

7. APLICACION EFICIENTE DE LOS FERTILIZANTES

Gildardo Marín Morales*

7.1. INTRODUCCION

En la aplicación de fertilizantes al suelo, además del tipo y dosis por emplear, se deben tener presentes otros factores que pueden ser decisivos para que el cultivo produzca ganancias cuando se utilizan abonos.

Los fertilizantes representan sólo una parte de los gastos totales del agricultor, pero tienen una influencia determinante sobre los rendimientos en la mayoría de los cultivos de Colombia. Sin embargo, para obtener las ganancias mayores no es necesario emplear abonados fuertes sino aplicarlos correctamente. El abono no rinde si no se utiliza adecuadamente.

Ciertamente algunos fracasos son imputables a las condiciones atmosféricas predominantes, frente a las cuales aún los agricultores más experimentados son vulnerables; pero muy a menudo también el fracaso se debe al propio agricultor, porque emplea mal los abonos.

Este capítulo pretende sentar algunas bases para utilizar mejor los fertilizantes aplicados al suelo, con el propósito de producir cosechas abundantes y rentables y para ello se tratarán brevemente y en orden los siguientes aspectos:

* Ingeniero Agrónomo M.S. Programa de Suelos. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Tibaitatá. Apartado Aéreo 151123 Bogotá, D.E.

(1) el sistema radical de las plantas; (2) la localización de los fertilizantes en el suelo y (3) la época de aplicación.

7.2. EL SISTEMA RADICAL DE LAS PLANTAS

Para desarrollar las prácticas de colocación de fertilizantes es muy útil el conocimiento de los hábitos de crecimiento de las raíces, ya que éstas son los órganos principales a través de los cuales las plantas toman del suelo los nutrientes que les son indispensables.

Salisbury y Parke (27) dividieron los sistemas radicales de las plantas en dos categorías: (1) el sistema radical axonomorfo y (2) el sistema radical fibroso. El primero es común en plantas dicotiledóneas y consiste de una sola raíz principal grande, comúnmente orientada en sentido vertical, con pequeñas raíces laterales. El segundo sistema es común en plantas monocotiledóneas y consiste de numerosas raíces individuales, casi todas iguales en longitud y diámetro, que forman un conglomerado vertical y horizontal.

En plantas con raíces axonomorfas, la raíz primaria comúnmente crece y forma la raíz principal, como en el caso de la planta de cacao (Theobroma cacao L.) que se ilustra en la Figura 7.1. En las plantas radicales fibrosas, por lo común, la raíz primaria es de vida corta y las raíces que forman todo el sistema se originan del tallo, como en el caso de la planta de maíz (Figura 7.2.).

Las raíces axonomorfas pueden ser bastante carnosas y funcionan como órganos

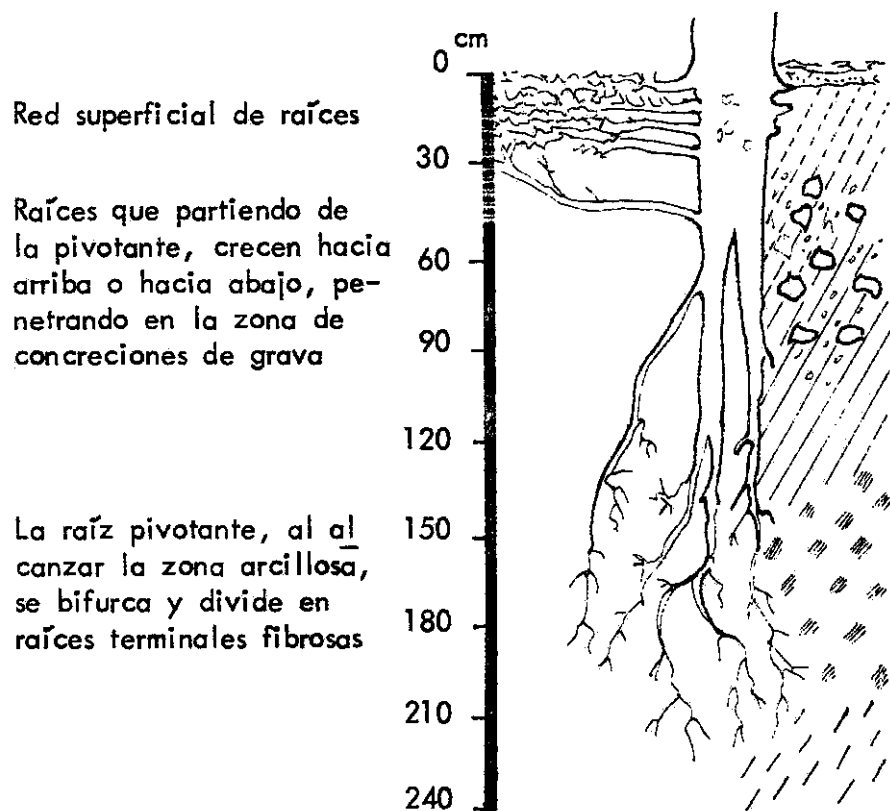


FIGURA 7.1. Sistema radical de plantas de cacao. Tomada de Jacob (10).

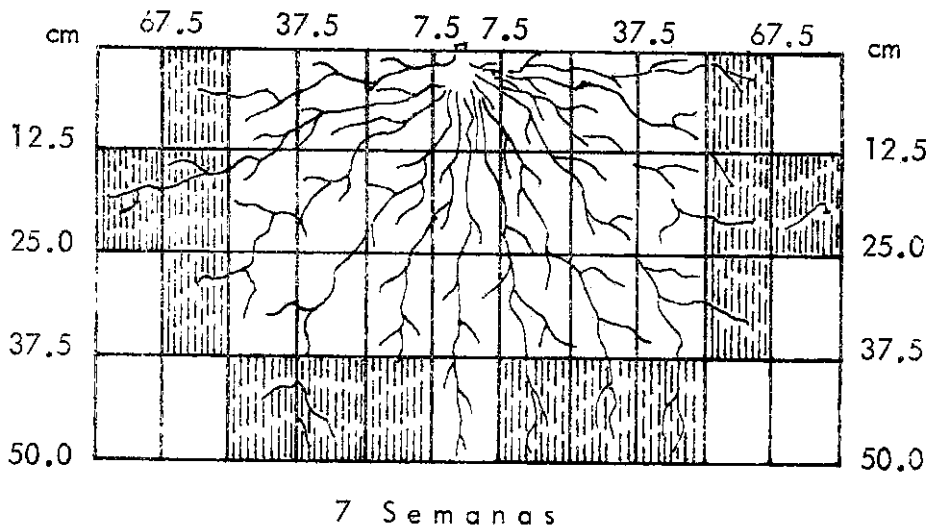
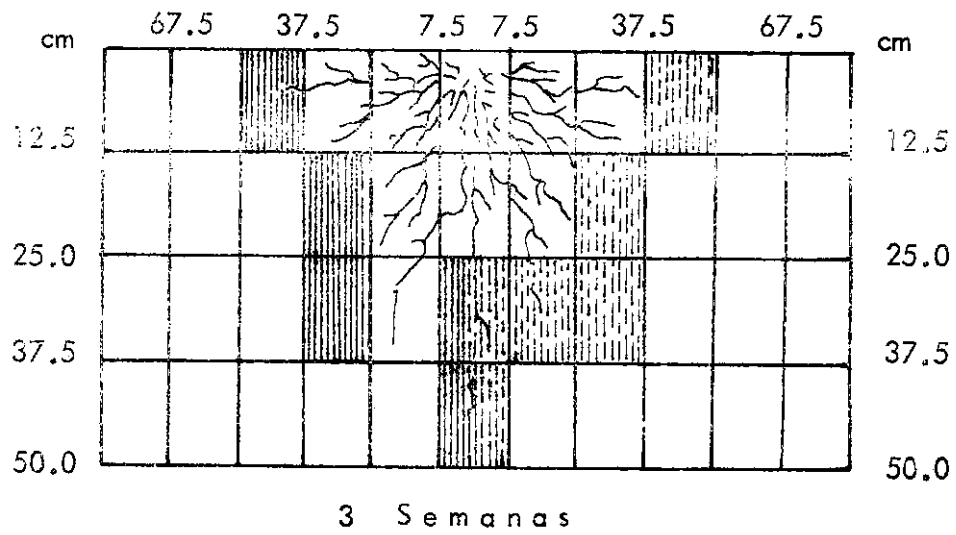


FIGURA 7.2. Desarrollo del sistema radical de plantas de maíz (*Zea mays* L.) a las tres y a las siete semanas después de la siembra.

importantes en el almacenamiento de alimentos, como es el caso de la zanahoria (Daucus carota L.) y del nabo (Brassica napus L.).

El crecimiento y apariencia del sistema radical de las plantas varía considerablemente de una especie a otra y aún dentro de especies, dependiendo del ambiente (22). Por ejemplo, la papa (Solanum tuberosum L.) tiene un sistema radical mucho menos extenso que el maíz (Zea mays L.), motivo por el cual utiliza los fertilizantes más eficientemente si éstos se colocan cerca de la semilla. El algodón (Gossypium spp) y el tabaco (Nicotina tabacum L.), en las dos primeras semanas de su período vegetativo, poseen un sistema radical muy poco extenso, por lo cual se recomienda colocar los fertilizantes debajo de la semilla.

Los cereales de grano o cereales menores como el trigo (Triticum sativum L.), la cebada (Hordeum vulgare L.), la avena (Avena sativa L.) y el centeno (Secale cereale L.) tienen un sistema radical relativamente extenso si se compara con el del maíz. Por esta razón responden a pequeñas cantidades de fertilizantes fosfóricos colocados cerca de la semilla, aún en suelos con contenido relativamente alto de este elemento.

En el café (Coffe arabica L.) y el cacao (Theobroma cacao, L.), que son plantas dicotiledóneas, existe además de las raíces primarias y secundarias un finísimo sistema radical superficial que alcanza su máximo desarrollo en un suelo con espesa cobertura orgánica vegetal. Este sistema tiene la función de ab-

sorber elementos nutritivos del horizonte A. Se puede decir que mas del 70% en peso de las raíces del cafeto está situado en los primeros 35 centímetros del suelo. La distribución horizontal de las raíces en árboles adultos es tal que a menos de 40 centímetros del tronco no hay raicillas, hecho que se debe tener en cuenta al abonar (15, 23, 24, 21).

En palma africana (Elaeis guineensis, L.) y algunos árboles frutales, la mayor parte del sistema radical activo se encuentra localizado en un estrato de suelo de 0 a 40 centímetros de profundidad. En estas plantas, a medida que la raíz explora nuevas zonas hacia abajo y a los lados, la región absorbente también crece y va aprovechando terreno nuevo para sacar alimento (20). Si el subsuelo es más fértil que la capa arable puede que el cultivo no responda a la aplicación de fertilizante.

7.3. LOCALIZACION DE LOS FERTILIZANTES EN EL SUELO

En cualquier programa de fertilización se debe considerar que los nutrimentos van a alimentar a la planta y no al suelo. Por lo tanto, los fertilizantes se deben colocar donde mejor puedan ser utilizados por las plantas. Las formas de aplicación dependerán a la vez de la movilidad del abono en el suelo, de la disposición del sistema radical y de la naturaleza del abono utilizado (5). En términos generales, para cultivos de sistema radical poco extenso se aconseja que el fertilizante se coloque lo más cerca posible a la semilla, dentro de los límites permisibles, pero evitando que un índice salino muy alto afecte

la absorción de nutrimentos por las plantas.

El índice salino se define (25) como el grado de aumento en la presión osmótica de la solución del suelo debida al fertilizante, comparado con la presión osmótica producida por una cantidad equivalente de NaNO_3 (= 100). Con un incremento de la presión osmótica en la solución del suelo, la capacidad de las plantas para absorber agua se reduce, hay depresión en la tasa de crecimiento y en el rendimiento, y en casos extremos las plantas se marchitan y mueren. Mientras más bajo sea el índice salino de los fertilizantes, menos peligro existe de quemazón de la raíz y daño a las semillas o plantas jóvenes. El índice salino del KNO_3 es más bajo (25), especialmente cuando el material se relaciona con el mínimo de unidades del nutrimento en el fertilizante, que el del sulfato de amonio, la urea, el cloruro de potasio, el nitrato de amonio, el nitrato de calcio y el nitrato chileno. El índice salino tiene particular importancia en un período muy breve inmediatamente después de la aplicación del fertilizante.

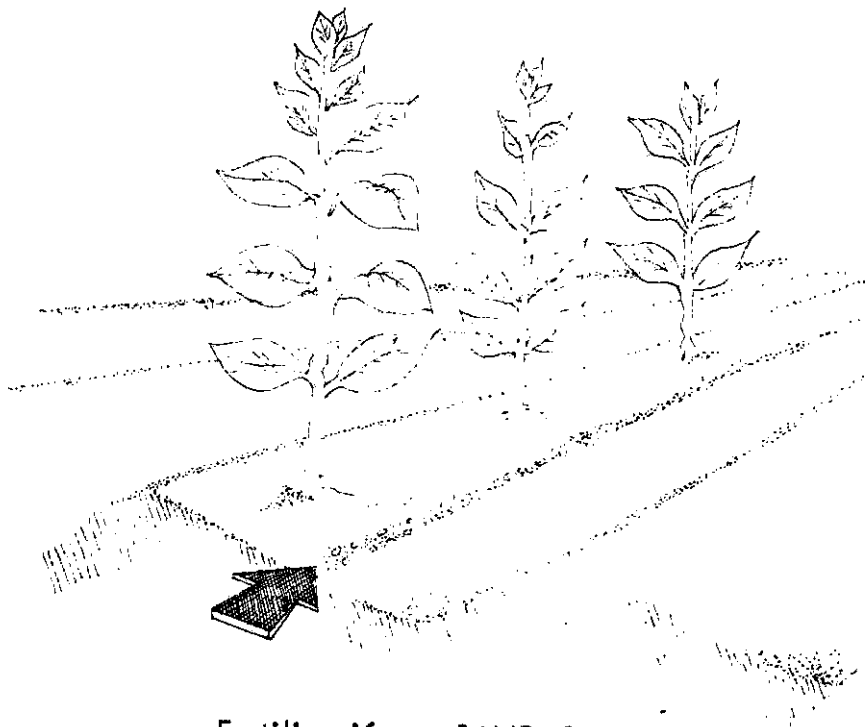
Los métodos más comunes de localizar los fertilizantes sólidos en el suelo son los siguientes: (1) aplicación al voleo; (2) aplicación en banda; (3) aplicación en el fondo del surco; (4) aplicación en corona y (5) aplicación en hoyos. (Figuras 7.3 y 7.4).

7.3.1. Aplicación al Voleo.

Este método consiste en aplicar el fertilizante uniformemente sobre la superfi-



Fertilización al VOLEO

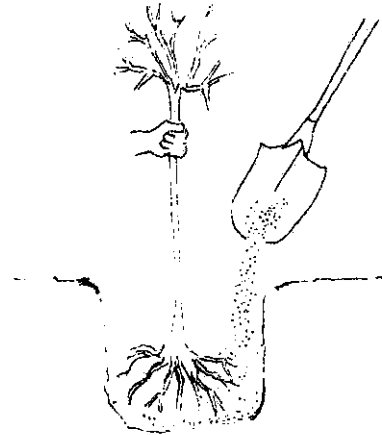


Fertilización en BANDAS

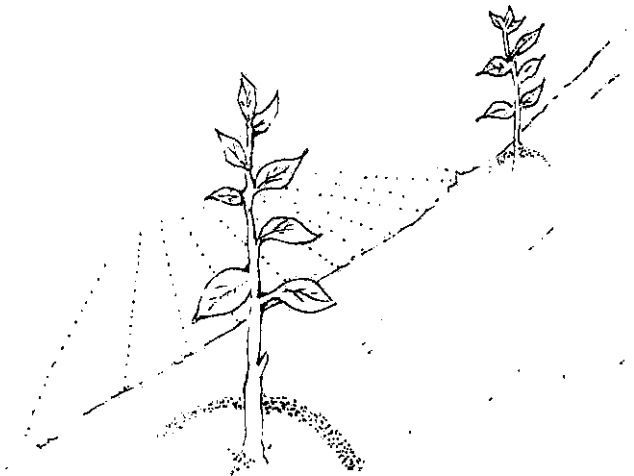
FIGURA 7.3. Aplicación de fertilizantes al voleo y en bandas.



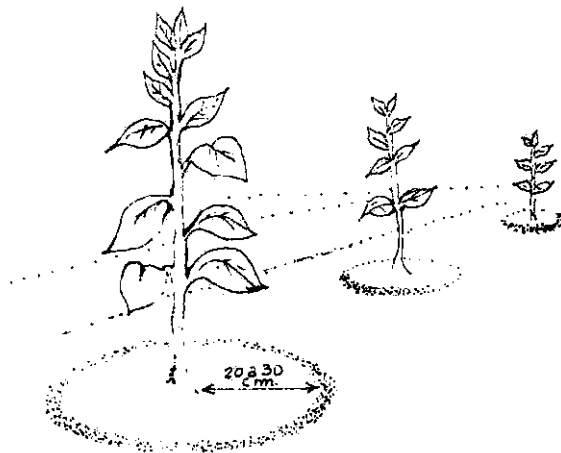
Fertilización en SURCO



Fertilización en HOYOS



Fertilización en SEMI-CORONA



Fertilización en CORONA

FIGURA 7.4. Cuatro sistemas de localización de los fertilizantes en el suelo.

cie del suelo antes de sembrar. Algunas veces se incorpora con discos, aunque es preferible hacerlo con arado (26). Generalmente se puede aplicar a mano o con una máquina esparcidora.

La aplicación al voleo se recomienda de acuerdo con el cultivo, el tipo de suelo y las condiciones climáticas. Para praderas ya establecidas, o en el momento de su siembra, se aconseja la aplicación de fertilizantes al voleo. Lotero y colaboradores (5), en un ensayo localizado en el Centro Nacional de Investigaciones Agrícolas "Tulio Ospina", no encontraron diferencia en la aplicación de nitrógeno en pasto elefante (Pennisetum purpureum S.) ya fuera al voleo, en banda o en corona. En cambio para cultivos en surco como maíz, papa, hortalizas, etc. no es recomendable este método de aplicación, porque los fertilizantes estimulan el desarrollo de malezas entre los surcos.

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

El fósforo es un elemento de muy poca movilidad en el suelo y, por tanto, debe colocarse en la zona de desarrollo radical. Las aplicaciones superficiales después de la siembra son de poco valor para cultivos en hileras o surcos.

Sin embargo, este sistema puede dar buenos resultados en la fertilización de cosechas forrajeras. La aplicación al voleo en potreros ya establecidos es posible porque parte del fósforo puede ser absorbido por las coronas de las plantas, así como por las raíces superficiales. Pero en ciertos casos, en especial de acuerdo con la fuente, puede presentarse fitotoxicidad (16).

Howeler (9) en ensayos con arroz en materas utilizando un suelo extremadamente ácido en Carimagua (Oxisol de los Llanos Orientales) concluyó que es mejor aplicar el superfosfato triple y las escorias Thomas al voleo que incorporados. La aplicación al voleo dió mejores rendimientos de grano y niveles más altos de P en la planta. Aparentemente el suelo era tan bajo en P que al incorporarlo se diluyó la cantidad aplicada, tanto que el arroz sufrió inicialmente deficiencia de P y no se recuperó en el curso del ciclo. Tal vez en ese suelo la reducción es tan lenta que el P incorporado es fijado por óxidos e hidróxidos de Fe y Al antes de que el suelo se reduzca suficientemente como para liberarlo.

Para programas a largo plazo lo aconsejable sería subir el nivel de fósforo hasta un nivel medio con aplicaciones al voleo utilizando fuentes de baja solubilidad en agua, como escorias Thomas y roca fosfórica finamente molidas, y aplicando en banda el resto del fósforo requerido usando una fuente más soluble como superfosfato simple o triple (9).

7.3.2. Aplicación en Banda.

Este método consiste en aplicar el fertilizante a uno o ambos lados de la semilla o de la planta. Un equipo puede colocar el fertilizante en banda a una distancia de 5 a 8 cm de la semilla de la misma. Generalmente este sistema estimula el crecimiento temprano de la planta lo cual da por resultado la formación de un gran número de hojas vigorosas; esto influirá más tarde en una buena cosecha. En el caso de aplicación de soluciones nitrogenadas debe colocarse el abono por lo menos a 15 cm de la semilla para no causarle daño, por quemadura o por inhibición de la germinación.

Por otra parte, el amoníaco anhidro debe colocarse de 10 a 15 cm de profundidad para evitar pérdidas por volatilización y además para evitar daños al forraje de la planta cuando la aplicación al cultivo se haga en surcos ya establecidos (28).

La fijación y la inaprovechabilidad del P por las plantas se han considerado como los factores primarios relacionados con la baja recuperación del P aplicado al suelo. Los beneficios obtenidos por las aplicaciones en banda comparados con los resultantes de aplicaciones al voleo de los fertilizantes fosfóricos han sido atribuidos a la reducción en la fijación, la cual resulta del menor contacto entre el suelo y el fertilizante, de la mayor accesibilidad del P aplicado a las raíces de las plantas o de la combinación de estos y otros factores. La colocación del fertilizante en banda tiende a reducir el contac

to con el suelo, lo cual disminuye la fijación de P. Sin embargo, en suelos bajos en fósforo es generalmente difícil obtener altos rendimientos cuando se hacen sólo aplicaciones en banda (28).

Es preciso, sobre todo, que el abono sea el adecuado a la naturaleza del suelo y pueda cubrir las necesidades instantáneas de la planta cuando las reservas del suelo no puedan hacerlo en los períodos deseados. Las discusiones que mantienen los especialistas acerca del lugar que han de ocupar los abonos solubles en agua, en la fertilización fosfatada, demuestran que el problema no es fácil de resolver.

De acuerdo a Gros (5) en los casos extremos no deben existir dudas. Por una parte, en los suelos extremadamente ácidos o muy ácidos, el abonado fosfatado de fondo puede realizarse empleando abonos insolubles, incluso ciertas rocas fosfóricas en determinados cultivos, lo cual no excluye la aportación de una cantidad de P_2O_5 soluble con el objeto de facilitar el comienzo de la vegetación. Por la otra, en las tierras ricas en calcio se pueden utilizar los abonos solubles, pues su eficacia es normal. No obstante, entre estos dos casos se encuentra un gran número de suelos neutros, próximos a la neutralidad o ligeramente ácidos, en los cuales el agricultor podrá recurrir simultáneamente a los diferentes tipos de abonos fosfatados.

El empleo de los abonos fosfatados solubles e insolubles dependerá del pH del suelo, de sus reservas en P_2O_5 , de la urgencia de las necesidades que se tra-

te de satisfacer, y de los requerimientos de la planta o tasa de absorción.

El potasio es mucho menos móvil en el suelo que el nitrógeno, pero más móvil que el fósforo. Bajo condiciones de intensa y prolongada lluvia se pueden presentar pérdidas por lixiviación, especialmente en suelos con alto contenido de arena, si la fracción de arcilla predominante es del tipo 1:1. En estos casos es aconsejable fraccionar el fertilizante potásico. En general, no conviene colocar el fertilizante en contacto con la semilla. Por ejemplo, en tabaco, al momento del trasplante, el fertilizante potásico debe aplicarse en bandas de 8 a 10 cm en cada lado y ligeramente por debajo de las raíces (16).

Para cultivos sembrados en surcos como el algodón, el maíz, la soya, el frijol, etc. el fertilizante debe colocarse en una banda continua a uno o ambos lados de la semilla a una distancia de 8 cm y a una profundidad aproximada de 5 cm debajo de ella.

Welch y colaboradores (29) al comparar la aplicación de potasio en maíz localizado en bandas y al voleo encontraron una eficiencia relativa del segundo método de 0.33 a 0.88, y menor requerimiento de fertilizantes potásicos cuando éstos se aplicaron en banda.

El mejor método es en banda al lado y debajo de la semilla. El hecho de

enterrar las sales de potasio tan pronto como sea posible no tiene más que ventajas, sobre todo, cuando las dosis que se utilizan son grandes, pues el riesgo de desperdicio de potasio es mínimo y además es necesario que sus transformaciones se realicen oportunamente en el suelo.

El agricultor debe elegir el abonado potásico en función de consideraciones diversas, tales como las exigencias fundamentales del cultivo de que se trate, la riqueza inicial del suelo en potasio de cambio, las eventuales aplicaciones de abono orgánico, etc. La papa, la yuca, la caña panelera, la vid y las oleaginosas son cultivos muy exigentes en potasio debido al efecto de este elemento en la formación de féculas, azúcar y aceite. Las mezclas de gramíneas y leguminosas también necesitan mucho potasio porque el potasio favorece a las leguminosas a expensas de las gramíneas de una pradera dada.

En la elección de los abonos potásicos la cuestión de la solubilidad no desempeña un papel determinante, como en los abonos fosfatados y es, sobre todo, la presencia o ausencia de cloro (Cl) ligado al potasio lo que orienta la elección por parte del usuario. Para el tabaco se impone el empleo de sulfato de potasio, con el fin de evitar el efecto desfavorable de los cloruros sobre la combustibilidad de las hojas.

7.3.3. Aplicación en el Fondo del Surco.

La aplicación del fertilizante en el fondo del surco cubre gran número de métodos. El fertilizante puede colocarse a máquina junto con la semilla en el

surco, como en el caso de cereales de grano pequeño. Cuando la dosis de fertilizante es alta, no es recomendable este método debido al daño causado a la semilla. Otro sistema consiste en colocar el abono en el fondo del surco, taparlo con tierra y luego colocar la semilla encima. En esta forma se evita el daño del fertilizante por contacto directo.

Crowder y colaboradores (2) llevaron a cabo dos experimentos en un suelo de la serie Tibaitatá (Sabana de Bogotá) con el fin de comparar el efecto de tres métodos de aplicación de fertilizantes en la producción de heno de alfalfa: en el fondo del surco, al voleo y en bandas al lado de las semillas. La apli- cación de fertilizantes en el fondo del surco, bien sea mezclados o sin mez - clarse con el suelo o cubiertos antes de la siembra, fue más efectiva que la aplicación al voleo o en bandas; sin embargo, el efecto de la colocación del fertilizante fue transitorio. La influencia solamente ocurrió en los tres prime - ros cortes después de la siembra pero cuando el sistema radical de la planta se aumentó, la localización del fertilizante no afectó la producción de alfalfa.

El método de aplicación del fertilizante en el fondo del surco es muy emplea - do cuando se siembra caña de azúcar en chorrillo, por surcos. El fertiizante se coloca en el fondo del surco, luego se tapa con un poco de tierra y enci - ma se coloca la semilla de la caña de azúcar.

7.3.4. Aplicación en Corona.

En este sistema el fertilizante se localiza en forma de corona alrededor del tallo a una distancia de 20 ó 30 cm y se cubre con un poco de suelo a manera de aporque. Este método es muy utilizado en cultivos perennes como café, árboles frutales, cacao y especies forestales. En ladera se acostumbra aplicarlo en semicorona en la parte superior, para evitar el lavado.

Machado (15) recomienda aplicar los abonos al cafeto en forma de corona a 30 cm del tronco, cubierto con hojas o con residuos vegetales con el objeto de evitar el arrastre por el agua. En el cultivo de la papa se acostumbra mucho aplicar el fertilizante en corona al momento de la siembra.

7.3.5. Aplicación del Fertilizante en Hoyos.

Este tipo de abonamiento se utiliza en áreas de vertientes en cultivos de café, plátano y frutales. El fertilizante se coloca en el hoyo donde se va a transplantar la planta y se mezcla con el suelo para evitar daños en la plántula.

7.4. EPOCA DE APLICACION DE LOS FERTILIZANTES

El efecto total de una fertilización no sólo depende de su correcta aplicación y de su dosificación adecuada sino también del suministro en el momento oportuno. Esto último es de particular importancia para los suelos con bajo contenido de nutrimentos, así como para aquellos cultivos cuya necesidad nutricional

está limitada a un determinado período de tiempo. Sin embargo, es imposible determinar una regla general al respecto, debido al hecho de que los distintos nutrimentos no son requeridos por la planta a un mismo tiempo.

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

El clima es muy importante en cualquier consideración sobre aplicación de fertilizantes. La cantidad de lluvias entre la época de aplicación y el tiempo de utilización de los nutrimentos por las plantas afecta la eficiencia del fertilizante. La temperatura afecta la disponibilidad de ciertos elementos, principalmente en relación con su liberación de la materia orgánica; también afecta los procesos microbiológicos, los cuales están íntimamente relacionados con la disponibilidad y absorción de nutrimentos.

La naturaleza del cultivo mismo determina la necesidad de aplicaciones fraccionadas de fertilizante. En pastos permanentes es preferible hacer varias aplicaciones de nitrógeno durante el año. Por otra parte, en plantas de rápido crecimiento como la mayoría de las hortalizas, una sola aplicación en el momento de la siembra es adecuada. En el caso del arroz se pueden ha-

cer sobreabonamientos en cualquier época antes del período de máximo crecimiento, o sea, el espigamiento.

7.4.1. Fertilizantes Nitrogenados.

En el caso particular de los fertilizantes nitrogenados hay que admitir que plantean al agricultor problemas más difíciles, ya que el nitrógeno (N) mineral es muy móvil en el suelo y por lo tanto, no se puede almacenar por un período largo sin arriesgarse a verlo desaparecer por lixiviación, sobre todo, si se utilizan las fuentes nítricas.

Su movilidad y su demanda en tiempo oportuno justifican que el nitrógeno se aplique a cada cultivo según sus necesidades; y aquí precisamente radican las dificultades, ya que para realizar un abonado verdaderamente racional se rá preciso conocer aproximadamente lo que el suelo suministrará a partir de sus reservas y aportar la diferencia en forma de abonos nitrogenados.

La economía del nitrógeno en el suelo está regida por múltiples acciones microbianas, sometidas a las condiciones del suelo y a los azares del clima que frecuentemente actúan en sentidos opuestos. Sin embargo, si el suelo suministra demasiado nitrógeno o lo libera demasiado tarde podrán presentarse accidentes terribles, como el volcamiento en los cereales y el retraso de la maduración, que se atribuirán injustamente a 20 ó 30 unidades de N aportadas en exceso, en forma de abonos.

En contraste con el fósforo, el N, principalmente bajo la forma de nitratos, es móvil en el suelo en forma vertical u horizontal. Por otra parte, el amonio puede ser retenido por los coloides orgánicos y minerales, con lo cual se reduce notablemente la lixiviación. Es conveniente aplicar el N en forma fraccionada de acuerdo con el clima y con las necesidades específicas del cultivo vegetativo, para evitar pérdidas por lixiviación y para mantener un buen nivel de este elemento en la planta (17).

El clima y el tipo de suelo tienen influencia en la época de aplicación. La cantidad y la distribución de la lluvia son muy importantes, desde el punto de vista de pérdidas por lixiviación. La temperatura es también importante ya que cuanto más elevada sea ésta, más rápida es la nitrificación de los fertilizantes amoniacales y orgánicos y por tanto las pérdidas por lixiviación pueden aumentar.

En suelos arenosos, con un horizonte B permeable, al aplicar fraccionadamente nitrógeno al maíz, se han obtenido los mayores rendimientos cuando la máxima dosis se aplica en la época en que la planta alcanza una altura aproximada del alto de la rodilla. En suelos con un horizonte B más pesado la aplicación al momento o después de la siembra puede ser igualmente efectiva. Sin embargo, el factor lluvia es importante. Colmenares y Millán (1) en experimentos realizados en un suelo franco-arcilloso de la serie Palmira no encontraron diferencias significativas en rendimientos de maíz cuando se aplicó nitrato de amonio en forma fraccionada a los 20 y 40 días después de la siembra, en comparación con la aplicación total a los 20 días de la siembra.

No obstante, los rendimientos de la aplicación fraccionada se aumentaron apreciablemente cuando la lluvia en los primeros 30 días a partir de la siembra fue de 280 mm, lo cual se debe posiblemente a que la planta utilizó el nitrógeno en las épocas de aplicación y a que la segunda aplicación fue eficientemente utilizada, pues no hubo efecto de lixiviación.

En términos generales, el problema principal consiste en lograr un sincronismo entre la liberación de nitrógeno del suelo y las necesidades de la planta, sin el cual el objetivo no se alcanza más que parcialmente. Lo que interesa es aportar una dosis de nitrógeno suficiente en la época en que más convenga y situar el abono en condiciones que aseguren su máxima eficacia. Las estaciones experimentales tienen bastante información sobre las dosis que se deben aplicar, lo mismo que sobre la época más apropiada para cada cultivo. Los datos de las tablas 7.1 y 7.2 y de la Figura 7.5 son algunos de estos ejemplos; no obstante, la experiencia de los agrónomos y de los agricultores también es muy importante en este caso.

En el cultivo de arroz, por ejemplo, las aplicaciones de fertilizantes nitrogenados tienen que ser hechas a tiempo para ayudar en el macollamiento y en la formación de las panículas pues el número de macollas está relacionado con el número de panículas y el número de granos por panícula está determinado por el estado de nutrición de las plantas cuando éstas están comenzando a formarse (3). El tiempo óptimo para el macollamiento y formación de la panícula en arroz se presenta en la Tabla 7.3.

TABLA 7.1. Respuesta del sorgo a diferentes épocas de aplicación de N en un suelo franco-arenoso de la serie Chicoral en el Tolima. Tomada de Gutiérrez (6).

Tiempo de aplicación *	Rendimiento Kg/Ha
Siembra (S)	5.100
1/2 S + 1/2 (25)**	5.820
1/3 S + 1/3 (25) + 1/3***	5.490

* Se aplicó úrea en cantidad equivalente a 50 Kg/Ha de N.

** S = Al momento de la siembra. Entre paréntesis días después de la siembra.

*** Aplicación al iniciar el embuchamiento de las plantas o inicio de la floración de la panoja.

TABLA 7.2. Respuesta del ajonjolí a diferentes épocas de aplicación de N en un suelo del Centro Experimental Nataima. Tomada de Gutiérrez (7).

Tiempo de aplicación*	Rendimiento Kg/ha
Siembra	880
1/2 siembra + 1/2 raleada	1.140
1 3/4 siembra + 2/3 raleada	1.090
1/4 siembra + 3/4 raleada	1.140
Raleada	1.140

* Se aplicó úrea en cantidad equivalente a 25 Kg/Ha de N.

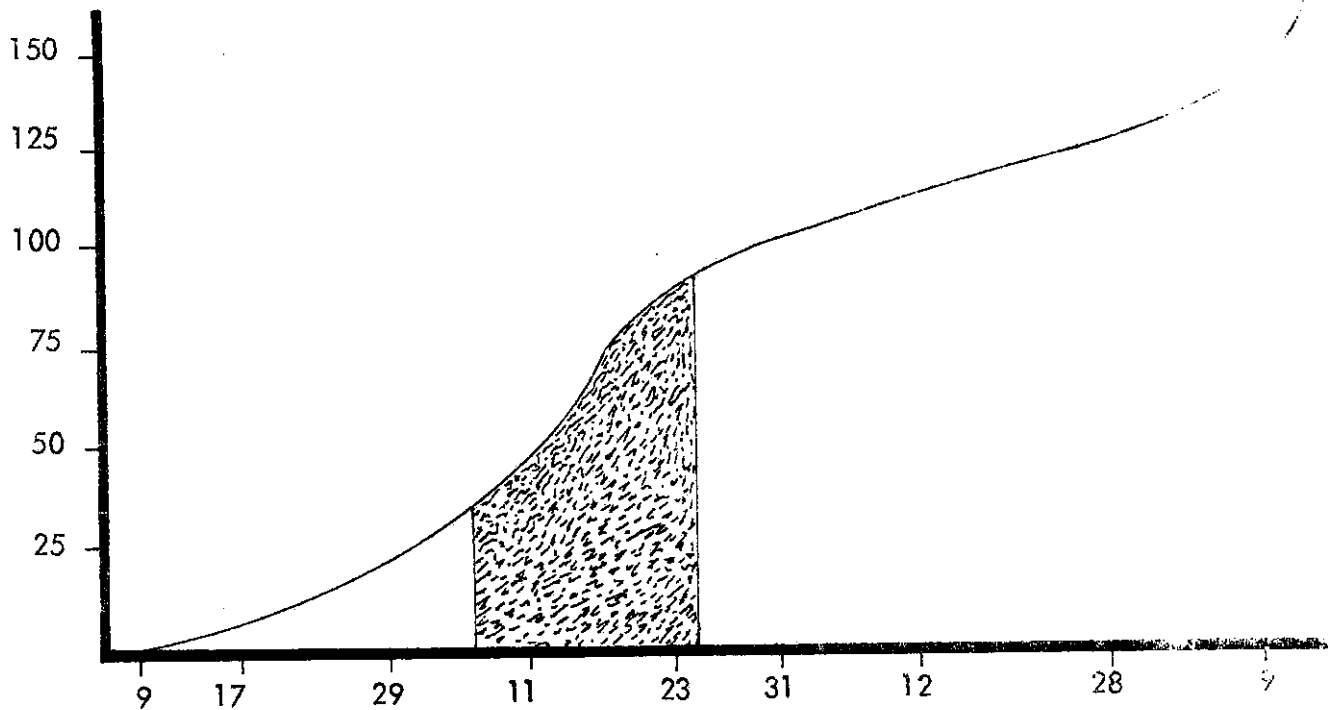


FIGURA 7.5. Absorción de N por el maíz durante varias semanas de su período vegetativo.

TABLA 7.3. Tiempo de macollamiento y formación de la panícula en el cultivo de arroz. Tomado de Cheaney (3).

Ciclo de maduración (días)	Tiempo óptimo para el macollamiento	Tiempo óptimo para la formación de panículas
120	25 - 30	50 - 60
140	25 - 30	70 - 80
160	25 - 30	90 - 100

La aplicación de fertilizantes nitrogenados en forma fraccionada en cultivos de arroz bajo riego ha merecido primordial atención en la experimentación

llevada a cabo por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), el Centro Internacional de Agricultura Tropical y la Federación Nacional de Arroceros. En general se recomienda dividir la aplicación de N así: una cuarta parte entre 25 y 30 días después de la siembra para promover el macollamiento; la mitad al iniciarse el embuchamiento; la otra parte al iniciarse la floración.

Las numerosas investigaciones realizadas por el Programa de Pastos y Forrajes del ICA, indican que la mejor época de aplicar el N a los pastos es después de cada corte (12). No obstante, una recomendación más económica es aplicar N cada 6 meses, dos a tres semanas antes de finalizar el período de lluvias, o más frecuentemente de acuerdo con las necesidades de forraje y dependiendo de si cuenta o no con riego. Para pastos de corte, como el elefante, en climas cálidos y en explotaciones intensivas se pueden aplicar 50 Kg/Ha de N después de cada corte si hay suficiente humedad. En pastos mezclados con leguminosas pueden suprimirse las aplicaciones de N si el porcentaje de leguminosas es mayor del 30%, siempre y cuando haya una nodulación eficiente.

7.4.2. Fertilizantes Fosfóricos.

Debido a que el P es relativamente inmóvil en el suelo, la cantidad total necesaria para la planta puede aplicarse al tiempo de la siembra sin temor a pérdidas por lixiviación. Principalmente para cultivos anuales y de rápido crecimiento se debe considerar el contenido de P disponible en el suelo y la capa

idad de fijación del mismo, para escoger los niveles de abono fosfóricos que se deben aplicar.

Se ha considerado de interés, por agrónomos e igualmente por agricultores progresistas, aplicar el fertilizante fosfórico varios meses antes de la siembra. Hay varias razones para ello, la mayoría basadas en consideraciones económicas.

La cantidad limitada de trabajos sobre este problema indica variaciones considerables en la reducción de la aprovechabilidad del fertilizante fosfórico, aplicado varios meses antes de la siembra. Hay numerosos factores que influyen en la relación entre el tiempo de aplicación y la actividad del fertilizante aplicado, pero el más importante es indudablemente la capacidad de fijación de P del suelo (18, 19).

En algunos suelos ácidos el encalamiento es de vital importancia para reducir la fijación de P. Otro factor importante es la dosis de aplicación. Si la dosis de aplicación excede la requerida para el máximo uso de la cosecha no habrá aparentemente diferencia en la efectividad, si el P es aplicado meses antes o al momento de la siembra. En tal caso es necesario evaluar los efectos en cosechas subsiguientes. Kamprath (11) en un trabajo sobre efecto residual de aplicaciones altas de P en un suelo fijador de este elemento encontró rendimientos satisfactorios en maíz hasta 7 y 9 años después de haberse aplicado el fertilizante. Esto indica que el P añadido al suelo no es perdido

irreversiblemente sino por el contrario es aprovechable para las plantas en los años subsiguientes.

Existen también efectos de la colocación del fertilizante sobre la pérdida de efectividad durante los primeros meses después de que se hacen las aplicaciones. Así, la colocación en banda puede dar por resultado un mayor efecto residual que la mezcla del fertilizante con el suelo.

Otra consideración importante es la solubilidad de los fertilizantes fosfóricos. En plantas de rápido crecimiento como las hortalizas y otros cultivos anuales es necesario aplicar fertilizantes altamente solubles al momento de la siembra. En cambio en cultivos perennes como los frutales y el café, un abonamiento con fósforo cada 6 o más años puede ser suficiente si se usan materiales pulverizantes de lenta descomposición tales como escorias Thomas, rocas fosfóricas, harinas de hueso, etc. (22).

7.4.3. Fertilizantes Potásicos.

Comúnmente el K se aplica en el momento de la siembra junto con el P y una parte de N pues el K no es tan lixiviado como el N, debido a que ciertas arcillas pueden fijarlo; sin embargo, para suelos arenosos o para suelos livianos que poseen arcillas de tipo 1:1 principalmente, el problema de lixiviación es grave en zonas de prolongada e intensa lluviosidad. En estos casos es aconsejable fraccionar la cantidad total de fertilizante potásico requerida.

7.5. LA FERTILIZACION FOLIAR

La capacidad que tiene la parte aérea de la planta de absorber materiales aplicados en la forma de aspersiones constituye el fundamento de la aplicación foliar de fertilizantes y determina la efectividad de muchas otras prácticas agrícolas que involucran la aplicación de aspersiones de soluciones o suspensiones, así como el espolvoreo de sólidos finamente divididos (14).

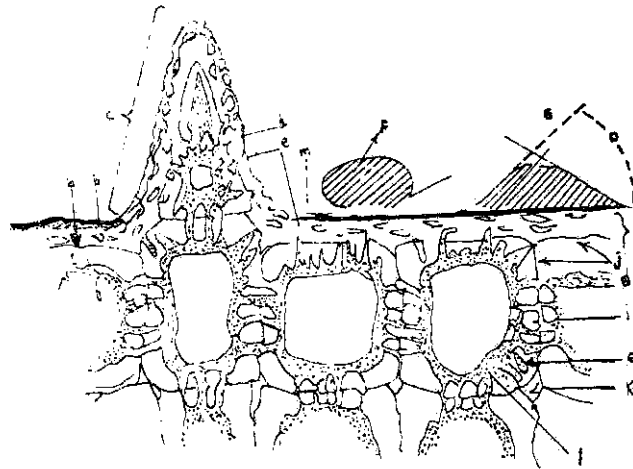
7.5.1. Absorción Foliar de Sustancias Nutritivas.

En la aplicación de sustancias por vía foliar se deben considerar dos procesos relacionados con la absorción: la penetración y la translocación. En general la ruta seguida por las sustancias que penetran desde la superficie de las hojas hasta los protoplastos de las células de la epidermis se efectúa a través de tres sitios: la cutícula, la pared celular y la membrana protoplasmática (Figura 7.6). La cutícula está presente en la superficie de las células del mesófilo y está constituida principalmente por ácidos grasos polimerizados, ésteres y jabones (13).

La pared celular está constituida por una capa externa de pectina y una interna de fibras celulósicas embebidas en pectina y otros polisacáridos no celulósicos. La difusión, un proceso físico, es el mecanismo de penetración a través de la pared celular (4).

La última barrera es la membrana protoplasmática, que, como las otras mem-

branas de la célula vegetal, está compuesta de una capa de naturaleza grasa entre dos capas proteínicas. El paso de las sustancias puede ocurrir por difusión, a través de poros en la capa grasosa, por solubilización en esta capa o por enlace con transportadores dentro de la membrana (13).



- | | | |
|------------------|-------------------------|-------------------------|
| a. Cutina | f. Gota no humedecedora | k. Espacio intercelular |
| b. Lamela cerosa | g. Gota humedecedora | l. Protoplasma |
| c. Pelo | h. Cutícula | m. Partículas cerosas |
| d. Plasmodesma | i. Lámina péctica | o. Angulos de contacto |
| e. Ectodesma | j. Celulosa | |

FIGURA 7.6. Representación esquemática de células epidermales de la hoja y cutícula. Tomada de Franke (4).

7.5.2. Tasa de Absorción y Distribución de los Nutrientos.

La tasa de absorción y la distribución de los nutrientes en la planta presenta una gran variación según las sustancias nutritivas aplicadas.

La mitad del magnesio (Mg) del sulfato de magnesio y el nitrógeno (N) de la úrea se absorben frecuentemente en un período de 2 a 5 horas. El potasio, el

calcio y el manganeso se absorben un poco más lentamente. En cuanto al fósforo (P), el azufre (S), el hierro (Fe) y el molibdeno (Mo), el 50% de la absorción requiere un término de 5 a 15 días. Algunos nutrimentos como el calcio (Ca), el magnesio (Mg) y el hierro (Fe) tienden a acumularse en la hoja después de que son absorbidos. Otros como el fósforo, el potasio, el nitrógeno y el azufre se mueven con rapidez en la hoja y pueden localizarse en las extremidades de la raíz una hora después de que se han rociado sobre las hojas (30).

Las investigaciones han demostrado que el nitrógeno, el fósforo, el potasio y el hierro pueden absorberse a través de la corteza de los árboles frutales y el zinc (Zn) a través de la corteza de los cítricos. Por medio de aspersiones, los tomates absorben los nutrimentos a través del tegumento de la fruta. Se ha comprobado que la mayor absorción del nitrógeno, en forma de urea, por el tabaco ocurre durante la noche o cuando los pelos epidérmicos son dañados, pero no existe diferencia entre superficie superior e inferior de la hoja (28).

Una dificultad en usar aspersiones foliares para suministrar elementos esenciales a los cultivos es que la translocación del elemento aplicado no es lo suficientemente rápida como para sustituir la fertilización edáfica. Las plantas nutridas exclusivamente por vía foliar no se desarrollan normalmente (14). La fertilización foliar debe considerarse como un complemento y no un sustituto

de la fertilización edáfica. Los mayores éxitos con la fertilización foliar se han obtenido con la aplicación de micronutrientes y con nitrógeno, en plantas cultivadas en suelos realmente deficientes en estos elementos.

7.5.3. Necesidades de Investigación.

En Colombia prácticamente estamos atrasados en investigaciones básicas sobre la fertilización foliar. La tecnología no puede aplicarse con muchas probabilidades de éxito en las condiciones del país. Es necesario investigar intensamente sobre las dosis y el tiempo de aplicación del fertilizante foliar, en las diversas zonas y cultivos, lo cual conducirá a la definición de los grados que se deben utilizar en la agricultura colombiana.

El doctor John Hanway (8), de la Universidad de Iowa, considera que aún hay muchas cosas que los científicos no conocen acerca de la fertilización foliar. Por ejemplo, cree que una de las principales áreas de estudio podría ser la toxicidad potencial de los productos intermedios formados a partir de la urea, tales como cianatos, carbamatos y el mismo biuret que ésta contiene. Por otra parte, se debe pensar mucho en el tiempo de aplicación. Tradicionalmente se aplica el fertilizante durante la iniciación del crecimiento del cultivo, pero qué ocurrirá con los requerimientos de nutrientes durante la formación de la semilla en cultivos para este propósito, como la soya?

El doctor Hanway cree que la soya es un cultivo ideal para estudiar las necesidades nutricionales al tiempo del llenado del grano, porque contiene bastan-

te nitrógeno, fósforo, potasio y azufre. Sin embargo, cree también que la fertilización foliar ofrece un uso potencial en otras cosechas en las cuales se utiliza la semilla como maíz, avena, maní, algodónero y trigo.

7.6. RESUMEN

Este capítulo pretende sentar algunas bases para utilizar mejor los fertilizantes con el propósito de producir cosechas abundantes y rentables. Para ello se tratan brevemente los siguientes aspectos: (1) el sistema radical de las plantas; (2) la localización de los fertilizantes en el suelo; (3) la época de aplicación y (4) la fertilización foliar.

Para desarrollar las prácticas de colocación de fertilizantes es muy útil el conocimiento de los hábitos de crecimiento de las raíces ya que éstas son los órganos principales a través de los cuales las plantas toman del suelo los nutrientes que les son indispensables. En el presente capítulo se explican las diferencias más sobresalientes del sistema radical entre diversas plantas.

En cualquier programa de fertilización se debe considerar que los nutrientes van a alimentar la planta y no al suelo. Por esta razón, se discuten las diversas maneras de localizar el fertilizante en el suelo en relación con el sistema radical de las plantas.

El efecto total de una fertilización no depende solamente de su correcta aplicación y de su dosificación adecuada, sino también del suministro en el mo-

mento oportuno. Este aspecto se trata aquí con ejemplos en varios cultivos, los cuales corroboran muy claramente lo anteriormente expuesto.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. COLMENARES, J.; MILLAN, M. Aplicación total y fraccionamiento de nitrato de amonio al maíz (*Zea mays* L.). Palmira, Facultad de Ingeniería Agronómica, 1966. 69 p. (Tesis de Ingeniero Agrónomo).
2. CROWDER, L.V.; BAIRD, G.B.; VANEGAS, J. La producción de alfalfa en Colombia. VI. La influencia de la colocación del fertilizante en el crecimiento de la alfalfa. *Agric. Trop. (Colombia)* v.14, p. 737-743. 1958.
3. CHEANEY, R.L.; LOPEZ, R. Importancia de la eficiencia en la utilización del nitrógeno para la fertilización del arroz. Reunión Anual de Fedearroz. Villavicencio, 1974. 11 p. (mimeografiado).
4. FRANKE, W. Mechanisms of foliar penetration of solution. *Ann Rev. Plant Phys. (EE. UU)* v.18, p. 281-300. 1967.
5. GROS, A. Guía práctica de la fertilización. Madrid, 5a. edición. Mundi-Prensa, 1971. 426 p.
6. GUTIERREZ, D.; LEON, A. Resultados de la fertilización de sorgo de grano en algunas zonas del Tolima. Instituto Colombiano Agropecuario, Programa de Suelos. Palmira, ICA, 1974. 44 p. (mimeografiado).
7. _____; LEON, A. Resultados de la fertilización del ajonjolí (*Sesamun indicum* L.) en algunas zonas del Tolima. Instituto Colombiano Agropecuario, Programa de Suelos. Palmira, ICA, 1974. 32 p. (mecanografiado).
8. HANWAY, J. Foliar fertilization - Potential is there but so are problems. *Farm chemicals (EE. UU)* v.141 no. 10, p. 18. 1978.
9. HOWELER, R.H. La fertilización fosfórica del arroz de riego y de secano. *Suelos Ecuatoriales (Colombia)* v.6, p. 245-263. 1974.
10. JACOB, A.; HEXKULL, H.V. Fertilización y abonado de bs cultivos tropicales y subtropicales. Wageningen (Holanda), H. Veenman & N.Y. Zonen, 1961.

11. KAMPRATH, E.J. Residual effect of large application of phosphorus on high phosphorus fixing soils. *Agron. J.* (EE. UU) v.59, p. 25-27. 1967.
12. KRANTZ, B.A.; CHANDLER, W.V. Fertilize corn for higher yields. Raleigh (EE. UU), Agricultural Experiment Station, 1954. 71 p. (Bulletin no. 365).
13. LEOPOLD, A.R. Applications of chemicals to plants. En: Plant growth and development. New York, McGraw - Hill, 1964. p. 413-439.
14. LORA, R. Algunos aspectos de la fertilización foliar. En: Los suelos y su fertilidad. Bogotá, Instituto Colombiano Agropecuario - Programa de Suelos, 1978. p. 268-293.
15. MACHADO, A. Algunos resultados experimentales con fertilizantes en café. *Cenicafé (Colombia)* v.9 no. 78, p. 157-198. 1958.
16. MARIN, G.; LORA, R. Principios generales sobre la aplicación de fertilizantes. *Agric. Trop. (Colombia)* v.26, p. 663-670. 1970.
17. _____. El uso eficiente del nitrógeno en Colombia. Bogotá, Instituto Colombiano Agropecuario - Programa de Suelos, 1974. 61 p. (mimeografiado).
18. McCORMICK, A.; GALIANO, F. Valor fertilizante del fosfato Thomas. Influencia de la época de aplicación en suelos orgánicos ácidos. I. Ensayos de invernadero. *Agric. Trop. (Colombia)* v.19, p. 406-411. 1963.
19. _____; GALIANO, F. Valor fertilizante del fosfato Thomas. Influencia de la época de aplicación en suelos orgánicos. II. Ensayos de campo. *Agric. Trop. (Colombia)* v.19, p. 590-593. 1963.
20. MAZANI, B. Plantas oleaginosas. Barcelona, Salvat, 1963. 433 p.
21. NASTU, J. Cacao, café y té. Barcelona, Salvat, 1953. 687 p.
22. NELSON, A. Botánica agrícola. Barcelona, Salvat, 1962. 533 p.
23. PARRA, J.; McCORMICK, A. Como aprovecha el café los fertilizantes. *Cenicafé (Colombia)* v.14, p. 95-110. 1963.

24. PERDOMO, M.A.; PARKA, J.; JIMENEZ, M.A. Métodos de colocación de fertilizantes en el cultivo de café. V Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y IV Coloquio Nacional de Suelos. Resúmenes. 1975.
25. RADER, L.F. The salt index. A measure of the effect of fertilizers on the concentration of the soil solution. Soil. Sci. (EE. UU) v.55 p. 201. 1943.
26. ROMERO, V.M. Técnicas de aplicación de fertilizantes. Bogotá, Instituto Colombiano Agropecuario - Monómeros Colombo-Venezolanos, s.f. 16 p. (Boletín técnico no. 1).
27. SALISBURY, F.B.; PARKE, B.V. Las plantas vasculares: formas y función. México, Herrero, 1968. 198 p.
28. TISDALE, S.; NELSON, W.L. Fundamentals of fertilization. En: Soil fertility and fertilizers. New York, McMillan, 1966. p. 499-553.
29. WELCH, L.F.; JANHSON, P.E.; McKIBBER, G.E.; BOONE, L.B.; PENDLETON, J.W. Relative efficiency of broadcast versus banded potassium for corn. Agron. J. (EE. UU) v.58, p.618-621. 1966.
30. WITWER, S.H. La alimentación foliar. Agricultura de las Américas (Colombia) v.9 no. 6, p. 50-51. 1960.