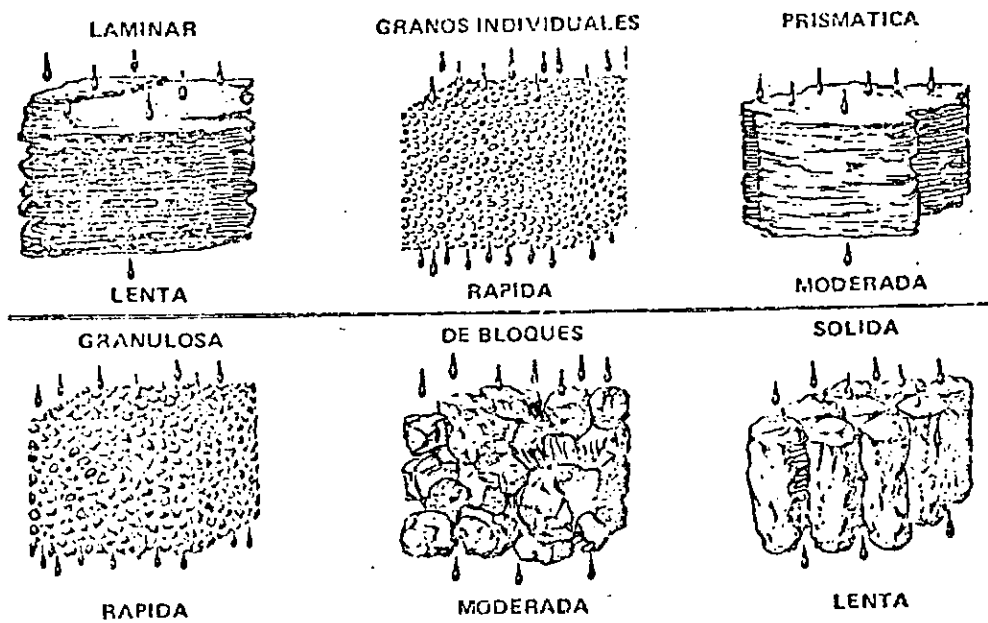


Figura 8 . El movimiento del agua en el suelo de acuerdo a la estructura.(5)

Un agricultor cuya tecnología solamente le permite producir 1.000 kilogramos de maíz por hectárea, no puede utilizar racionalmente la misma cantidad de fertilizante, como otro agricultor cuyo manejo del cultivo le permite obtener hasta 5.000 kilogramos de maíz en igual superficie.

Esta es la razón por la cual las recomendaciones de fertilizantes hechas desde un laboratorio central, lejos del lugar donde se pondrán en acción las recomendaciones, es un procedimiento muy cuestionable. Una mejor recomendación puede hacerse por alguien que viva en la misma zona del cultivo y además sea familiar con las operaciones que efectúan los agricultores para producir cosechas (16).

Lo ideal es que el asistente técnico discuta con el agricultor las propias recomendaciones de fertilizantes, basados obviamente sobre los resultados del análisis del suelo, del conocimiento de los datos de calibración ya publicados, del conocimiento íntimo y amplio de sus propios cultivos, del suelo y de sus propias capacidades.

6.2. EL ASPECTO ECONOMICO

Para determinar el nivel máximo de fertilización, las consideraciones económicas son muy importantes, especialmente el valor del incremento de la cosecha esperada en relación al costo del fertilizante. Para hacer esas evaluaciones económicas, es necesario estimar el posible rendimiento de la cosecha en particular (un mínimo del 20 por ciento por efecto de los fertilizantes) y su valor probable en términos de precios del producto para el mercado.

En Colombia es extremadamente difícil diagnosticar el precio del producto para la mayoría de los cultivos y solamente lo único que se

podría hacer es asumir promedios de rendimiento y de precios. Por lo tanto, las recomendaciones finales de fertilizantes dependen no solamente de un análisis del suelo bien calibrado, sino también sobre interpretaciones basadas en el conocimiento científico y en la experiencia tanto del asistente técnico como del agricultor.

Es necesario recalcar aquí, que las recomendaciones de fertilizantes incluyen: La dosis, la fórmula, la época y la forma de aplicación. Por todas las consideraciones anteriores, es justo reconocer que el análisis del suelo es simplemente el punto de partida para establecer el programa de fertilización de los cultivos.

La experiencia tanto del agricultor como del técnico, involucra un conocimiento sobre los factores que limitan la producción de cosechas y de los medios para controlarlas o reducirlas. En la Figura 9 se indican la serie de factores que afectan la eficiencia de la fertilización. Ciertamente, el fracaso en las cosechas no se debe atribuir únicamente a una errónea recomendación de fertilizantes.

7. RESUMEN

En esta sección se trata el análisis físico-químico del suelo como técnica para diagnosticar su fertilidad y hacer recomendaciones de fertilizantes y enmiendas. Con este enfoque se tratan los siguientes aspectos: a) La toma de la muestra del suelo; b) Los procedimientos de laboratorio; c) La calibración del análisis del suelo con respuesta de los cultivos a la fertilización; d) La interpretación del análisis, y e) Las recomendaciones de fertilizantes.

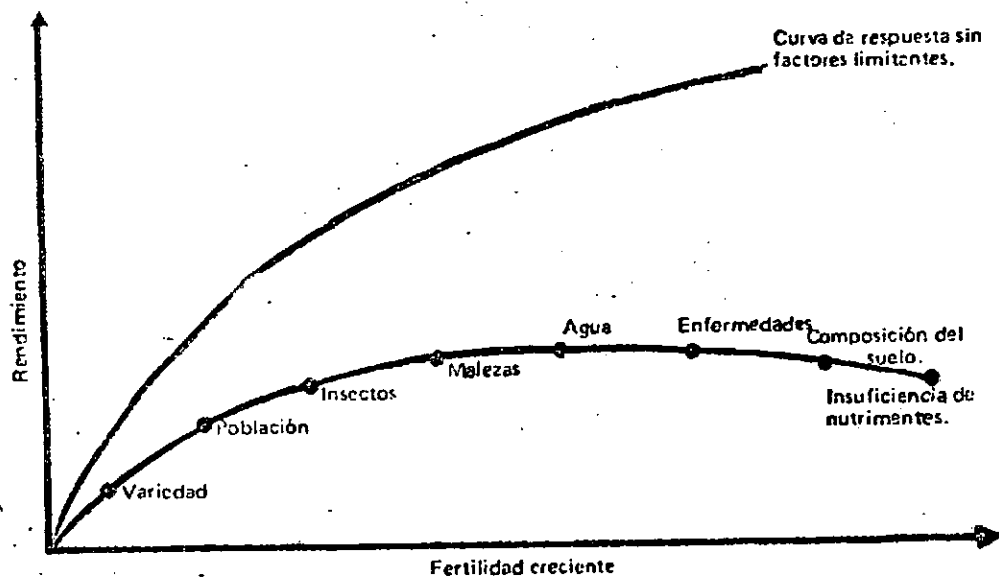


Figura 9. Factores que afectan la eficiencia de los fertilizantes.

En base a consideraciones sobre los aspectos anteriores, se reconoce que el análisis del suelo es simplemente el punto de partida para establecer un programa de fertilización de cultivos. Se recalca que tanto la experiencia del agricultor como la del técnico son muy útiles para conocer más apropiadamente los factores que limitan la producción de cosechas y por ende definir las dosis más racionales de fertilizantes, sobre todo, al considerar el valor del incremento de la cosecha esperada en relación al costo del fertilizante.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. ALLISON, L. E. La salinidad y su relación con el riego. México, Centro Regional de Ayuda Técnica. Agencia para el Desarrollo Internacional (AID), 1966. 37p.
2. BEAR, F. E. and THOTH, S. T. Influence of calcium on availability of other soils cations. Soil Sci. 65: 69-74. 1948.
3. BUCKMAN, H. and BRADY, N. C. The nature and properties of soils. New York, The MacMillan Company, 1960. 591p.
4. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Soil Reaction. p. 235 in: Soil Survey Manual U. S. Agriculture Handbook No. 18. 1951. 503p.
5. FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS. Manual del Cafetero Colombiano. Medellín, Editorial Bedout, 1969. 398p.

Biblioteca Agropecuaria
de Colombia - BAC



010100004231

3866 ~~Instituto Colombiano~~
Agropecuario.
Suelos y fertilización de
cultivos (Compendio No.
38)

1-19/7 Cecilia G. Foy G. 2887

3866

