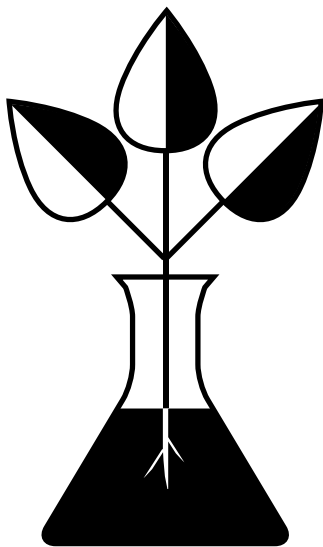


LOS FERTILIZANTES Y SU USO



Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes

LOS FERTILIZANTES Y SU USO

Una guía de bolsillo para los oficiales de extensión

Cuarta edición

Las denominaciones empleadas en esta publicación y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, de parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, juicio alguno sobre la condición jurídica de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites.

Los fertilizantes y su uso. FAO, Roma, 1965.

Cuarta edición, revisada, FAO e IFA. Roma, 2002
ISBN 92-5-304414-4

IFA
28, Rue Marbeuf
75008 París, Francia
Tel.: +33 153 930 500
Fax: +33 153 930 545/546/547
Correo electrónico: publications@fertilizer.org
Sitio Web: www.fertilizer.org

Todos los derechos reservados. Se autoriza la reproducción y difusión de material contenido en este producto informativo para fines educativos u otros fines no comerciales sin previa autorización escrita de los titulares de los derechos de autor, siempre que se especifique claramente la fuente. Se prohíbe la reproducción del material contenido en este producto informativo para reventa u otros fines comerciales sin previa autorización escrita de los titulares de los derechos de autor. Las peticiones para obtener tal autorización deberán dirigirse al Jefe del Servicio de Gestión de las Publicaciones de la Dirección de Información de la FAO, Viale delle Terme di Caracalla, 00100 Roma, Italia, o por correo electrónico a copyright@fao.org

© FAO 2002

Prefacio

Esta guía fue preparada originariamente para uso de los oficiales de extensión que trabajaban para el Programa de Fertilizantes de la FAO. La primera edición fue publicada en 1965, la tercera edición en 1978, y su reimpresión en 1986.

Para esta nueva edición 2002, la mayor parte del texto de 1978 ha sido completamente revisado. La información sobre nuevos desarrollos técnicos y conocimientos ha sido incorporada. La guía explica la necesidad de los fertilizantes minerales, su rol en las plantas y las características del suelo que son importantes para la fertilización. Una nueva sección aporta las recomendaciones generales para cultivos seleccionados.

El capítulo sobre «Cómo determinar las necesidades de fertilizantes» incluye información sobre los síntomas de deficiencia y análisis de suelo y de los tejidos de las plantas. Un capítulo es dedicado a explicar y dar sugerencias sobre la presentación de demostraciones de fertilizantes y de las técnicas de extensión en general.

Las recomendaciones para cultivos seleccionados están basadas en gran parte en IFA «Manual Mundial sobre el Uso de Fertilizantes», 1992. Una información más detallada se encuentra en el Manual disponible en IFA, París*. Inclusive la información mucho más completa dada en el Manual a menudo requerirá modificaciones por el usuario para tomar en cuenta las recomendaciones oficiales de los fertilizantes para los cultivos y suelos locales.

* *World Fertilizer use Manual*, 1992, IFA, París, 632p. Página Web <http://www.fertilizer.org>, también disponible en versión CD.

Índice

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	FUNDAMENTO DE LA NECESIDAD DE FERTILIZANTES (AUMENTO DE LA PRODUCCIÓN Y AUMENTO DEL INGRESO DE LOS AGRICULTORES)	1
	Los fertilizantes aumentan los rendimientos de los cultivos	3
	El abono orgánico mejora la eficiencia de los fertilizantes	5
3.	LOS NUTRIENTES – SUS FUNCIONES EN LAS PLANTAS Y SUS FUENTES	6
	Los nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas	6
	Las funciones de los nutrientes	6
	Fotosíntesis	10
4.	SUELOS	12
	¿Qué es el suelo?	12
	Los componentes del suelo, su textura y estructura	13
	Cómo el suelo retiene los nutrientes y los libera	14
	Organismos del suelo	17
	Rhizobium / fijación biológica de N / abono verde / mycorrhizae	19
	La reacción del suelo y el encalado	21
	El suelo y las buenas prácticas agrícolas	22
5.	RECOMENDACIONES DE FERTILIZANTES PARA CULTIVOS SELECCIONADOS DE ACUERDO CON SUS NECESIDADES	23
6.	LA IMPORTANCIA DE LA FERTILIZACIÓN EQUILIBRADA	29

7.	FERTILIZANTES, SU PRESENTACIÓN, CALIDAD Y ETIQUETADO	33
	Grados de los fertilizantes	36
	Fertilizantes de liberación lenta / inhibidores de nitrificación y de ureasa	42
8.	CÁLCULO DE LAS DOSIS DE LOS FERTILIZANTES	44
9.	CÓMO APLICAR LOS FERTILIZANTES	48
	A voleo	49
	Localización en bandas o hileras	49
	Aplicación en cobertera	50
	Aplicación entre líneas	51
	Aplicación foliar	51
10.	CÓMO DETERMINAR LAS NECESIDADES DE LOS FERTILIZANTES	51
	Síntomas de carencia en las plantas	52
	Análisis de suelos	56
	Análisis de plantas	59
	Ensayos de validación con fertilizantes en el campo	60
	Experimentos de campo a largo plazo	61
11.	OTROS FACTORES LIMITATIVOS DE LOS RENDIMIENTOS DE LOS CULTIVOS	62
12.	EL TRABAJO DE EXTENSIÓN RESPECTO A LOS FERTILIZANTES	64
	Cómo realizar una demostración de fertilizantes	65
	Determinación del tamaño de la parcela	69
	Cálculo de las dosis de fertilizantes por parcela	70
	Esparcimiento a voleo de fertilizantes en pequeñas parcelas	71
	Evaluación de las demostraciones sobre fertilizantes	72
	Cómo realizar los encuentros sobre fertilizantes	74
13.	CONCLUSIONES	76
	ANEXO: FACTORES DE CONVERSIÓN	77

Lista de figuras

1. Rendimientos de cultivos en los Estados Unidos de América, de 1930 a 1998	3
2. Profundidad de las raíces de las plantas con y sin fertilización	4
3. Composición elemental promedia de las plantas	7
4. Las plantas producen azúcar de la luz solar, del aire, del agua y de los nutrientes del suelo	10
5. Para lograr los rendimientos más altos posibles ningún nutriente debe ser limitado	11
6. Efecto de la fertilización equilibrada en los rendimientos de cultivos – Pakistán	33
7. Diagrama de flujo de la producción de fertilizantes	33
8. Fuentes relativas de nutrientes a diferentes niveles de análisis del suelo	56
9. Muestra del suelo	58
10. Importancia de la protección del cultivo	64
11. Ejemplo de la presentación de una demostración simple con parcela de control y dos diferentes dosis de N	69
12. Método correcto para aplicar fertilizante al voleo en una parcela pequeña	72

Lista de cuadros

1.	Extracción de nutrientes por cultivos (kg/ha)	24
2.	Algunos fertilizantes importantes	38
3.	Fertilizantes multinutrientes – rango de contenidos de nutrientes	39
4.	Algunos fertilizantes con micronutrientes importantes	42

1. Introducción

Como oficial de extensión usted es un dirigente de su comunidad o pueblo. Los agricultores lo buscan para obtener respuestas y mejores maneras de producir. Cuanto más correctas sean sus respuestas mayor será la confianza que ellos le depositarán. Esta publicación le dará la información necesaria para enseñar a los agricultores el uso apropiado de los fertilizantes. También, la intención es mostrar cómo el uso de los fertilizantes debería ser parte de un programa integrado de buenas prácticas agrícolas tendiente a mejorar la producción de los cultivos y consecuentemente los ingresos de los agricultores.

Los fertilizantes proveen nutrientes que los cultivos necesitan. Con los fertilizantes se pueden producir más alimentos y cultivos comerciales, y de mejor calidad. Con los fertilizantes se puede mejorar la baja fertilidad de los suelos que han sido sobreexplotados. Todo esto promoverá el bienestar de su pueblo, de su comunidad y de su país.

2. Fundamento de la necesidad de fertilizantes (aumento de la producción y aumento del ingreso de los agricultores)

De acuerdo con las proyecciones del Banco Mundial, la población mundial aumentará de seis mil millones de personas en 1999 a siete mil millones en 2020. Posiblemente, usted está viviendo en un país con las tasas de crecimiento mayores o el más elevado aumento absoluto del número de personas. En ese caso, las consecuencias de un aumento de la población le serán familiares: toda esta gente tendrá que tener vivienda, vestirse y, sobre todo, ser alimentada. Hasta el 90 por ciento de este aumento necesario de la producción de alimentos tendrá que provenir de los campos

ya cultivados. La FAO estima que durante el período 1995–97 alrededor de 790 millones de personas en el mundo en desarrollo no tenía suficiente para alimentarse. El número ha decaído en los años recientes de un promedio de alrededor de ocho millones de personas por año. En el año 2015, si el ritmo no fuera aumentado, habría aún 600 millones de personas hambrientas.

En los países en desarrollo, la mayoría de los agricultores activos del sector de producción de alimentos son agricultores de pequeña escala que forman parte de la pobreza rural. La introducción de nuevos sistemas agrícolas y de tecnologías mejoradas es muy importante para ellos, dado que la mejora de la productividad resulta no sólo en más alimentos sino también en más ingreso.

En consecuencia, las actividades agrícolas tienen dos objetivos principales:

1. suministrar a la población creciente de su país (o también a la de otros países) con las cantidades crecientes de alimentos y de fibras necesarias; y
2. proveer un ingreso satisfactorio para el agricultor y su familia.

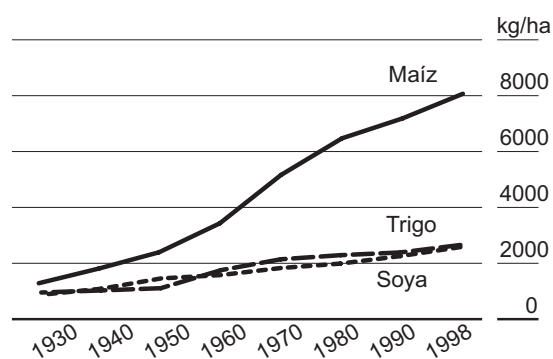
Es difícil estimar exactamente la contribución de los fertilizantes minerales al aumento de la producción agrícola, debido a la interacción de muchos otros factores importantes. No obstante, los fertilizantes continuarán a jugar un papel decisivo, y esto sin tener en cuenta cuáles tecnologías nuevas puedan aún surgir. Se estima que, a escala mundial, aproximadamente el 40 por ciento (del 37 por ciento al 43 por ciento) del suministro proteínico de la dieta a mediados de la década de los noventa tuvo su origen en el nitrógeno sintético producido por el proceso Haber - Bosch para la síntesis de amoníaco¹.

¹ Smil, V. 1999. Long-range Perspectives in Inorganic Fertilizers in Global Agriculture. 1999 Travis P. Hignett Lecture, IFDC, Alabama, USA.

LOS FERTILIZANTES AUMENTAN LOS RENDIMIENTOS DE LOS CULTIVOS

Los nutrientes que necesitan las plantas se toman del aire y del suelo. Esta publicación trata solamente los nutrientes absorbidos del suelo. Si el suministro de nutrientes en el suelo es amplio, los cultivos probablemente crecerán mejor y producirán mayores rendimientos. Sin embargo, si aún uno solo de los nutrientes necesarios es escaso, el crecimiento de las plantas es limitado y los rendimientos de los cultivos son reducidos. En consecuencia, a fin de obtener altos rendimientos, los fertilizantes son necesarios para proveer a los cultivos con los nutrientes del suelo que están faltando. Con los fertilizantes, los rendimientos de los cultivos pueden a menudo duplicarse o más aún triplicarse (Figura 1). Los resultados de miles de demostraciones y de ensayos llevados a cabo en las fincas de los agricultores bajo el primer Programa de Fertilizantes de la FAO, que cubrió un período de 25 años en 40 países, mostró que el aumento promedio ponderado del mejor tratamiento de fertilizantes para ensayos de trigo era alrededor del 60 por ciento. El aumento de los

FIGURA 1. Rendimientos de cultivos en los Estados Unidos de América, de 1930 a 1998

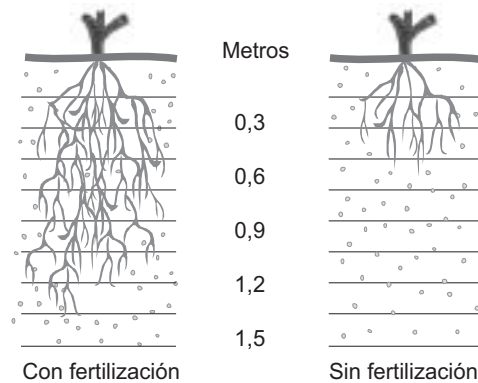


rendimientos variaba, por supuesto, de acuerdo a la región (por ejemplo debido a la falta de humedad), cultivo y país.

La eficiencia de los fertilizantes y la respuesta de los rendimientos en un suelo particular puede ser fácilmente analizada agregando diferentes cantidades de fertilizantes en parcelas adyacentes, midiendo y comparando los rendimientos de los cultivos consecuentemente (ver Capítulo 12). Tales ensayos mostrarán también otro efecto muy importante del empleo de fertilizantes, a saber que ellos aseguran el uso más eficaz de la tierra, y especialmente del agua. Estas son consideraciones muy importantes cuando las lluvias son escasas o los cultivos tienen que ser irrigados, en cuyo caso el rendimiento por unidad de agua usada puede ser más que duplicado. La profundidad de las raíces del cultivo puede ser aumentada (Figura 2).

FIGURA 2. **Profundidad de las raíces de las plantas con y sin fertilización**

En suelos de baja fertilidad, los fertilizantes aumentarán la profundidad a la cual las raíces crecen.



EL ABONO ORGÁNICO MEJORA LA EFICIENCIA DE LOS FERTILIZANTES

Antes de pensar en la aplicación de los fertilizantes, todas las fuentes disponibles de los nutrientes deberían ser utilizadas, por ejemplo excrementos de vaca, de cerdos, de pollos, desperdicios vegetales, paja, estiba de maíz y otros materiales orgánicos. Sin embargo, éstos deberían ser convertidos en abono y ser descompuestos antes de su aplicación en el suelo. Con la descomposición del material orgánico fresco, por ejemplo paja de maíz, los nutrientes del suelo, particularmente el nitrógeno, serán fijados provisionalmente; de este modo no son disponibles para el cultivo posterior. Aún cuando el contenido de nutriente del material orgánico sea bajo y variable, el abono orgánico es muy valioso porque mejora las condiciones del suelo en general. La materia orgánica mejora la estructura del suelo, reduce la erosión del mismo, tiene un efecto regulador en la temperatura del suelo y le ayuda a almacenar más humedad, mejorando significativamente de esta manera su fertilidad. Además la materia orgánica es un alimento necesario para los organismos del suelo.

El abono orgánico a menudo crea la base para el uso exitoso de los fertilizantes minerales. La combinación de abono orgánico / materia orgánica y fertilizantes minerales (Sistema Integrado de Nutrición de las Plantas, SINP) ofrece las condiciones ambientales ideales para el cultivo, cuando el abono orgánico / la materia orgánica mejora las propiedades del suelo y el suministro de los fertilizantes minerales provee los nutrientes que las plantas necesitan.

No obstante, el abono orgánico / la materia orgánica por sí solo no es suficiente (y a menudo no es disponible en grandes cantidades) para lograr el nivel de producción que el agricultor desea. Los fertilizantes minerales tienen que ser aplicados adicionalmente. Aún en países en los cuales una alta proporción de desperdicios orgánicos se utiliza como abono y suministro de material orgánico, el consumo de fertilizantes minerales se ha elevado constantemente.

3. Los nutrientes – sus funciones en las plantas y sus fuentes

LOS NUTRIENTES NECESARIOS PARA EL CRECIMIENTO DE LAS PLANTAS

Dieciséis elementos son esenciales para el crecimiento de una gran mayoría de plantas y éstos provienen del aire y del suelo circundante. En el suelo, el medio de transporte es la solución del suelo.

Los elementos siguientes son derivados:

- a. del aire: carbono (C) como CO_2 (dióxido de carbono);
- b. del agua: hidrógeno (H) y oxígeno (O) como H_2O (agua);
- c. del suelo, el fertilizante y abono animal: nitrógeno (N) – las plantas leguminosas obtienen el nitrógeno del aire con la ayuda de bacterias que viven en los nódulos de las raíces (ver Capítulo 4, *Rhizobium / Fijación Biológica de N / Abono Verde / Mycorrhizae*) - fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu), boro (B), molibdeno (Mo) y cloro (Cl).

Estos nutrientes y sus porcentuales promedio en la sustancia seca de la planta son mostrados en la Figura 3.

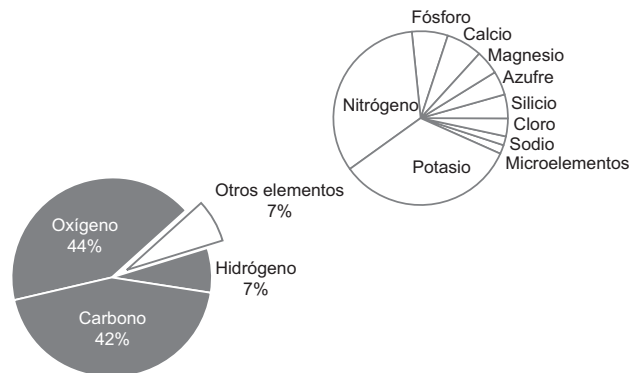
Otros elementos químicos son tomados en cuenta. Estos pueden ser nutrientes beneficiosos para algunas plantas, pero no esenciales para el crecimiento de todas.

Los fertilizantes, abonos o residuos de cultivos aplicados al suelo aumentan la oferta de nutrientes de las plantas. Las cantidades de nutrientes primarios necesarios para los cultivos principales se detallan en el Capítulo 10.

LAS FUNCIONES DE LOS NUTRIENTES

Aparte del carbono (C), que será discutido bajo el título «Fotosíntesis», la planta coge todos los nutrientes de la solución

FIGURA 3. Composición elemental promedio de las plantas



del suelo. Estos se dividen en dos categorías (clasificación cuantitativa):

- macronutrientes*, divididos en *nutrientes primarios* y *secundarios*; y
- micronutrientes* o *microelementos*.

Los macronutrientes se necesitan en grandes cantidades, y grandes cantidades tienen que ser aplicadas si el suelo es deficiente en uno o más de ellos. Los suelos pueden ser naturalmente pobres en nutrientes, o pueden llegar a ser deficientes debido a la extracción de los nutrientes por los cultivos a lo largo de los años, o cuando se utilizan variedades de rendimientos altos, las cuales son más demandantes en nutrientes que las variedades locales.

En contraste a los macronutrientes, los *micronutrientes* o *microelementos* son requeridos sólo en cantidades ínfimas para el crecimiento correcto de las plantas y tienen que ser agregados en cantidades muy pequeñas cuando no pueden ser provistos por el suelo.

Dentro del grupo de los *macronutrientes*, necesarios para el crecimiento de las plantas en grandes cantidades, los **nutrientes primarios** son *nitrógeno*, *fósforo* y *potasio*.

El *Nitrógeno (N)* es el motor del crecimiento de la planta. Suple de uno a cuatro por ciento del extracto seco de la planta. Es absorbido del suelo bajo forma de nitrato (NO_3^-) o de amonio (NH_4^+). En la planta se combina con componentes producidos por el metabolismo de carbohidratos para formar amino ácidos y proteínas. Siendo el constituyente esencial de las proteínas, está involucrado en todos los procesos principales de desarrollo de las plantas y en la elaboración del rendimiento. Un buen suministro de nitrógeno para la planta es importante también por la absorción de los otros nutrientes.

El *Fósforo (P)*, que suple de 0,1 a 0,4 por ciento del extracto seco de la planta, juega un papel importante en la transferencia de energía. Por eso es esencial para la fotosíntesis y para otros procesos químico-fisiológicos. Es indispensable para la diferenciación de las células y para el desarrollo de los tejidos, que forman los puntos de crecimiento de la planta. El fósforo es deficiente en la mayoría de los suelos naturales o agrícolas o donde la fijación limita su disponibilidad.

El *Potasio (K)*, que suple del uno al cuatro por ciento del extracto seco de la planta, tiene muchas funciones. Activa más de 60 enzimas (substancias químicas que regulan la vida). Por ello juega un papel vital en la síntesis de carbohidratos y de proteínas. El K mejora el régimen hídrico de la planta y aumenta su tolerancia a la sequía, heladas y salinidad. Las plantas bien provistas con K sufren menos de enfermedades.

Los *nutrientes secundarios* son *magnesio, azufre y calcio*. Las plantas también los absorben en cantidades considerables.

El *Magnesio (Mg)* es el constituyente central de la clorofila, el pigmento verde de las hojas que funciona como un aceptador de la energía provista por el sol; por ello, del 15 al 20 por ciento del magnesio contenido en la planta se encuentra en las partes verdes. El Mg se incluye también en las reacciones enzimáticas relacionadas a la transferencia de energía de la planta.

El *Azufre (S)* es un constituyente esencial de proteínas y también está involucrado en la formación de la clorofila. En la mayoría de las plantas suple del 0,2 al 0,3 (0,05 a 0,5) por ciento del extracto seco. Por ello, es tan importante en el crecimiento de la planta como el fósforo y el magnesio; pero su función es a menudo subestimada.

El *Calcio (Ca)* es esencial para el crecimiento de las raíces y como un constituyente del tejido celular de las membranas. Aunque la mayoría de los suelos contienen suficiente disponibilidad de Ca para las plantas, la deficiencia puede darse en los suelos tropicales muy pobres en Ca. Sin embargo, el objetivo de la aplicación de Ca es usualmente el del encalado, es decir reducir la acidez del suelo.

Los *micronutrientes o microelementos* son el hierro (Fe), el manganeso (Mn), el zinc (Zn), el cobre (Cu), el molibdeno (Mo), el cloro (Cl) y el boro (B). Ellos son parte de sustancias claves en el crecimiento de la planta, siendo comparables con las vitaminas en la nutrición humana. Son absorbidos en cantidades minúsculas, su rango de provisión óptima es muy pequeño. Su disponibilidad en las plantas depende principalmente de la reacción del suelo. El suministro en exceso de boro puede tener un efecto adverso en la cosecha subsiguiente.

Algunos *nutrientes benéficos* importantes para algunas plantas son el *Sodio (Na)*, por ejemplo para la remolacha azucarera, y el *Silicio (Si)*, por ejemplo para las cereales, fortaleciendo su tallo para resistir el vuelco. El *Cobalto (Co)* es importante en el proceso de fijación de N de las leguminosas.

Algunos microelementos pueden ser tóxicos para las plantas a niveles sólo algo más elevados que lo normal. En la mayoría de los casos esto ocurre cuando el pH es de bajo a muy bajo. La toxicidad del aluminio y del manganeso es la más frecuente, en relación directa con suelos ácidos.

Es importante notar que todos los nutrientes, ya sean necesarios en pequeñas o grandes cantidades, cumplen una

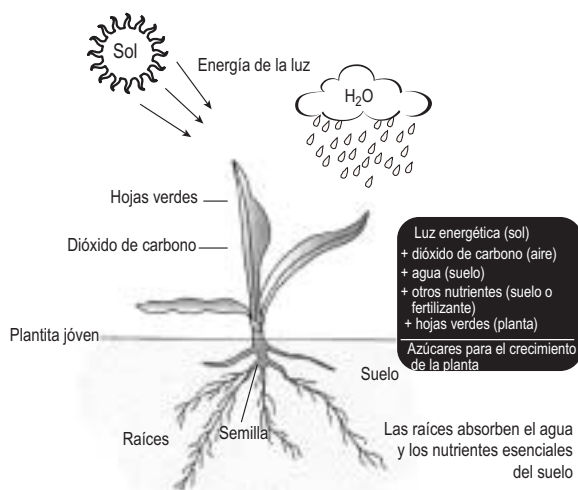
función específica en el crecimiento de la planta y en la producción alimentaria, y que un nutriente no puede ser sustituido por otro.

FOTOSÍNTESIS

A través de la evaporación de grandes cantidades de agua durante el día, los nutrientes tomados del suelo son llevados a las hojas de las plantas.

La acción importante tiene lugar en las hojas verdes. Este proceso es denominado *fotosíntesis*. Esta es una manera natural de transformar los elementos inorgánicos tomados por las plantas del aire y del suelo en materia orgánica, con la ayuda de la energía de la luz solar: la energía de la luz se transforma en energía química (Figura 4).

FIGURA 4. **Las plantas producen azúcar de la luz solar, del aire, del agua y de los nutrientes del suelo**



La importancia fundamental de la fotosíntesis se debe al hecho de que el dióxido de carbono y el agua, que son energéticamente sin valor, se convierten en carbohidratos (azúcar), que son los materiales básicos para la síntesis de todas las otras sustancias orgánicas producidas por las plantas. Sin la fotosíntesis no habría vida en la tierra.

Un suministro suficiente de nutrientes es importante para un funcionamiento correcto de este proceso. Esto se debe al hecho de que si uno de los nutrientes del suelo no está presente, la fotosíntesis se retrasa (Figura 5). Si el nutriente está presente, pero en cantidad insuficiente, la planta desarrolla signos de carencia (los síntomas de deficiencia), como nosotros, cuando no logramos alimentarnos correctamente. El crecimiento de una planta depende de un suministro suficiente de cada nutriente, y el rendimiento está limitado por los nutrientes que son

FIGURA 5. Para lograr los rendimientos más altos posibles ningún nutriente debe ser limitado

Los factores interactúan y un cultivo puede hacer mejor uso del factor que limita el crecimiento cuando los otros factores se acercan a su óptimo



El rendimiento del cultivo no puede ser mayor que lo que permitan los nutrientes más limitantes del suelo

restringidos (factor mínimo limitativo del rendimiento). En las prácticas agrícolas, este es el caso para el nitrógeno, el fósforo, el potasio, el magnesio y el azufre. De allí, que estos nutrientes tienen que ser aplicados en la forma de fertilizantes minerales para obtener rendimientos satisfactorios.

4. Suelos

La mejor respuesta al uso de fertilizantes se obtiene si el suelo tiene un nivel elevado de fertilidad. Los principales factores determinantes de la fertilidad del suelo son: la materia orgánica (incluyendo la biomasa microbiana), la textura, la estructura, la profundidad, el contenido de los nutrientes, la capacidad de almacenamiento (capacidad de adsorción²), la reacción del suelo y la ausencia de los elementos tóxicos (por ejemplo: aluminio libre). Los suelos difieren ampliamente en estos factores. Para saber como mejorar la fertilidad baja o moderada del suelo, los agricultores deberán tener un conocimiento básico de su suelo.

¿QUÉ ES EL SUELO?

El suelo es un material extraordinario. Es la capa superficial de la tierra, la que ha sido transformada muy despacio por la descomposición a través de la acción meteorológica, la acción de la vegetación y del ser humano. El material original del cual un suelo se forma puede ser la roca subyacente o los depósitos de los ríos y de los mares (suelos aluvionales) y del viento (suelos eólicos, tales como el loess) o suelos de cenizas volcánicas.

² *Adsorción* en los suelos se refiere a la atracción / adhesión de las moléculas del agua y de iones en la superficie de partículas de materia orgánica o de arcilla.

Absorción se refiere a la penetración a través la superficie cuando el agua y los nutrientes son captados por las raíces de las plantas.

El suelo da soporte a las plantas en forma de una capa permeable para las raíces y es una especie de depósito para los nutrientes y el agua. Dependiendo de su composición, los suelos difieren en su capacidad para proveer los diferentes nutrientes. Contrario a lo que frecuentemente se cree, el color del suelo revela muy poco respecto a la fertilidad del mismo.

LOS COMPONENTES DEL SUELO, SU TEXTURA Y ESTRUCTURA

El suelo está compuesto de partículas minerales de tamaños diferentes, procedentes de la alteración del material parental, y de materia orgánica (por ejemplo residuos de plantas y de animales), así como de cantidades variables de agua y de aire.

Las partículas sólidas son clasificadas por tamaño en: piedra y grava (de más de 2 mm de diámetro), arena (de 2,0 a 0,02 mm), limo (de 0,02 a 0,002 mm) y arcilla (menos de 0,002 mm).

La textura del suelo se refiere a las proporciones relativas de arena, limo y arcilla contenidas en el suelo. Dependiendo de su textura, los suelos son descritos como arenas, francos arenosos, francos, francos arcillosos, arcillas, etc. Los suelos pueden también ser denominados «ligeros» (por ejemplo arenas y francos arenosos), «medios» (por ejemplo francos) o «pesados» (por ejemplo francos arcillosos y arcillas) basados en su facilidad de laboreo.

La estructura del suelo se refiere a la agregación de las partículas del suelo más finas en fragmentos o unidades más grandes. Una mezcla de suelo bien estructurado contiene en volumen aproximadamente 50 por ciento de material sólido y 25 por ciento de aire y agua respectivamente.

La textura del suelo y su estructura son de importancia preponderante para la fertilidad del suelo y, consecuentemente, para el crecimiento de las plantas. Los suelos gruesos (o arenosos) no retienen bien el agua y los nutrientes. Se deben tener cuidados especiales cuando se aplican los fertilizantes

para evitar la lixiviación de nutrientes (nitrógeno y potasio). Los suelos arcillosos, por otra parte, pueden acumular humedad y nutrientes, pero pueden tener drenaje y aireación inadecuados. Se puede mejorar la estructura de los suelos suministrándoles enmiendas cálcicas y materia orgánica.

El laboreo ayuda a aumentar la *profundidad del suelo* (el volumen de suelo accesible al sistema radicular), pero tiende también a dispersar los agregados del suelo. La materia orgánica, por otra parte, tiende a fortalecer y estabilizar la estructura del suelo, así como la capacidad de almacenamiento.

En las zonas templadas, donde el clima es fresco y húmedo y la descomposición de los residuos de las plantas es baja, los suelos pueden llegar a ser muy ricos en materia orgánica (mayor al cinco por ciento). En las regiones subtropicales caracterizadas por un clima cálido, árido, los suelos son normalmente pobres en contenido de materia orgánica (algunas veces menor al 0,1 por ciento), pero a menudo son de una estructura excelente debido a la abundancia de calcio. Muchos suelos en los trópicos, en donde la materia orgánica rápidamente desaparece del suelo bajo la influencia del clima y de la actividad microbiológica, deben su estructura estable a los óxidos de hierro y de aluminio.

CÓMO EL SUELO RETIENE LOS NUTRIENTES Y LOS LIBERA

La descomposición del material rocoso forma los suelos y libera los nutrientes. El contenido mineral original del material rocoso y la naturaleza e intensidad del proceso de descomposición determinan la clase y cantidad de nutrientes que son liberados. Las arcillas (minerales arcillosos) y la materia orgánica (en menor medida también los hidróxidos de hierro) retienen nutrientes en una forma disponible para la planta, es decir los nutrientes están ligados a estos componentes del suelo (*complejo de adsorción*). La capacidad del suelo para retener una cierta cantidad de

nutrientes (*almacenamiento o capacidad de adsorción*) determina la fertilidad natural de un suelo.

Los nutrientes tienen cargas positivas (+) (cationes) o cargas negativas (-) (aniones). De acuerdo a estas cargas los nutrientes son atraídos por los minerales arcillosos y la materia orgánica como bolitas de hierro atraídas por un imán.

En la llamada *solución del suelo*, el agua del suelo contiene los nutrientes en una forma disponible para las plantas. La raíz de la planta puede absorber los nutrientes sólo en forma disuelta. De allí que dichos nutrientes deben ser liberados del complejo de adsorción en la solución del suelo para ser efectivamente disponibles para la planta.

En el suelo entonces existe un equilibrio (balance) entre los nutrientes adsorbidos en las partículas del suelo y los nutrientes liberados en la solución del suelo. Si este equilibrio es alterado, por ejemplo por la absorción de los nutrientes a través de las raíces de las plantas, los nutrientes son liberados del complejo de adsorción para establecer un nuevo equilibrio. En este proceso, los cationes son reemplazados por Ca^{2+} , Mg^{2+} procedentes del material sólido (nutrientes no disueltos) o por iones H^+ , mientras los aniones son reemplazados por OH^- ($\text{H}^+ + \text{OH}^- = \text{agua}$). Los nutrientes liberados se mueven de la solución más concentrada en la proximidad del complejo de adsorción a la solución de más baja concentración en la vecindad de las raíces. Este proceso de transporte de nutrientes desde el complejo de adsorción a las raíces es llamado *difusión*.

En suelos dejados sin cultivar por algún tiempo (barbecho), los nutrientes liberados en la solución del suelo se acumulan. Esto ocurre en particular con el nitrógeno derivado de la descomposición de la materia orgánica. Este puede tener un efecto ambiental negativo, dado que en suelos con textura ligera, y bajo condiciones de humedad, la mayor parte del nitrógeno acumulado sería lixiviado (arrastrado) al agua de superficie (o se

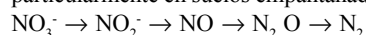
perdería debido a la desnitrificación³); el potasio acumulado puede también perderse por lixiviación.

En condiciones semiáridas, los nutrientes (por ejemplo: cloruros y sulfatos de sodio, calcio y magnesio) pueden moverse, con la evaporación del agua, a la superficie y causar daños por exceso de salinidad a los cultivos desarrollados después del período de barbecho. Sin embargo, los suelos viejos sometidos a la acción del clima, que han perdido la mayoría de los cationes, tienen un gran excedente de cargas negativas. Tales suelos retendrán los cationes de nutrientes aplicados.

La fuerza de atracción por el complejo de adsorción difiere con nutrientes diferentes (cationes y aniones). Con cationes es influenciada esencialmente por la hidratación y por la carga que ellos llevan. El aluminio (Al^{3+}) es más fuertemente mantenido por el complejo de adsorción, seguida por los microelementos metálicos (tales como hierro, manganeso, zinc) y potasio (K^+), amonio (NH_4^+), calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}). Con los aniones, el fosfato (PO_4^{3-}), el cual es elevadamente inmóvil, es fuertemente mantenido por las posiciones cargadas positivamente de ciertos minerales arcillosos y componentes del suelo como calcio, hierro y aluminio. Por el contrario, el cloro (Cl^-) y el nitrato (NO_3^-) tienden a permanecer en la solución del suelo, permaneciendo móviles y moviéndose con el agua del suelo a las raíces (flujo de masa) cuando las plantas absorben agua, o son lixiviados. El sulfato (SO_4^{2-}), como el nitrato permanece relativamente móvil y es también sujeto a lixiviación.

Cuando el abono orgánico, el compost y los fertilizantes son aplicados en un suelo cuyo contenido natural propio no puede suplir los nutrientes necesarios para el óptimo crecimiento de la

³ La pérdida de nitrógeno del suelo por medio de su conversión bacteriana bajo condiciones anaeróbicas a óxidos nitrogenados y nitrógeno gaseoso: particularmente en suelos empantanados e inundados:



planta, los fertilizantes agregados se descomponen y disuelven, y sus cationes y aniones se comportan como se ha descrito anteriormente.

El proceso de la adsorción de los nutrientes y la liberación en la solución del suelo es muy importante. En particular la diferencia en la fuerza de adsorción de los cationes y aniones tiene una influencia importante en cómo y cuándo aplicar fertilizantes (en particular fertilizantes nitrogenados) a fin de recibir la mayor eficiencia y evitar la contaminación por lixiviación.

La materia orgánica es capaz de adsorber más nutrientes que la cantidad comparable de arcilla. En consecuencia, es importante aumentar la materia orgánica especialmente en suelos tropicales degradados con menor poder de adsorción del componente mineral (por ejemplo suelos caoliníticos).

ORGANISMOS DEL SUELO

Las actividades de los organismos del suelo son indispensables para una buena fertilidad del suelo y una buena producción del cultivo. La mayoría de sus actividades son beneficiosas para el agricultor, dado que descomponen la materia orgánica para dar humus, reúnen partículas del suelo para dar una mayor estructura, protegen las raíces de enfermedades y parásitos, retienen el nitrógeno y otros nutrientes, producen hormonas que ayudan a las plantas a crecer y pueden convertir los contaminantes que encuentran en el suelo.

Después de ser mezcladas en el suelo e ingeridas por las lombrices, las formas insolubles de nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S) contenidas en las partículas de la materia orgánica son convertidas en formas disponibles para las plantas por medio de la actividad bacteriana. Sumada a la movilización de los nutrientes de las plantas, la actividad bacteriana puede jugar un papel

especial en el ciclo nitrogenado en el suelo, por ejemplo: amonificación⁴, nitrificación⁵, desnitrificación y la fijación de N⁶.

La mayoría de la fauna y de la flora del suelo está viviendo aeróbicamente, es decir necesita oxígeno del aire. Sin embargo, algunas especies están viviendo anaeróbicamente (ver desnitrificación, nota de pie N°3).

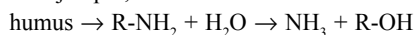
El más importante componente / nutriente para la gran mayoría de los organismos del suelo es el carbono – (C) (el dióxido de carbono es derivado del ácido carbónico en la materia orgánica del suelo). El nivel del dióxido de carbono presente en el suelo es una medida de la actividad de los organismos del suelo.

La humedad adecuada y un pH del suelo aproximadamente entre 5 y 6 (así como una temperatura entre 15 y 35 °C) y suficiente materia orgánica (como fuente de carbono y energía) dan las condiciones óptimas para los organismos del suelo.

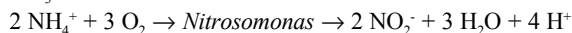
El agricultor puede apoyar sus actividades beneficiosas:

- manteniendo una buena aeración, una capacidad satisfactoria de almacenamiento de agua y un buen drenaje;
- tratando de mantener el pH del suelo a un nivel óptimo (pH de 5 a 6), mediante el uso de enmienda cálcica en cantidades moderadas y evitando cambios extremos de pH;
- proporcionando una disponibilidad abundante de materia orgánica al suelo;

⁴ Por ejemplo, amonio de aminoácidos:



⁵ Conversión bacterial de NH₄⁺ (de amonificación o de fertilizantes) en NO₃⁻:



Se supone que durante el proceso de nitrificación, pérdidas considerables de nitrógeno también se dan bajo forma de importantes gases del medio ambiental, tales como N₂O y NO.

⁶ Ver *Rhizobium* / Fijación biológica de N.

- proporcionando una cobertura de plantas o de residuos vegetales al suelo para reducir la erosión y conservar la humedad; y
- evitando el uso indiscriminado de químicos que pueden dañar el equilibrio en el suelo y resultar en un daño al cultivo.

RHIZOBIUM / FIJACIÓN BIOLÓGICA DE N / ABONO VERDE / MYCORRHIZAE

Los cultivos leguminosos (por ejemplo: leguminosas, guisantes, soja, tréboles, alfalfa y arvejas) son una fuente importante de nitrógeno. Viviendo en simbiosis con la bacteria *Rhizobium*, ellos fijan el nitrógeno del aire (N₂) en los nódulos de las raíces de las plantas.

Los cultivos leguminosos suministran la energía necesaria, el agua y los nutrientes a los microorganismos y reciben el nitrógeno que los microorganismos producen. Bajo condiciones favorables, las cantidades de nitrógeno fijadas a través de la bacteria *Rhizobium* varían entre 15 a 20 kg/ha N en promedio, con un máximo de hasta 200 kg/ha N. Un nivel promedio de 15 a 20 kg/ha N es muy bajo pero puede ser de interés para los pequeños agricultores que no pueden permitirse comprar las cantidades necesarias de fertilizante nitrogenado o que no tienen acceso al crédito.

Los cultivos leguminosos prefieren los suelos calcáreos y no crecerán satisfactoriamente en suelos ácidos. En el caso de suelos ácidos, la enmienda cálcica es necesaria antes de plantar un cultivo de leguminosa. El suelo debería ser suficientemente suministrado con fósforo y potasio disponible para las plantas.

Los cultivos leguminosos son plantas con raíces profundas; mejoran la estructura del suelo y extraen nutrientes de los estratos del suelo más profundos.

Cuando un cultivo leguminoso es sembrado por primera vez en un campo, o cuando por varios años no ha sido plantado en el campo, la inoculación de las semillas de los cultivos leguminosos con el tipo correcto de *Rhizobium* es una necesidad para una fijación satisfactoria de N. Dado que un cultivo específico necesita un tipo específico de bacteria *Rhizobium*, debería solicitarse a la estación experimental local información detallada. En estos casos, un abono nitrogenado moderado sostendrá su desarrollo.

Después de la cosecha o del corte, y aún más cuando el cultivo es usado como *abono verde*, es decir cuando un cultivo verde no descompuesto es arado en el suelo, una gran parte del nitrógeno fijado permanecerá con la masa de raíces en descomposición en el suelo. Bajo tales circunstancias, se aconseja enérgicamente al agricultor a plantar un cultivo siguiente tan pronto como sea posible, para hacer uso del N restante liberado en la solución del suelo y, de este modo, evitar la lixiviación del nitrógeno a la capa freática o su emisión al aire (ver Capítulo 4 *Cómo el suelo mantiene los nutrientes y los libera*). Los cultivos no leguminosos pueden también, por supuesto, ser usados como abono verde.

Los cultivos que crecen rápidamente aún en suelos pobres y producen una masa abundante de tallos y hojas verdes pueden ser usados como abono verde o cultivo de cobertura. Los cultivos de cobertura difieren del abono verde en que no han sido arados en el suelo, pero son usados como cubierta vegetal (*mulch*). Los cultivos de cobertura son adecuados en regiones con escasas lluvias, porque el cultivo plantado como cultivo de cobertura suministra materia orgánica al suelo. Los cultivos de cobertura pueden también ser atractivos para los agricultores con sólo una pequeña parcela de tierra.

Las raíces de la mayoría de los cultivos son infectadas con otros tipos de organismos del suelo, los hongos micorrhizales. Ellos forman una red entrelazada de mycelium en las raíces y de este modo se extiende el alcance de las raíces. El efecto

beneficioso de mycorrhizae para las plantas es notable en aumentar la absorción de los nutrientes, especialmente de fósforo, y la protección contra ataques de plagas y enfermedades del suelo.

En los arrozales inundados, el helecho acuático *azolla* (*Anabaena azolla*), que vive en asociación con el alga verde-azul fijadora de nitrógeno, es usado como una fuente eficiente de nitrógeno. En condiciones favorables, de un tercio a la mitad de la dosis recomendada de nitrógeno puede ser ahorrada a través de esta clase de abono verde.

LA REACCIÓN DEL SUELO Y EL ENCALADO

La reacción del suelo es otro factor importante para la productividad / fertilidad del suelo y el crecimiento de la planta. Unidades de pH indican la reacción del suelo. Un pH de siete significa que el suelo es químicamente neutral; valores más bajos significan que el suelo es ácido (con una excesiva concentración de iones hidrogenados (H^+) en el complejo de adsorción) y valores más elevados indican alcalinidad [una predominancia de calcio (Ca^{2+}) y/o de cationes de sodio (Na^+)].

El valor pH de suelos productivos normales oscila entre cuatro y ocho y tiene que ser considerado como una característica específica del suelo. Su óptimo es determinado por la etapa de desarrollo del suelo y debería no alterarse excesivamente.

En los trópicos húmedos, el pH del suelo tiende a ser más bien bajo, es decir ácido, a causa del efecto de la lixiviación de lluvias torrenciales. En los trópicos secos, la reacción del suelo puede ser más alta de siete, es decir alcalino, debido a la acumulación de elementos alcalinos tales como calcio y sodio.

Los suelos ácidos son llevados a una reacción menos ácida o neutral a través del encalado. Los requerimientos de cal de un suelo pueden ser estimados por los análisis de pH del suelo. Para corregir la acidez del suelo la cal molida ($CaCO_3$) es uno de

los materiales más efectivos y menos costosos. La cal dolomítica ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) también provee magnesio dónde se necesita. Otros materiales para corregir la acidez del suelo son la marga (CaCO_3), las cenizas de maderas y la harina de hueso ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$). En suelos ácidos, se debe dar preferencia al uso de fertilizantes nitrogenados y fosfóricos que contienen Ca^{2+} como cationes. La enmienda cálcica tiene el efecto positivo de precipitar el aluminio libre, controlando de este modo la toxicidad del Al. Un efecto negativo puede ser que el encalado con un pH 7 puede causar deficiencia de micronutrientes (excepto el molibdeno/Mo) en suelos tropicales. Cuando sea posible, la enmienda cálcica y los fertilizantes (con macro- o micronutrientes) no deberían ser aplicados al mismo tiempo, sino a intervalos de tiempo.

En suelos con un elevado pH (suelos alcalinos), los fertilizantes formadores de acidez tales como el sulfato amónico, nitrosulfato amónico, nitrato amónico o urea deberían preferiblemente ser usados en este orden para corregir la alcalinidad. En suelos salinos / sódicos el yeso es una enmienda útil en la eliminación de sodio (Na).

EL SUELO Y LAS BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS

Para un manejo eficiente del suelo el agricultor mejorará las características deseables del mismo con buenas prácticas agrícolas. Estas prácticas deberían ser técnicamente comprobadas, económicamente atractivas, ambientalmente seguras, factibles en la práctica y socialmente aceptables, para asegurar una elevada y sostenible productividad. Los componentes importantes de las buenas prácticas agrícolas son:

- selección de semillas de calidad de una variedad de alto rendimiento;
- selección del mejor momento y un método apropiado de sembrado, con una densidad de siembra y de población de plantas óptima;

- una adecuada selección de fertilizantes, con dosis, métodos y períodos de aplicación correctos;
- reposición con materia orgánica;
- mantenimiento de una adecuada reacción del suelo (pH);
- medidas apropiadas contra posibles plagas de insectos y enfermedades;
- deshierba y control de la erosión;
- provisión de riego y drenaje; y
- adopción de prácticas de manejo adecuadas.

5. Recomendaciones de fertilizantes para cultivos seleccionados de acuerdo con sus necesidades

Cultivos diferentes necesitan cantidades específicas de nutrientes. Además, la cantidad de nutrientes necesaria depende en gran parte del rendimiento obtenido (o esperado) del cultivo. Las diferentes cantidades de nutrientes extraídas por algunos cultivos mundiales con rendimientos buenos y medios se muestran en el Cuadro 1.

Las diferentes variedades de un cultivo también diferirán en sus requerimientos de nutrientes y su respuesta a los fertilizantes. Una variedad local no responderá tan bien a los fertilizantes como una variedad mejorada; por ejemplo, el maíz híbrido dará a menudo una mejor respuesta a los fertilizantes y producirá rendimientos mucho más altos que las variedades locales.

Aunque las cifras dadas en el Cuadro 1 son una primera buena indicación de las necesidades de nutrientes de las plantas al respectivo nivel de rendimiento, otros factores han sido tomados en cuenta para determinar el requerimiento real del

CUADRO 1. Extracción de nutrientes por cultivos¹ (kg/ha)

	Rendimiento kg/ha	Nitrógeno N	Fósforo P ₂ O ₅	P	Potasio K ₂ O	K	Ca	Mg	S
Arroz (no descascarado)	3 000	50	26	11	80	66	-	-	-
	6 000	100	50	22	160	133	19	12	10
Trigo	3 000	72	27	12	65	54	-	-	-
	5 000	140	60	26	130	108	24	14	21
Maíz	3 000	72	36	16	54	45	-	-	5
	6 000	120	50	22	120	100	24	25	15
Papas	20 000	140	39	17	190	158	2	4	6
	40 000	175	80	35	310	257	-	23	16
Batatas	15 000	70	20	9	110	91	-	-	-
	40 000	190	75	33	390	324	28	9	-
Mandioca	25 000	161	39	17	136	113	44	16	-
	40 000	210	70	31	350	291	57	-	-
Caña de azúcar	50 000	60	50	22	150	125	-	-	-
	100 000	110	90	39	340	282	-	50	38
Cebollas	35 000	120	50	22	160	133	-	-	21
Tomates	40 000	110	30	13	150	125	-	17	54
Pepino	35 000	60	45	20	100	83	-	36	-
Alfalfa (heno)	7 000	215 ²	60	26	130	108	164	19	19
Soja	1 000	160 ²	35	15	80	66	-	-	-
	2 400	224 ²	44	19	97	81	-	18	-
Frijoles	2 400	155 ²	50	22	120	100	-	-	-
Maní	1 500	105 ²	15	7	42	35	19	11	12
Algodón (semilla + fibras)	1 700	73	28	12	56	46	6	4	5
	5 000	180	63	27	126	105	-	35	30
Tabaco (hojas secas)	1 700	90	22	10	129	107	48	6	4

- Datos no disponibles

1. Nutrientes contenidos en la parte cosechada de la planta (ya sea aérea o subterránea) para el rendimiento del cultivo indicado. Téngase en cuenta que no coinciden con las necesidades de fertilizantes.

2. Los cultivos leguminosos pueden obtener la mayoría de su nitrógeno del aire.

Fuente: Comité Consultivo de la Industria de Fertilizantes, FIAC

fertilizante, por ejemplo las reservas de nutrientes del suelo así como una posible indisponibilidad de los nutrientes aplicados a las raíces de las plantas por fijación, lixiviación u otras pérdidas. De allí que, los requerimientos de nutrientes son en general más elevados que la extracción de nutrientes por los cultivos.

A continuación se dan recomendaciones de fertilizantes acordes a las necesidades de los cultivos, basadas en la experiencia de países seleccionados y publicadas internacionalmente⁷.

Arroz

Para el arroz, en zonas bajas en Filipinas, se recomienda dosis de 80 a 100 kg/ha de N, 30 a 50 kg/ha de P_2O_5 y 30 kg/ha de K_2O .

Para el arroz de zonas bajas y de altos rendimientos, variedad mejorada en India: 125 kg/ha de N, 30 kg/ha de P_2O_5 y 50 kg/ha de K_2O . El fertilizante nitrogenado debería ser aplicado en dos, o aún mejor dividido en tres aplicaciones: 1/3 de fondo, 1/3 en ahijamiento, 1/3 en la formación de la panícula.

Trigo

El cultivo de trigo irrigado en India: de 80 a 120 kg/ha de N, dependiendo del cultivo previo, de 40 a 60 kg/ha de P_2O_5 y de K_2O sobre la base de los datos de análisis del suelo (dónde no fueran disponibles 40 kg/ha de K_2O son recomendados). Con riego limitado: 60 kg/ha de N, 30 kg/ha de P_2O_5 y de K_2O basados en los resultados de los análisis del suelo (donde no sean disponibles de 20 a 30 kg/ha de K_2O son recomendados).

La mitad del nitrógeno y todo el P_2O_5 y K_2O antes de la siembra; la mitad restante de N como abono de cobertura en el primer riego.

⁷ La mayoría de los datos dados aquí son adaptados del *IFA World fertilizer use manual*, IFA, París 1992.

Maíz

Para las variedades híbridas en Indonesia: de 120 a 180 kg/ha de N, de 45 a 60 kg/ha de P_2O_5 y de 30 a 60 kg/ha de K_2O . Para las variedades locales: de 45 a 90 kg/ha de N, de 30 a 45 kg/ha de P_2O_5 y hasta 30 kg/ha de K_2O .

N en dos o tres aplicaciones fraccionadas, todo el P_2O_5 y K_2O con la primera aplicación de N a la siembra.

Sorgo y mijo

Bajo clima húmedo y rendimientos medios: de 20 a 60 kg/ha de N, de 20 a 40 kg/ha de P_2O_5 y de 20 a 50 kg/ha de K_2O . Bajo riego y rendimientos altos: de 50 a 100 kg/ha de N, de 40 a 60 kg/ha de P_2O_5 y de 50 a 100 kg/ha de K_2O .

Aproximadamente la mitad de N con todo el P_2O_5 y K_2O aplicado a la siembra, el resto de N en una o dos aplicaciones al macollamiento o al comienzo de la floración.

Papas

Las recomendaciones dadas en Colombia: 85 kg/ha de N, 175 kg/ha de P_2O_5 y 40 kg/ha de K_2O ; en República Dominicana: 95 kg/ha de N, 95 kg/ha de P_2O_5 y 95 kg/ha de K_2O ; y en la República de Mauricio: 78 kg/ha de N, 78 kg/ha de P_2O_5 y 120 kg/ha de K_2O . Todo N, P_2O_5 y K_2O – preferiblemente localizado en franjas (pero sin contacto con los tubérculos) – antes de la plantación.

Sólo en suelos ligeros, mitad de N a la siembra y mitad al inicio de la tuberización. Dependiendo de las condiciones del suelo, en lugar de cloruro potásico, el sulfato potásico o el sulfato potásico-magnésico pueden dar algún beneficio.

Mandioca

Recomendaciones dadas en Tailandia: 90 kg/ha de N, 45 kg/ha de P_2O_5 y 95 kg/ha de K_2O . Generalmente aportado como abono

de fondo de NPK cerca de las estacas plantadas en franjas cortas y como una o dos aplicaciones de cobertura de N y de K_2O de dos a cuatro meses después de la plantación.

Frijoles

Variedades mejoradas en suelos pesados y medios en Egipto: 36 kg/ha de N, 72 kg/ha de P_2O_5 y dos aplicaciones de cobertura después de la siembra, cada una de 57 kg/ha de K_2O . El N es aplicado a la siembra para ayudar la fijación. Sin embargo, en donde *Rhizobium leguminisarum* se presenta en el suelo, no es necesario N. En donde *R. leguminisarum* no es presente, las semillas deberían ser inoculadas antes de la siembra.

Pepinos

En suelos arenosos ligeros, en el área semiárida de Senegal: sumado al abono orgánico, 130 kg/ha de N, 95 kg/ha de P_2O_5 y 200 kg/ha de K_2O . Un tercio del N y K_2O con todo el P_2O_5 es aplicado antes de la plantación, un tercio a los 30 días y un tercio a los 50 días después de la plantación para ambos N y K_2O .

Cebollas

En acrisoles ácidos en Nigeria, al menos dos semanas antes del trasplante, son aplicadas 2 t/ha de CaO. Veinte días después del trasplante son aplicados 75 kg/ha de N, 70 kg/ha de P_2O_5 y 180 kg/ha de K_2O ; y alrededor de 35 días después del trasplante otros 75 kg/ha de N.

Caña de azúcar

Recomendaciones dadas para la región subtropical en India: de 100 a 250 kg/ha de N (tres aplicaciones separadas por año después de la plantación), 60 kg/ha de P_2O_5 (como por requerimiento) y 80 kg/ha de K_2O .

Banana

Para buenos rendimientos promedios en la República de Côte d'Ivoire (suelos ácidos) las recomendaciones, sumadas al encalado, son de 300 a 500 kg/ha de N, de 30 a 100 kg/ha de P_2O_5 y de 600 a 1200 kg/ha de K_2O . Normalmente la propagación es hecha a mano en círculos de 1,0 a 1,5 m de diámetro alrededor del pseudo-tronco en algunas aplicaciones fraccionadas.

Algodón

Para las provincias de Egipto en el Delta del Nilo, además del abono orgánico, son recomendados de 145 a 180 kg/ha de N, de 35 a 70 kg/ha de P_2O_5 y, cuando fuese necesario, de 55 a 60 kg/ha de K_2O . N es dado en 2 aplicaciones separadas en el aclareo un mes después de la siembra, y un mes más tarde. P_2O_5 y K_2O son aplicadas antes de la siembra o conjuntamente con la mitad del N también en el aclareo.

Las plantas de algodón son sensibles a la acidez del suelo, de allí que el encalado sería llevado a cabo algunos meses antes de la plantación (preferiblemente con cal dolomítica, que también suministra magnesio, Mg).

Para recomendaciones más detalladas de cómo aplicar fertilizantes minerales, vea el Capítulo 9.

Las recomendaciones de fertilizantes dadas anteriormente demuestran la importancia de respetar las condiciones regionales de crecimiento, es decir: el tipo de suelo, el clima, las lluvias, el riego, las variedades de cultivo, etc. Las recomendaciones de fertilizantes minerales óptimas para su región deberían ser determinadas en cooperación con la estación experimental local y con los agricultores líderes. Cómo esto se puede hacer se explica en el Capítulo 10.

6. La importancia de la fertilización equilibrada

El Nitrógeno, «*motor del crecimiento de la planta*», normalmente mostrará su eficiencia poco después de su aplicación: las plantas desarrollarán un color verde oscuro y crecerán más vigorosamente. Sin embargo, el nitrógeno excesivo, desequilibrado en cereales / arroz puede resultar en vuelco, mayor competencia de malas hierbas y ataques de plagas, con pérdidas sustanciales de producción de cereal o de arroz (en otros cultivos decrecerá la calidad, particularmente la capacidad de almacenamiento). Además, el nitrógeno no absorbido por el cultivo posiblemente se pierda en el ambiente.

Cuando el agricultor tiene recursos financieros limitados o no dispone de crédito, cuando la tenencia de la tierra es insegura, y si, por ejemplo, la urea es ofrecida en el mercado a un precio por unidad de nitrógeno comparativamente atractiva, el agricultor – esperando un inmediato y evidente beneficio – suministrará a sus cultivos exclusivamente con nitrógeno. A corto plazo esta es una decisión lógica. Consecuentemente, la mayoría del aumento del consumo de nitrógeno a escala mundial ha respondido al uso de urea⁸.

⁸ Desde 1973/74 a 1997/98 el consumo de urea ha aumentado de 8,3 millones de toneladas de N a 37,6 millones de toneladas de N, de un 22 por ciento a un 46 por ciento del total de N consumido. La mayoría del aumento en el consumo de fosfato ha sido en forma de fosfato diamónico. El mercado de potasa es dominado por el cloruro de potasio. La preferencia dada a los fertilizantes simples de alta concentración, particularmente en el caso del nitrógeno con la urea, ha resultado en muchos países en desarrollo en uso desequilibrado de fertilizantes en favor del nitrógeno, especialmente en Asia: la razón promedio global N:P₂O₅:K₂O cayó de 1:0,6:0,5 en 1973/74 a 1:0,4:0,3 en 1998/99. (Fuente: IFA, 1999)

Tal preferencia desequilibrada o sesgada puede ser justificada en suelos ricos en fósforo, potasio y todos los otros elementos secundarios y los micronutrientes necesarios en una forma disponible para las plantas. Sin embargo, los rendimientos más altos tomarán mayores cantidades de los otros nutrientes (principalmente fósforo y potasio) del suelo. De este modo, los rendimientos crecientes a través de aplicaciones de nitrógeno solamente agotan los suelos de los otros nutrientes. La investigación del Instituto Internacional de Investigación sobre el Arroz sugiere que bajo sistemas intensivos de cultivo de arroz tras arroz, la demanda de fósforo y de potasio aumente en el tiempo. La investigación mostró que, sin la aplicación de fósforo y de potasio, la eficiencia del nitrógeno declina, mientras que cuando todos los nutrientes son aplicados conjuntamente la eficiencia del potasio y del fósforo aumenta sostenidamente, indicando interacciones entre estos nutrientes⁹. De este modo, en todos los suelos agotados, que han sido cultivados por períodos prolongados, además de las inevitables pérdidas¹⁰, una fertilización desequilibrada en favor del nitrógeno es no sólo contraria a las buenas prácticas agrícolas, es también una pérdida de trabajo y de capital, es dañina para el medio ambiente y no es sostenible.

De allí que sea necesaria la fertilización equilibrada para un uso óptimo del fertilizante. Las plantas son como las personas: una dieta equilibrada es necesaria y no es suficiente comer excesivamente de una clase de alimento. Si la dieta es desequilibrada, los seres humanos eventualmente se enferman.

⁹ S.K. De Datta, 1994. *Sustainable rice production: challenges and opportunities* In: *International Rice Commission Newsletter; Progress assessment and orientation in the 1990s*, FAO, Roma.

¹⁰ Además de la eliminación a través de los cultivos, los nutrientes se pierden aún más por lixiviación, erosión, fijación en las partículas del suelo, etc. Las pérdidas de nutrientes causadas por desnitrificación, volatilización y lixiviación natural son inevitables, aún con las mejores prácticas agrícolas.

Lo mismo les ocurre a las plantas. Más aún, las plantas no pueden moverse para buscar los nutrientes que le faltan. En consecuencia, las condiciones deben ser tan favorables como sea posible en las inmediaciones donde crecen. Un esfuerzo debería hacerse para mantener el pH del suelo a un nivel óptimo a través de enmienda cálcica o de aplicación de yeso (en suelos alcalinos), y para suministrar material orgánico, agua y una fertilización equilibrada.

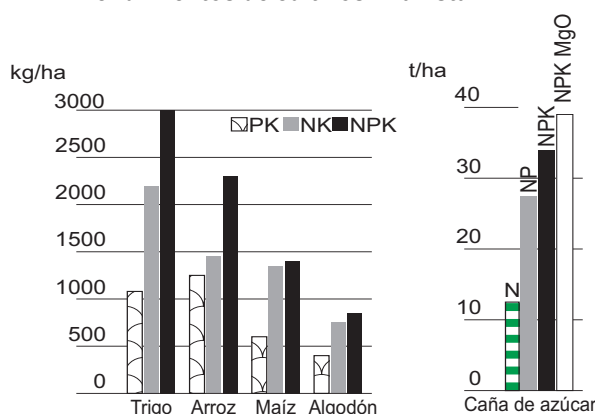
Ha sido demostrado que los nutrientes primarios o secundarios y los micronutrientes, que son los más carentes en el suelo, limitan el rendimiento y /o afectan la calidad; ellos no pueden ser sustituidos por algunos otros nutrientes. En consecuencia, para algunas prácticas agrícolas, la fertilización equilibrada esencialmente significa una oferta de nitrógeno, fósforo y potasio en relación con las reservas del suelo, los requerimientos y los rendimientos esperados del cultivo, con el agregado de magnesio, azufre y microelementos donde sea necesario. La Figura 6 demuestra claramente el efecto de la fertilización equilibrada sobre resultados obtenidos en Pakistán.

Además, el uso integrado de fertilizante en prácticas agrícolas ventajosas proveerá los nutrientes que las plantas necesitan en las cantidades suficientes, en proporciones equilibradas, en la forma disponible y en el período que las plantas lo requieran¹¹. La manera más fácil de lograrlo es a través del uso del complejo de fertilizantes NPK que contiene el grado garantizado / la fórmula de los nutrientes primarios en cada gránulo. Estos fertilizantes también permiten una aplicación uniforme debido a su cualidad granular estable y su tamaño consistente del gránulo¹².

¹¹ Esto, por supuesto, también depende de un sistema de distribución y de mercadeo de fertilizantes económico y eficiente, que incluya el almacenamiento regional y/o local de existencias reguladoras.

¹² La aplicación de fertilizantes en forma no uniforme significa suministrar por demás en algunos lugares del campo (=contaminación) y de menos en otros lugares del mismo (=reducción en el rendimiento).

FIGURA 6. Efecto de la fertilización equilibrada en los rendimientos de cultivos - Pakistán



Nota

La razón total promedio presente entre los nutrientes aplicados en Pakistán: N:P₂O₅:K₂O es 1:0.26:0.02

Fuente: M.I. Bajwa y A. Qidwai, 1986. IFA Regional Agricultural Meeting, New Delhi.

Los fertilizantes complejos NPK son normalmente más costosos que las mezclas / combinaciones. Sin embargo, en la práctica agrícola, la disminución del rendimiento y de la calidad del cultivo puede ser fácilmente mayor que el ahorro obtenido comprando y aplicando productos de baja calidad. Los agricultores deberían ser conscientes de estas consecuencias, porque el argumento más persuasivo para los agricultores tanto en los países en desarrollo como en los desarrollados, es todavía el beneficio que el agricultor recibirá a través de la aplicación de fertilizante a su cultivo durante la estación de aplicación. De allí que, en alguna promoción de nutrición equilibrada de las plantas, el desafío es demostrar los beneficios económicos de la fertilización equilibrada para el agricultor.

7. Fertilizantes, su presentación, calidad y etiquetado

¿Qué es un fertilizante?

Cualquier material natural o industrializado, que contenga al menos cinco por ciento de uno o más de los tres nutrientes primarios (N, P₂O₅, K₂O), puede ser llamado fertilizante. Fertilizantes fabricados industrialmente (Figura 7) son llamados *fertilizantes minerales*.

La presentación de los fertilizantes minerales es muy variada. Dependiendo del proceso de fabricación, las partículas de los

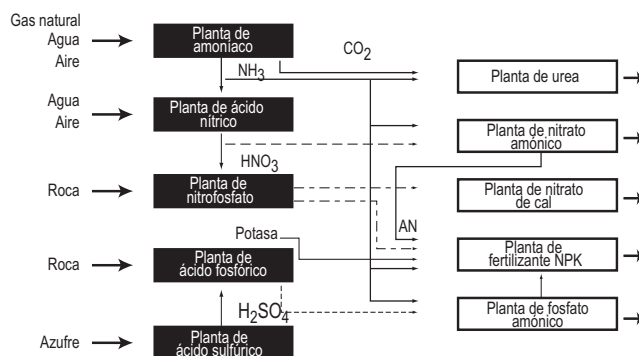
FIGURA 7. Diagrama de flujo de la producción de fertilizantes

El amoníaco es sintetizado de los hidrocarburos (la mayor parte del gas natural pero también de la nafta o del carbón), del nitrógeno atmosférico y del vapor. El dióxido de carbono resultante de su conversión puede ser combinado con el amoníaco para formar la urea.

El ácido nítrico es hecho por oxidación del amoníaco con el aire.

El ácido sulfúrico es producido por la quema del azufre en el aire. La reacción con la roca produce ácido fosfórico.

Las sales de potasio de los depósitos naturales son la fuente de K.



fertilizantes minerales pueden ser de muy diferentes tamaños y formas: gránulos, píldoras, «perlados», cristales, polvo de grano grueso / compactado o fino. La mayoría de los fertilizantes es provista en forma sólida. Los fertilizantes líquidos y de suspensión son importantes principalmente en América del Norte.

Además de su contenido nutritivo específico¹³, la *calidad física* de un fertilizante es determinada por el rango del tamaño de sus partículas (productos tamizados), su densidad / dureza, su resistencia a la humedad y al daño físico, y su libertad de apelmazarse – los fertilizantes de alta calidad gozan de un tratamiento especial de la superficie / recubrimiento. Respecto al transporte, almacenamiento y aplicación en el campo, la densidad / peso específico de un fertilizante es también importante. Normalmente la urea tiene un volumen más grande por unidad de peso que la mayoría de los otros fertilizantes.

Debido a su simplicidad, flexibilidad y seguridad (contra la intemperie y grandes pérdidas así como adulteración) la bolsa de 50 kg es el principal método de distribución para los pequeños agricultores.¹⁴

La mayoría de los gobiernos han establecido regulaciones estrictas a través del Ministerio de Agricultura u otras autoridades, sobre el tipo de bolsas de fertilizantes (o contenedores) en los cuales los fertilizantes minerales son distribuidos a los agricultores y cómo ellos pueden ser etiquetados. La información en la etiqueta contiene el nutriente (primario y/o secundario y/o micronutrientes), los contenidos

¹³ Normalmente el contenido de nutriente es garantizado, sin embargo, esta garantía está dentro de ciertos límites de tolerancia, debido a la producción en gran escala y a los posibles errores al tomar muestras.

¹⁴ Los costos para una bolsa y para el embolsado son ahorrados con distribución a granel. Sin embargo, la distribución a granel necesita un mínimo tonelaje de fertilizantes y tiene que ser bien manejado para evitar posibles pérdidas elevadas en el transporte y almacenamiento.

del fertilizante (en la mayoría de los casos también las formas del nutriente) e indica el análisis o grado.

Los nutrientes primarios son expresados comúnmente en porcentajes N-P₂O₅-K₂O (algunas veces con el agregado de microelementos Mg-S). Ellos son dados siempre en esta secuencia. De este modo, en una fórmula 17-17-17, el primer número es el porcentaje de N, el segundo número el porcentaje de P₂O₅¹⁵ y el tercero el porcentaje de K₂O¹⁵.

El etiquetado también indica el peso de la bolsa, a menudo da recomendaciones para su correcto manipuleo y almacenamiento, y el nombre del productor o del comerciante del fertilizante¹⁶. La mayoría de los fertilizantes también tienen un nombre de marca, el cual es impreso en la bolsa del fertilizante.

Por ejemplo, dos bolsas de fertilizantes de 50 kg de *grado* 17-17-17 contienen 17 kg de N, 17 kg de P₂O₅ y 17 kg de K₂O. Contrariamente al término *grado*, la *fórmula del nutriente* se refiere a las proporciones relativas de los nutrientes respectivos: el grado 17-17-17 debería tener una razón 1:1:1 de N-P₂O₅-K₂O, mientras un grado 12-24-12 debería tener una razón 1:2:1.

Es importante conocer el análisis del fertilizante o el grado para calcular la cantidad correcta de fertilizante para la dosis necesaria de nutrientes a ser aplicada por hectárea. Por ejemplo, un agricultor necesita ocho bolsas de 50 kg (400 kg) de grado 15-15-15 para aplicar una dosis de 60-60-60 por hectárea.

¹⁵ Los términos «P₂O₅» y «K₂O» son convencionalmente usados para expresar los nutrientes de los fertilizantes «fosfato o fósforo» y «potasa o potasio». Son los óxidos de los elementos P y K. (ver Anexo: Factores de conversión).

¹⁶ En el caso del nitrato amónico (33-34,5 por ciento N) el grado de peligrosidad también ha de ser indicado.

GRADOS DE LOS FERTILIZANTES

Los fertilizantes que contienen sólo un nutriente primario son denominados fertilizantes simples. Aquellos conteniendo dos o tres nutrientes primarios son llamados fertilizantes multi-nutrientes, algunas veces también fertilizantes binarios (dos nutrientes) o ternarios (tres nutrientes).

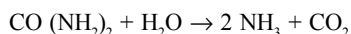
Fertilizantes simples

Algunos de los fertilizantes simples más utilizados (así como regionalmente importantes) son los siguientes:

Urea con 46 por ciento de N, es la mayor fuente de nitrógeno en el mundo debido a su alta concentración y a su precio normalmente atractivo por unidad de N. Sin embargo, su aplicación requiere excepcionalmente buenas prácticas agrícolas para evitar, en particular, las pérdidas por evaporación de amoníaco en el aire. La urea debería ser aplicada sólo cuando sea posible incorporarla inmediatamente en el suelo después de esparcida o cuándo la lluvia se espera en pocas horas después de la aplicación¹⁷.

¹⁷ El amido-N (la forma del nitrógeno en urea) es transformado (hidrolizado) relativamente rápido a través de la actividad de la enzima ureasa, que es ubicua en la superficie del suelo, al amoníaco, CO₂ y H₂O:

Ureasa



Aún a temperaturas relativamente bajas la transformación del amido-N a amoníaco-N es completada en uno o tres días, en condiciones tropicales y subtropicales en pocas horas. Donde la urea no es incorporada en el suelo, pero es dejada en la superficie del suelo, las pérdidas sustanciales por evaporación de amoníaco ocurrirán, particularmente en suelos alcalinos (suelos con un alto valor pH). En donde es incorporado – y una incorporación superficial es suficiente – el amoníaco es atraído (adsorbido) como NH₄⁺ en las partículas de la materia orgánica y arcilla del suelo y de este modo protegido contra las pérdidas por evaporación.

Sulfato amónico, con el 21 por ciento de N (en forma de amoníaco), no es tan concentrado como la urea. Sin embargo, contiene, además del N, el 23 por ciento de azufre, un nutriente que es de creciente importancia. Se usa preferentemente en cultivos irrigados y donde el azufre debe ser aplicado. Lo mismo es cierto para el *nitrosulfato amónico* con el 26 por ciento de N (alrededor de 2/3 como amoníaco y 1/3 como nitrato) y del 13 al 15 por ciento de azufre.

Nitrato amónico cálcico, con por encima del 27 por ciento de N (partes iguales de N como amoníaco y como nitrato), es un fertilizante preferido para los cultivos en las regiones semiáridas de los subtrópicos.

Superfosfato simple, con el 16 al 20 por ciento de P_2O_5 contiene adicionalmente 12 por ciento de azufre y más del 20 por ciento de calcio (CaO).

Superfosfato triple con una concentración del 46 por ciento de P_2O_5 no contiene ni azufre y menos calcio. Ambos tipos de fertilizantes fosfatados contienen el fosfato soluble en agua, en una forma disponible para las plantas.

Una cantidad sustancial de fosfato es aplicada en forma de fertilizantes NP (nitrofosfato, fosfato monoamónico (MAP) y fosfato diamónico (DAP)) y de fertilizantes NPK.

Cloruro potásico, con hasta 60 por ciento de K_2O , es el fertilizante potásico simple líder usado en la mayoría de los cultivos. En cultivos sensibles al cloro o en los cuales el azufre se necesita, se usa el *sulfato potásico* con el 50 por ciento de K_2O y 18 por ciento de azufre. Sin embargo, como con los fertilizantes fosfatados, una gran parte de K_2O es aplicada en la forma de fertilizantes NPK y PK.

El Cuadro 2 presenta los análisis de los fertilizantes comúnmente conocidos.

CUADRO 2. Algunos fertilizantes importantes

Nombres comunes (fórmulas)	Grado o análisis en porcentaje				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	S
Fertilizantes nitrogenados					
Sulfato amónico (NH ₄) ₂ SO ₄	21	0	0	-	23
Nitrato amónico NH ₄ NO ₃	33-34,5	0	0	-	-
Nitrato amónico-cal NH ₄ NO ₃ +CaCO ₃ (nitrato amónico-cálcico)	20,5-26	0	0	-	-
Urea CO(NH ₂) ₂	45-46	0	0	-	-
Nitrosulfato amónico NH ₄ NO ₃ · (NH ₄) ₂ SO ₄	26	0	0	-	15
Fertilizantes fosfatados					
Superfosfato simple Ca(H ₂ PO ₄) ₂ + CaSO ₄	0	16-20	0	-	12
Superfosfato triple o concentrado Ca(H ₂ PO ₄) ₂	0	46	0	-	-
Fosfato de roca molido (fosfato mineral)	0	20-40	0	-	-
Fertilizantes potásicos					
Muriato o cloruro potásico KCl	0	0	60	-	-
Sulfato potásico K ₂ SO ₄	0	0	50	-	18
Sulfato potásico - magnésico K ₂ SO ₄ · 2MgSO ₄	0	0	26-30	5-7	16-22
Fertilizantes de magnesio					
Kieserita MgSO ₄ · 7H ₂ O	-	-	-	16	22
Kieserita calcinada MgSO ₄ · H ₂ O	-	-	-	20	27
Fertilizantes azufrados					
Todos los fertilizantes conteniendo S como anión	-	-	-	-	según fórmula
Yeso CaSO ₄ · 2H ₂ O	-	-	-	-	16-18
Algunos fertilizantes de importancia regional					
Nitrato sódico NaNO ₃	16	0	0	-	-
Fosfato di-cálcico Ca(HPO ₄)	0	35-42	0	-	-
Escoria Thomas	0	16-20	0	1-3	-

CUADRO 3. Fertilizantes multinutrientes – rango de contenidos de nutrientes

Tipo de fertilizante		% N	% P ₂ O ₅	% K ₂ O
Fertilizantes NPK		5 - 26	5 - 35	5 - 26
Fosfatos amónicos	DAP	16 - 18	42 - 48	-
	MAP	11	52	-
Nitrofosfatos	NP	20- 26	6 - 34	-
Fertilizantes PK	PK	-	6 - 30	6 - 30

Los nutrientes secundarios

En el pasado los nutrientes secundarios, particularmente el azufre, no eran siempre listados en la bolsa o contenedor. Esto ha cambiado ahora.

Además de los fertilizantes simples conteniendo magnesio, azufre y/o calcio mencionados anteriormente, el azufre es también contenido en el yeso (16-18 por ciento de S). El sulfato potásico – magnésico o sulfato potásico de magnesio provee fácilmente suministros disponibles de ambos (magnesio, seis por ciento de Mg) y azufre (16–22 por ciento de S).

Para los requerimientos de calcio, vea también el Capítulo 4, *La reacción del suelo y el encalado*.

Fertilizantes multinutrientes

Un gran número de fertilizantes multinutrientes es ofrecido en el mercado mundial. El Cuadro 3 da el rango posible de contenidos de nutrientes de fertilizantes NP, NPK y PK.

Las ventajas más notables de los fertilizantes multinutrientes para el agricultor son:

- facilidad de manipulación, transporte y almacenamiento;
- fácil aplicación;
- alto contenido de nutrientes;
- distribución uniforme de nutrientes en el campo;

- fertilización equilibrada, es decir nitrógeno, fosfato y potasio disponibles juntos desde el inicio y de acuerdo con los requerimientos de las plantas; y
- elevada eficiencia del fertilizante.

En general, hay tres tipos distintos de fertilizantes multinutrientes¹⁸:

- *fertilizantes complejos*: fabricados a través de procesos que incluyen una reacción química entre los componentes que contienen los nutrientes primarios (cada gránulo contiene la fórmula declarada de nutrientes);
- *fertilizantes compuestos*: fertilizantes simples granulados o intermedios, los gránulos contienen los nutrientes en diferentes proporciones;
- *fertilizantes mixtos o mezclados*: mezclas simples mecánicas de los fertilizantes simples (la mezcla puede no ser homogénea si no se tiene cuidado).

Los grados de los fertilizantes multinutrientes típicos NPK y NP son:

1. complejo NPK / fertilizantes compuestos:
22-22-11, 19-19-19, 17-17-17, 14-35-14, 14-28-14, 15-15-15, 13-13-21, 12-24-12, 12-12-17, 11-22-22, 10-26-26.
2. complejo NP / fertilizantes compuestos:
28-28-0, 26-14-0, 24-24-0, 23-23-0, 20-20-0, 18-46-0, 16-20-0.

Añadidos a los nutrientes primarios (el nitrógeno, el fósforo y el potasio), diversos tipos de fertilizantes también contienen nutrientes secundarios tales como magnesio, azufre y calcio. Algunos también contienen micronutrientes tales como hierro, cobre, zinc, manganeso, boro y molibdeno. De este modo, al elegir el grado correcto, el agricultor tiene la posibilidad de aplicar todos los nutrientes necesarios en un fertilizante único.

¹⁸ Adaptado de *FAO Fertilizer and plant nutrition guide, Bulletin 9*, Roma, 1984.

Micronutrientes

Los micronutrientes requieren una atención y cuidado especial porque hay un margen estrecho entre el exceso y la deficiencia en las necesidades de microelementos de las plantas.

Los micronutrientes son necesarios sólo en pequeñas cantidades. Si se aplica demasiado de un microelemento dado (por ejemplo boro), puede tener un efecto dañino en el cultivo y / o en el cultivo subsiguiente. Los fertilizantes compuestos especiales pueden ser preparados conteniendo micronutrientes conjuntamente con los grados NPK para suelos y cultivos en los cuales las deficiencias existentes son conocidas.

En muchos casos, las deficiencias de los microelementos son causadas a través de un pH del suelo o sea demasiado bajo (ácido), o más aún, demasiado alto (de neutral a alcalino), de este modo un cambio en el pH del suelo puede pasar a los microelementos en una forma disponible para las plantas.

Cada vez que sean necesarios los fertilizantes micronutrientes, se debería consultar a un especialista de fertilizantes de la estación experimental local.

Una dosis de aplicación más exacta y normalmente también una eficiencia mayor es posible a través del uso de pulverización o de tratamientos de semillas con micronutrientes (formulados como polvos o líquidos). Los tipos de fertilizantes con micronutrientes se presentan en el Cuadro 4.

El complejo de componentes orgánicos de hierro, zinc, manganeso y cobre – quelatos¹⁹ – aumentarán significativamente la eficiencia de los micronutrientes aplicados, particularmente del hierro, que es difícilmente absorbido en forma no quelatada.

¹⁹ Los quelatos forman complejos orgánicos de moléculas que protegen los microelementos de la fijación y facilitan una mejor absorción a través de la planta.

CUADRO 4. Algunos fertilizantes con micronutrientes importantes

Portador de micronutrientes	(fórmula)	Micronutrientes
Sulfato ferroso	FeSO ₄ .7H ₂ O	Hierro (Fe)
Sulfato de cobre	CuSO ₄ .5H ₂ O	Cobre (Cu)
Sulfato de zinc	ZnSO ₄ .7H ₂ O	Zinc (Zn)
Sulfato de manganeso	MnSO ₄ .7H ₂ O	Manganeso (Mn)
Bórax	Na ₂ B ₄ O ₇ .10H ₂ O	Boro (B)
Molibdato de sodio	Na ₂ MoO ₄ .10H ₂ O	Molibdeno (Mo)

FERTILIZANTES DE LIBERACIÓN LENTA / INHIBIDORES DE NITRIFICACIÓN Y DE UREASA

Los fertilizantes de liberación controlada o lenta²⁰ contienen el nutriente (normalmente nitrógeno) en una forma que – después de la aplicación – demora significativamente más tiempo su disponibilidad para la absorción de la planta que un fertilizante común. Este efecto se logra ya sea cubriendo un fertilizante común (nitrógeno o NPK) con azufre o con un material (semipermeable) polímero, ya sea por especiales formulaciones químicas compuestas de nitrógeno. Debido a que la liberación del nitrógeno de fertilizantes de liberación controlada o lenta generalmente también depende de la temperatura del suelo y de la humedad, el nitrógeno será disponible de acuerdo al crecimiento de la planta.

Las principales ventajas son el ahorro del laboreo (en lugar de varias aplicaciones repartidas se necesita sólo una para el período completo de crecimiento), reduciendo la toxicidad a la siembra aún con altas tasas de aplicación y ahorro de fertilizantes para una mejor eficiencia del nitrógeno (con el 15 al 20 por ciento

²⁰ No hay diferenciación oficial entre fertilizantes de liberación lenta y fertilizantes de liberación controlada. Sin embargo, comúnmente los productos N microbiológicamente descompuestos, tales como formaldehidos de urea, son referidos a fertilizantes de liberación lenta y los productos encapsulados o recubiertos a fertilizantes de liberación controlada.

menos de nitrógeno aplicado, el mismo rendimiento ha sido obtenido como con fertilizantes nitrogenados comunes).

Aunque estos beneficios han sido principalmente probados en arroz, una desventaja para la agricultura general es que el costo por unidad de nutriente es considerablemente más elevado que el de un fertilizante común. De allí que tales fertilizantes de liberación controlada y de respuesta lenta son usados casi exclusivamente en cultivos de elevado valor, tales como las hortalizas.

Los inhibidores de nitrificación y de ureasa son más económicos para uso en la agricultura en general. Los inhibidores de nitrificación son compuestos que, cuando son agregados a los fertilizantes nitrogenados en forma de amoníaco, retrasan la transformación de los iones del amoníaco (NH_4^+) retenidos por el complejo de adsorción a nitritos y posteriormente a nitratos (NO_3^-) a través de la actividad bacteriana del suelo; de este modo se previene la lixiviación del nitrato no absorbido inmediatamente por el cultivo.

Los inhibidores de ureasa reducen la transformación del amido-N de la urea a amoníaco de alrededor de 10 a 12 días; de este modo se previenen, o se reducen, las pérdidas por evaporación de amoníaco en el aire cuando el tiempo permanece seco o la urea no puede ser incorporada en el suelo inmediatamente después de la aplicación.

Ambos inhibidores de nitrificación y de ureasa son mezclados completamente con los fertilizantes nitrogenados antes de esparcirse y son después propagados conjuntamente en la mezcla. Dependiendo de la cantidad de amoníaco o de amido nitrogenado contenida en el fertilizante nitrogenado, la dosis de aplicación es de unos pocos kilogramos o litros por hectárea.

El uso de los inhibidores de nitrificación y de ureasa da rendimientos mayores o mantiene el mismo nivel de rendimiento con dosis reducidas de nitrógeno (comparadas con los fertilizantes nitrogenados sin la enmienda de los inhibidores de

nitrificación y de ureasa) debido a pérdidas reducidas de nitrato o amoníaco.

8. Cálculo de las dosis de los fertilizantes

La cantidad de fertilizante a ser aplicada por hectárea o en un campo es determinada a través de la cantidad de nutrientes necesarios y de los tipos y grados de fertilizantes disponibles. Los fertilizantes minerales normalmente son expedidos en bolsas de 50 kg. De allí que el agricultor tenga que saber la cantidad de nutrientes contenidos en una bolsa de 50 kg. La manera más fácil de calcular el peso de los nutrientes en una bolsa de 50 kg es de dividir el número impreso en la bolsa por dos.

Ejemplo: ¿Cuántas bolsas de sulfato amónico (AS) (con 21 por ciento de N y 24 por ciento de S) son necesarias para suministrar 60 kg/ha de N? 21 dividido entre 2 resulta 10,5. De este modo aproximadamente seis bolsas de AS se necesitan para proveer (un poco más de) 60 kg/ha N. Además, seis bolsas de AS ofrecerán 72 kg/ha de azufre (S).

Si el área del campo es de sólo 500 m² (metros cuadrados), la cantidad requerida de fertilizantes debería ser un vigésimo de aquélla por hectárea; un hectárea: 10 000 m² divididos entre 500 m² = 20, es decir, para un área de 500 m², 300 / 20 = 15 kg de sulfato amónico son necesarios para aplicar la cantidad de nitrógeno correspondiente a 60 kg/ha de N.

Si la recomendación es 60-60-60, la opción más fácil para el agricultor es comprar un fertilizante multinutriente de grado 15-15-15. Una bolsa de 50 kg contiene 7,5-7,5-7,5. Sesenta dividido entre 7,5 da 8. De este modo ocho bolsas de 50 kg de 15-15-15 se necesitan para aplicar la dosis recomendada de 60 kg/ha de N, 60 kg/ha de P₂O₅ y 60 kg/ha de K₂O.

Cuando la recomendación por hectárea es 60-30-30, con ocho bolsas de 50 kg de grado 15-15-15, el agricultor aplicará el doble

de la cantidad de fosfato y de potasio necesario. En este caso se aplicarán sólo cuatro bolsas de 50 kg por hectárea, dando la mitad de la dosis recomendada de nitrógeno y la dosis completa de fosfato y de potasio como abono de fondo. Los restantes 30 kg/ha de N deberían ser aplicados en la forma de fertilizante nitrogenado simple con una o dos aplicaciones de cobertura acompañadas de buenas prácticas agrícolas.

La situación es más complicada si la recomendación por hectárea es 60 kg de N, 30 kg de P_2O_5 y 50 kg de K_2O y no hay grado con la correspondiente fórmula disponible 2-1-1,7 (o 1-1-1,7 más directamente N). En esta situación el agricultor tiene tres posibilidades:

1. Puede tratar de combinar los grados de multinutrientes disponibles con los fertilizantes simples (esencialmente nitrogenados), dividiendo la dosis recomendada del fertilizante nitrogenado.
2. Puede fijar un plan de uso del fertilizante para cubrir la rotación total de cultivo, aplicando el nitrógeno cada año exactamente en la dosis recomendada para el cultivo individual y el fosfato y el potasio independientemente del cultivo individual. Sin embargo el P_2O_5 y K_2O deberían ser aplicados en cantidades tales que finalmente la cantidad total recomendada para todos los cultivos en la rotación de cultivo sea dada.
3. Puede aplicar fertilizantes simples separadamente, o puede mezclar fertilizantes simples para producir su propio fertilizante multinutriente o mezclar de acuerdo a la fórmula de nutriente necesaria.

La dosis recomendada de 60-30-50 podría ser una mezcla de sulfato amónico (21 por ciento de N), en la cual también el azufre sea necesario, o de urea (45 por ciento de N), triple superfosfato (46 por ciento de P_2O_5) o fosfato diamónico (18 por ciento de N y 46 por ciento de P_2O_5) y cloruro potásico (60 por ciento de K_2O).

Para lograr la correspondiente mezcla / combinación de material fertilizante se necesitan las cantidades siguientes:

$$\begin{array}{l} \text{Urea :} \quad \frac{60 \text{ kg/ha} \times 100}{45} = 133 \text{ kg/ha}^{21} \\ \text{Superfosfato triple:} \quad \frac{30 \text{ kg/ha} \times 100}{46} = 65 \text{ kg/ha}^{21} \\ \text{Cloruro potásico:} \quad \frac{50 \text{ kg/ha} \times 100}{60} = 83 \text{ kg/ha}^{21} \end{array}$$

La mezcla resultante de urea, triple superfosfato y cloruro potásico debería ser esparcida en el campo tan pronto como sea posible después de combinarlos.

Cuando se usa el sulfato amónico en lugar de la urea, el agricultor necesita las siguientes cantidades de sulfato amónico:

$$\text{Sulfato amónico:} \quad \frac{60 \text{ kg/ha} \times 100}{21} = 286 \text{ kg/ha}^{21}$$

Sumados a los 60 kg de N, 30 kg de P_2O_5 y 50 kg de K_2O esta combinación debería contener también 69 kg/ha de azufre (S).

Si el fosfato diamónico es usado en lugar del superfosfato triple, la cantidad necesaria debería estar basada en la dosis recomendada para el fosfato:

$$\text{Fosfato diamónico:} \quad \frac{30 \text{ kg/ha} \times 100}{46} = 65 \text{ kg/ha}^{21}$$

Este suministraría también 12 kg/ha²¹ de N. Los restantes 48 kg/ha de N podrían ser incorporados en la mezcla o aplicados directamente en una o dos aplicaciones en la forma de un fertilizante nitrogenado simple.

Sin embargo, no todos los fertilizantes pueden ser mezclados conjuntamente. Los fertilizantes, que son mezclados conjuntamente deben ser ambos compatibles *químicamente* y *físicamente*.

Tendrían que ser químicamente compatibles para evitar el apelmazamiento debido a la creciente higroscopicidad o pérdidas

²¹ Cifras redondeadas hacia arriba y hacia abajo.

gaseosas de amoníaco. Cuando los fertilizantes que contienen amoníaco se mezclan con escorias Thomas, rocas fosfatadas o enmienda cálcica, se darían las pérdidas por evaporación de amoníaco.

Del mismo modo, los fertilizantes fosfatados solubles en agua (superfosfatos simples y triples, nitrofosfatos y fosfatos amónicos) no deberían mezclarse con fertilizantes conteniendo calcio (por ejemplo: nitrato de cal), dado que el calcio revertirá en forma insoluble el fosfato soluble en agua.

Las mezclas de urea y de superfosfatos o de fosfatos amónicos y superfosfatos deberían ser evitadas.

Para prevenir un aumento en la higroscopicidad, como regla general las mezclas o combinaciones deberían siempre ser esparcidas tan pronto como sea posible después de prepararlas.

Los fertilizantes que están para ser mezclados deberían ser compatibles *físicamente*, es decir: deberían ser gránulos de tamaño similar y ser también de densidad similar para prevenir la segregación durante el manipuleo, almacenamiento y esparcimiento. Esto es de importancia fundamental cuando se usa un equipo de distribución centrífuga. Sin embargo, la segregación es posible también cuando la mezcla es esparcida al voleo a mano.

Para evitar los errores de mezclas cuando se prepara la mezcla necesaria en el campo, el agricultor puede aprovechar los servicios de su vendedor minorista de fertilizantes en la región con una unidad de mezcla (la inversión para una mezcla o instalación de combinación a granel²² es normalmente relativamente baja).

El vendedor minorista puede preparar mezclas individuales con proporciones de nutrientes calculadas de acuerdo con las

²² Combinación a granel = los fertilizantes mixtos preparados sin reacción química a través de mezcla de fertilizantes granulados, secos o materiales de fertilizantes. Normalmente son preparados poco antes de ser usados y transportados a la finca a granel.

necesidades de los suelos y de los cultivos del agricultor. Sabrá qué tipos de fertilizantes pueden ser mezclados y cuáles no. Sin embargo, dado que el agricultor no puede normalmente comprobar el contenido y la calidad de los nutrientes, particularmente con las mezclas o combinaciones de fertilizantes, el minorista que prepara la combinación debería ser conocido como confiable y seguro.

9. Cómo aplicar los fertilizantes

El método de aplicación de los fertilizantes (abono orgánico o fertilizantes minerales) es un componente esencial de las buenas prácticas agrícolas. La cantidad y la regulación de la absorción dependen de varios factores, tales como la variedad del cultivo, la fecha de siembra, la rotación de cultivos, las condiciones del suelo y del tiempo. En las prácticas agrícolas eficientes, el agricultor escoge la cantidad y la oportunidad en el tiempo, de manera que las plantas usen los nutrientes tanto como sea posible. Para un aprovechamiento óptimo del cultivo y un potencial mínimo de contaminación del medio ambiente, el agricultor debe suministrar los nutrientes en el momento preciso que el cultivo los necesita. Esto es de gran relevancia para los nutrientes móviles como el nitrógeno, que pueden ser fácilmente lixiviados del perfil del suelo, si no es absorbido por las raíces de las plantas.

En los casos de aplicación de urea y de fosfato diamónico, las pérdidas pueden darse a través de la emisión de amoníaco en el aire. Ambos fertilizantes deben ser incorporados en el suelo inmediatamente después de la aplicación, si no hay una lluvia inmediata o riego para incorporarlos en el suelo. Es de importancia particular en los suelos alcalinos (calcáreos).

Todos los nutrientes primarios y secundarios deberían ser incorporados inmediatamente después de la aplicación en las

regiones en las que se esperan lluvias abundantes, para evitar pérdidas debidas al escurrimiento y a la erosión.

Cuando el fertilizante es aplicado a mano, debería tenerse un cuidado extremo para distribuir los nutrientes uniformemente y en las dosis exactas. Donde se usa equipo de aplicación de fertilizantes, éste debería ser ajustado a fin de asegurar un esparcimiento uniforme y en proporciones correctas. El equipo debe ser mantenido en buenas condiciones.

A VOLEO

El esparcimiento a voleo del fertilizante (es decir aplicándolo a la superficie de un campo) es usado principalmente en cultivos densos no sembrados en filas o en filas densas (pequeños granos) y en prados. Es también usado cuando los fertilizantes deberían ser incorporados en el suelo después que la aplicación sea efectiva (fertilizantes fosfatados), o para evitar las pérdidas por evaporación de nitrógeno (urea, fosfato diamónico). La incorporación a través de la labranza o arada es también recomendada para aumentar el nivel de fertilidad de la capa arada entera. Si el fertilizante es esparcido a voleo a mano o con un equipo de distribución de fertilizante, el esparcimiento debería ser tan uniforme como sea posible.

LOCALIZACIÓN EN BANDAS O HILERAS

Cuando la aplicación del fertilizante es localizada (poniendo el fertilizante sólo en lugares seleccionados en el campo), el fertilizante es concentrado en partes específicas del suelo durante la siembra, que puede ser ya sea en bandas o en una franja debajo de la superficie del suelo o al lado de, y debajo de, la semilla. Este proceso puede ser realizado a mano o por medio de equipos especiales de siembra y / o equipos para la aplicación del fertilizante (*sembradora de semilla y fertilizante*). Es preferible usarlo para cultivos en hileras, que tienen relativamente

grandes espacios entre las filas (maíz, algodón y caña de azúcar); o en suelos con una tendencia a la fijación de fosfato y potasio; o donde cantidades relativamente pequeñas de fertilizantes son usadas en suelos con un bajo nivel de fertilidad.

En los lugares en los cuales los cultivos son trabajados a mano y plantados en colinas, el número de gramos de fertilizantes recomendado es ubicado en la hilera o en el hoyo cavado (medido preferiblemente con un tarro o lata), debajo, o al lado de la semilla, y cubierto con tierra. Se debe tener mucho cuidado que ningún fertilizante sea ubicado demasiado cerca a la semilla o a la plántula para evitar la toxicidad, es decir daño por sal en el sembrado (quemando las raíces).

APLICACIÓN EN COBERTERA

El abono en cobertera (esparciendo el fertilizante a voleo sobre un cultivo en pie) es usado principalmente en cultivos de granos pequeños y grandes y en cultivos tales como forrajes. La aplicación en cobertera es una práctica normal en suelos en los cuales hay necesidad de nitrógeno adicional y en cultivos en los cuales una aplicación simple de la cantidad total de nitrógeno necesario en el momento de la siembra podría llevar a pérdidas a través de la lixiviación, o donde los cultivos muestran una necesidad especial de nitrógeno en ciertas etapas de desarrollo. El nitrato móvil se mueve hacia abajo en el suelo y puede ser tomado por las raíces de las plantas.

El abono en cobertera de potasio, que no se mueve en el suelo al mismo grado del nitrógeno, podría ser recomendado en suelos ligeros, es decir aplicando la cantidad total dividida entre un abono de fondo y uno de cobertera.

El fosfato difícilmente se mueve en el suelo. De aquí que sea aplicado usualmente antes o en el momento de la siembra o de la plantación (aplicación de fondo), preferiblemente combinado con potasio y parte del nitrógeno. El nitrógeno restante debería ser

aplicado como un abono en cobertera en una o más aplicaciones separadas.

APLICACIÓN ENTRE LÍNEAS

Aplicar el fertilizante entre líneas es la práctica de ponerlo al lado de las plantas espaciadas ampliamente en hileras tales como maíz, algodón y caña de azúcar. Los árboles y otros cultivos perennes son también abonados de esta manera.

APLICACIÓN FOLIAR

La aplicación foliar es el método más eficiente de suministro de micronutrientes (pero también de N o NPK en una situación crítica para el cultivo) que son necesarios solamente en pequeñas cantidades y pueden llegar a ser indisponibles si son aplicados en el suelo. Para minimizar el riesgo de quemado de las hojas, la concentración recomendada tiene que ser respetada y propagada preferiblemente en días nublados y en las primeras horas de la mañana o en las últimas del atardecer (para evitar que las gotitas se sequen inmediatamente).

10. Cómo determinar las necesidades de los fertilizantes

Para determinar las necesidades de fertilizantes para los cultivos y suelos en su región, usted debe saber dos cosas:

1. ¿Cuáles nutrientes son necesarios en el fertilizante?
2. ¿Cuánto de cada nutriente se necesita para lograr el rendimiento mayor o el más beneficioso (el óptimo)?

Hay algunas técnicas para lograr las respuestas a estas preguntas. En una buena aproximación, se puede utilizar las cifras

de absorción de los nutrientes a los respectivos niveles de rendimiento que han sido discutidas en el Capítulo 7 *Recomendaciones de fertilizantes para cultivos seleccionados*. Otras técnicas son discutidas y se enumeran a continuación:

1. Signos de carencia de nutrientes en cultivos en desarrollo (síntomas de deficiencia).
2. Análisis de suelos para determinar los nutrientes de los fertilizantes y las cantidades que se necesitan.
3. Análisis de la planta y / o del tejido de la planta en el campo.
4. Ensayos de validación de fertilizantes en el campo.

SÍNTOMAS DE CARENCIA EN LAS PLANTAS

Si las plantas no logran absorber suficiente cantidad de un nutriente particular que necesitan, los síntomas de carencia se muestran en la apariencia general así como en el color de la planta. Los síntomas muy típicos son: las plantas deficientes de nutrientes tienen un crecimiento retrasado (pequeñas), las hojas tienen un color verde pálido o un color verde oscuro azulado, amarillento o tienen puntos rojizos o franjas. En la cosecha, los rendimientos a veces se reducen severamente.

La identificación de la deficiencia de nutrientes (signos de carencia) es fácil en algunos casos, pero difícil en otros. La razón de ello es que los síntomas de deficiencia de dos nutrientes diferentes pueden ser casi idénticos o que la deficiencia de un nutriente está enmascarando (escondiendo) los síntomas de otra deficiencia. Los signos de carencia pueden también aparecer o desaparecer con los cambios meteorológicos (cambio entre humedad y sequía). Se puede dar también el caso de plantas que sufren de una deficiencia latente, no aún visible («deficiencia escondida»). Más aún, se debería tener cuidado de no confundir los signos de carencia con virus o síntomas de enfermedades de hongos o daños causados por los insectos / plagas.

Los síntomas claros se darán sólo en casos de deficiencia extrema de un nutriente. Los signos de carencia de un nutriente deficiente que se han indicado deberían ser verificados por el análisis del suelo, de las plantas, de tejidos y / o experimentos de campo (experimentos en macetas en la estación experimental local).

Los signos de deficiencia general para algunos cultivos son especificados a continuación.

Deficiencia de nitrógeno

- Plantas de crecimiento retrasado (comunes a todas las deficiencias), plantas poco saludables y pequeñas.
- Pérdida del color verde (común a todas las deficiencias), decoloración amarillenta de las hojas a partir de la punta (clorosis en las puntas²³), viejas hojas parduscas.
- Las hojas más bajas pueden morir prematuramente mientras la cima de la planta permanece verde (algunas veces confundido con la falta de humedad).

Deficiencia de fósforo

- Crecimiento retrasado.
- Hojas verdes oscuras azuladas, moradas y parduscas a partir de la punta (a menudo también en los tallos).
- Plantas lentas a madurar, permaneciendo verdes.
- Los frutos pueden ser deformados, los granos pobremente rellenos.

²³ *Clorosis*, es decir una decoloración amarillenta de las hojas, indica una formación afectada de clorofila; la clorosis es *reversible* mediante la aplicación del nutriente necesario.

Necrosis, es decir descoloración pardusca de las hojas o en partes de las hojas, que indican la muerte del tejido. Es *irreversible*, es decir no puede ser curada con la aplicación de nutrientes.

Deficiencia de potasio

- Crecimiento retrasado.
- Hojas que muestran decoloración a lo largo de los márgenes exteriores desde las extremidades a la base.
- Bordes exteriores de las hojas amarillentos o rojizos, llegando a ser parduscos o quemados y muertos (necrosis de los bordes); hojas marchitas.
- Encamado.
- Las hojas de los árboles son amarillentas, rojizas, dobladas o curvadas.
- Los frutos son pequeños, pueden tener lesiones o puntos dañados, pobre almacenamiento y mantenimiento de la calidad.

Deficiencia de magnesio.

- Decoloración amarillenta entre venas de hojas verdes (clorosis típica de franjas; el Mg es parte del pigmento de las plantas verdes, la clorofila, necesario para la fotosíntesis), seguido finalmente por manchas y necrosis (muerte de los tejidos), comenzando en las viejas hojas bajas.

Deficiencia de azufre

- Toda la planta es amarilla (a menudo es confundido con deficiencia de N).
- Hojas más altas amarillentas, aún las hojas más jóvenes.
- Madurez del cultivo retrasado.

Deficiencia de calcio

- Hojas jóvenes de amarillentas a ennegrecidas y curvadas (manchas marrones).
- Las plantas parecen marchitas.

- Los frutos pueden estar podridos (tomate).
- Las raíces son mal formadas.

Deficiencia de boro

- Hojas frecuentemente deformadas y arrugadas, gruesas y quebradizas, blancas, con manchas irregulares entre las venas.
- Las zonas de crecimiento de los brotes morirán, con crecimiento tupido cerca de las puntas, crecimiento en longitud inhibido con entrenudos acortados.
- Manchas necróticas o cavidades empapadas de agua en la remolacha azucarera y otros tubérculos y en la médula de los tallos.
- Frutos pequeños y pobremente formados, a menudo con nódulos acorchados y lesiones.
- Baja producción de semillas debida a una fertilización incompleta.

Deficiencia de zinc

- Crecimiento retrasado de las hojas.
- Árboles de frutas con típicos retoños cortos y tupidos.
- Franjas cloróticas (bandas blanqueadas) entre las venas de la hoja en la parte más baja de la misma.
- En algunos casos, las hojas tienen un color verde olivo o verde grisáceo (muy similar a la deficiencia de P).

Deficiencia de hierro

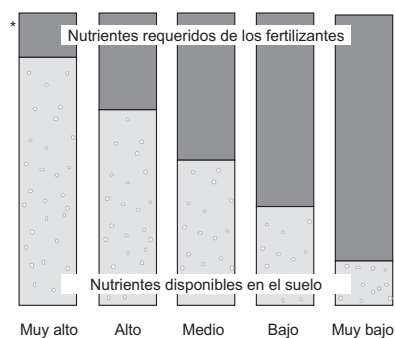
- Hojas jóvenes con clorosis típica entre las venas verdes, a lo largo de toda la longitud de las hojas (en suelos calcáreos normalmente).

Aunque los signos de carencia son útiles para señalar al agricultor los trastornos nutricionales, aún cuando estos signos claramente visibles de deficiencia son rápidamente corregidos a través de la aplicación adecuada de suministros de nutrientes, en general el rendimiento de la cosecha aún será más bajo en comparación a los cultivos que son bien nutridos desde la siembra a la cosecha. De allí que las buenas prácticas agrícolas deberían evitar todas las deficiencias nutricionales para cualquier cultivo a través de todo el período de crecimiento. Para alcanzar dicho objetivo, los métodos más útiles son los análisis de suelos, de las plantas, de tejidos y los experimentos en el campo.

ANÁLISIS DE SUELOS

El análisis del suelo es usado para lograr saber cuánto de un nutriente del suelo será disponible para las plantas, y cuánto debería ser adicionalmente aplicado en la forma de fertilizante mineral para obtener un rendimiento de cultivo esperado. La Figura 8 presenta una simple interpretación dado un nivel de nutriente y diferentes niveles de análisis del suelo.

FIGURA 8. Fuentes relativas de nutrientes a diferentes niveles de análisis del suelo



* Los fertilizantes usados a niveles «muy altos» son para propósitos de «arranque» o de «mantenimiento».

Cuanto mayor sea el nivel de los nutrientes en el análisis de suelo, menor es la cantidad necesaria de fertilizantes. Aún a niveles altos probados, algunos nutrientes deberían provenir de los fertilizantes a fin de mantener la fertilidad del suelo y la productividad. Hay diferentes clases de análisis de suelo. Sin embargo, el principal problema es relacionar el método pertinente de extracción de nutrientes por un suelo determinado con los rendimientos correspondientes (calibración).

Si su estación experimental ha conducido los análisis de suelos y experimentos en el campo y ha relacionado (calibrado) los análisis de los suelos a las respuestas de los cultivos a los fertilizantes, usted debería llevarle las muestras del suelo. Ellos serían capaces de dar entonces una interpretación correcta del resultado del análisis de suelo y la correspondiente recomendación del fertilizante.

Cómo hacer un análisis de suelo

Un análisis de suelo por método químico de extracción de nutrientes extrae y mide la cantidad de nutrientes disponibles para los cultivos de una pequeña muestra de suelo que es tomada en la profundidad de la capa arable (profundidad arada). Los resultados encontrados están relacionados a los datos de respuesta del cultivo al fertilizante de los correspondientes experimentos en el campo.

Basados en tales datos calibrados, el resultado del análisis de suelo puede ser interpretado y las recomendaciones de fertilizantes pueden ser dadas (por supuesto, también tomando en cuenta los datos de cultivos anteriores / rotación de cultivos, uso de fertilizantes y las condiciones meteorológicas).

Cómo tomar una muestra de suelo

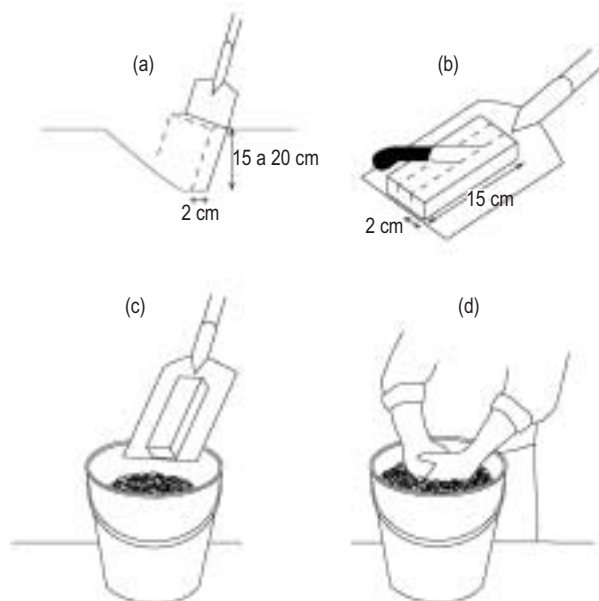
Un análisis de suelo no puede ser mejor que la muestra que es analizada. La muestra debe tomarse muy cuidadosamente. Es de

gran importancia seleccionar el área donde se va a tomar la muestra. No se debe mezclar diferentes tipos de suelos. Si en un campo alguna área del suelo parece diferente, o si el crecimiento del cultivo es significativamente diferente del resto, tomar una muestra separada de esa área.

Las herramientas para tomar una muestra son un taladro para suelos (barrena) o herramientas de muestreo o una pala y una cuchilla, y un cubo limpio o un contenedor (ser cuidadoso que el cubo o el contenedor no hayan sido utilizados previamente para esparcir fertilizante!)

Si usted usa una pala, excave y haga un corte en forma de V a una profundidad de 15 a 20 cm. Con su cuchilla separe ambos filos de la paleta dejando la franja central del suelo en la pala de 2 cm de ancho (Figura 9). Tome alrededor de 20 franjas centrales

FIGURA 9. **Muestra del suelo**



de palas o barrenas del terreno al azar (de 1 hectárea máxima) o de una parcela de terreno para una muestra compuesta. Ubique las franjas centrales en el cubo limpio y mézclelas a fondo. Tome una pequeña muestra de 0,5 kg del suelo mezclado (normalmente después de secarla al aire en una hoja de papel limpio) y ubíquela en una bolsa de papel limpia o en una pequeña caja. Registre, etiquete y ponga la fecha apropiada de la muestra y haga un diagrama del área para una muestra particular, por el que usted pueda relacionar los resultados de la prueba del suelo correctamente al campo.

Usted logrará los resultados más confiables y útiles del análisis de suelo cuando la muestra del suelo es tomada después de la cosecha del cultivo y antes de sembrar y fertilizar el siguiente cultivo.

ANÁLISIS DE PLANTAS

Con los análisis de las plantas usted le está «preguntando a la planta» si el suelo y el fertilizante le suministran suficientemente de cada nutriente analizado y si los diferentes nutrientes necesarios están en proporción correcta unos a otros. La planta le dará información confiable de su estado nutricional global a la fecha de muestreo y, de este modo, indicará cualquier necesidad presente de fertilizante suplementario (del cultivo actual). Con el análisis de la planta, la concentración de los diferentes nutrientes (y consecuentemente sus proporciones) es determinada químicamente en la savia o en el material seco. Si un nutriente está por debajo de la concentración mínima («valor crítico»), que es diferente para cada nutriente, es posible que la aplicación de un fertilizante conteniendo ese nutriente aumentará los rendimientos. Es importante que los «valores críticos» establecidos estén relacionados a los niveles esperados de rendimientos. Sin embargo, la gran ventaja es que, una vez que son establecidos adecuadamente, son aplicables al mismo cultivo mundialmente. Una ventaja adicional de este método es

el número de nutrientes que pueden ser determinados y la exactitud lograda.

El análisis de la planta es valioso ciertamente en los cultivos permanentes y es ampliamente usado en árboles frutales (cítricos) y palmeras de aceite.

Análisis del tejido de la planta en el campo

Los análisis del tejido de la planta son hechos en plantas en desarrollo / verdes en el campo. La parte seleccionada de la planta, normalmente las hojas (jóvenes, en función activa) o pecíolos de las hojas, son ya sea cortados en pedacitos y sacudidos en un extractor, ya sea la savia se obtiene sobre un papel de prueba y es tratada con químicos apropiados (análisis in situ de extractos). Los colores que desarrollan pueden ser comparados con concentraciones conocidas de nutrientes o de plantas bien establecidas y productivamente sanas.

Los análisis de tejidos en el campo son valiosos para verificar los síntomas de deficiencia. Más aún, ayudarán a descubrir «deficiencias escondidas» que no son indicadas por los síntomas de deficiencia. Ellas tienen la ventaja que pueden ser hechas rápida y directamente sobre el cultivo en desarrollo, que no son tan costosas y que los análisis de las plantas o tratamientos pueden ser comparados directamente en el campo.

ENSAYOS DE VALIDACIÓN CON FERTILIZANTES EN EL CAMPO

Considerando que los resultados de los análisis de plantas y de tejidos de las plantas en el campo indicarán las deficiencias de los nutrientes, especialmente las «deficiencias escondidas», cuando se las compara a los estándares que son desarrollados en plantas productivas con buen crecimiento, los análisis de suelos requieren una correlación a los rendimientos de los cultivos. Esta correlación o calibración de los métodos de análisis tiene que ser hecha a través de ensayos de fertilizantes en campo. Entonces, estos ensayos son indispensables para determinar

las necesidades de nutrientes de los cultivos en referencia al rendimiento final obtenido. En tales experimentos, los fertilizantes son aplicados a dosis conocidas de nutrientes (y/o en concordancia con los datos encontrados en los análisis del suelo y de las plantas), las respuestas a los cultivos son observadas, y los rendimientos finales son medidos.

Los ensayos de validación tienen las siguientes ventajas:

1. Son el mejor modo de determinar las necesidades de nutrientes de los cultivos y de los suelos para aconsejar a los agricultores sobre sus necesidades de fertilizantes.
2. Le mostrarán a usted cómo recomendaciones apropiadas basadas en los análisis de suelos y de las plantas están referidas a los rendimientos obtenidos.
3. Permiten una evaluación económica, es decir el cálculo del beneficio puede ser usado como el argumento más motivador a usar fertilizantes por parte del agricultor.
4. Los cultivos desarrollados pueden ser fotografiados. Las fotos pueden ser usadas en la publicidad y en demostraciones por muchos años.
5. Las demostraciones o ensayos simples muestran los beneficios de los fertilizantes para los agricultores y los trabajadores agrícolas.

La manera de conducir una demostración (o un ensayo de validación simple) se discute en el Capítulo 12.

EXPERIMENTOS DE CAMPO A LARGO PLAZO

Las recomendaciones generales para una región son disponibles cuando suficientes ensayos de fertilizantes han sido llevados a cabo. Ejemplos para su región pueden ser incluidos al final de esta guía.

Sin embargo, las necesidades de nutrientes para un cultivo en un suelo específico no pueden ser determinadas una vez por

todas, porque las condiciones cambian rápidamente. Cuando sólo un nutriente es aplicado (fertilización desequilibrada), otro puede llegar a ser restrictivo. La insuficiencia (o el exceso) de un nutriente puede reducir el rendimiento o bajar el beneficio del uso del fertilizante para el agricultor. Una oferta de nutriente desequilibrada puede también resultar en una creciente susceptibilidad a enfermedades, encamado o madurez tardía.

En consecuencia, continuar los estudios es necesario, es decir los experimentos en el campo a largo plazo deberían ser conducidos para encontrar las cantidades y las dosis de nutrientes requeridas.

11. Otros factores limitativos de los rendimientos de los cultivos

El uso de fertilizantes es uno de los factores más importantes, que contribuye a aumentar la productividad y la agricultura sostenible. Pero no resolverá todos los problemas de la producción de los cultivos.

En los capítulos anteriores de esta guía algunos otros factores o prácticas han sido ya mencionados que pueden limitar y afectar los rendimientos de los cultivos y reducir el uso eficiente de los fertilizantes. Aplicando buenas prácticas agrícolas, el agricultor dará atención particular a:

- preparación apropiada y oportuna de la cama de siembra;
- variedades de cultivos (preferiblemente seleccionando variedades de altos rendimientos);
- densidad de siembra correcta:
 - a. plantas por hectárea
 - b. espacio entre plantas o filas;
- momento de siembra óptimo;
- humedad suficiente (uso de riego donde sea disponible, un

campo no plantado debería ser cubierto con residuos vegetales para evitar la erosión y conservar la humedad del suelo);

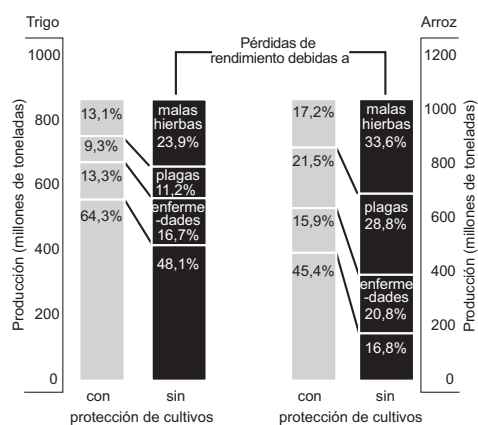
- drenaje adecuado (eliminar el exceso de agua a través de drenaje de superficie o subterráneo);
- control de malas hierbas (escardar, cultivar o usar tratamientos químicos);
- control de enfermedades de los cultivos (usar cultivos resistentes o tratamientos químicos aprobados);
- control de plagas (usar medidas de control aprobadas y recomendadas);
- usar rotaciones de cultivos que reducen las enfermedades de los cultivos, malas hierbas y plagas;
- mejorar la estructura del suelo (a través de la rotación de cultivos, pastoreo temporáneo o estiércol / abono verde); y
- mantener la materia orgánica del suelo (a través de rotación de cultivo, estiércol voluminoso o suministro de materia orgánica).

Es, por supuesto, difícil estimar en forma precisa las pérdidas causadas a través de otros factores que afectan el crecimiento de las plantas y los rendimientos de los cultivos. Algunos cálculos han sido hechos para el control de malas hierbas y la protección de los cultivos. La Figura 10 ilustra la importancia del control de las malas hierbas y la protección de los cultivos, mostrando las pérdidas en trigo y arroz causadas a través de la competencia de malas hierbas, a través de enfermedades de los cultivos y de ataques de plagas. El rendimiento teóricamente alcanzable es contrastado con la producción registrada realmente. En el caso del trigo, sin protección del cultivo, más de la mitad del rendimiento esperable teóricamente debería haberse perdido a través de las malas hierbas, las plagas y enfermedades; con protección de cultivo, aproximadamente dos terceras partes habrían sido cosechadas. La situación se empeora para el arroz:

FIGURA 10. Importancia de la protección del cultivo

La respuesta a los fertilizantes se reduce si hay otros factores que limitan los rendimientos de los cultivos.

Producción actual y pérdidas 1988-90



Fuente: Adaptado de E.C. Oerke. European Crop Protection Association. Bruselas, 1992.

sin protección de cultivo, menos de un quinto podría ser cosechado, y aún con la protección de cultivo sólo menos de la mitad del rendimiento alcanzable teóricamente ha sido cosechado.

12. El trabajo de extensión respecto a los fertilizantes

Como agente de extensión, es su obligación, pero también la oportunidad para ayudar a los agricultores. De este modo les demostrará a través de la conversación, artículos, trabajo de campo y reuniones cómo los fertilizantes llevarán a acrecentar los rendimientos de sus cultivos. Además, usted les mostrará los beneficios de las prácticas de manejo mejorado de la finca

que llevan a aumentar los ingresos agrícolas y la protección del medioambiente, y en consecuencia a hacer de la agricultura una actividad sostenible. Por lo tanto, su trabajo con fertilizantes no sólo es muy importante para la comunidad agrícola en su región, sino también para su país.

Cuando introduzca los fertilizantes a los agricultores locales, tiene que saber cuál es su objetivo. Consecuentemente, necesitará prepararse bien y claramente. Primero, tiene que descubrir dónde usted puede conseguir los fertilizantes, es decir quiénes son los distribuidores minoristas de fertilizantes en su región, qué grados de fertilizantes son disponibles en existencia y cuál es el tiempo requerido para obtenerlos. Segundo, usted contactará su estación experimental, la escuela agrícola o la universidad de agricultura para las recomendaciones adecuadas respecto a los fertilizantes. Las cantidades de fertilizantes recomendadas a ser aplicadas a los cultivos de su país pueden ser incluidas como un apéndice en esta guía. Comience sus demostraciones en el campo sobre la base de estas recomendaciones y adáptelas a los resultados que usted obtendrá en su región. Tercero, invitará a los agricultores a las parcelas demostrativas, para ver y discutir con ellos los efectos de los fertilizantes en el crecimiento y los rendimientos de los cultivos. Esto debería ser integrado en un programa de buenas prácticas agrícolas. Finalmente, sostendrá días de campo o iniciará una escuela de campo para agricultores y usted demostrará los beneficios económicos de los rendimientos mejorados debidos al uso de fertilizantes.

CÓMO REALIZAR UNA DEMOSTRACIÓN DE FERTILIZANTES

Antes de empezar una demostración de fertilizantes usted debería hacer un plan y una presentación. ¿Qué quiero demostrar al agricultor? ¿Con cuáles cultivos la demostración será más convincente (cultivos de mayor valor o de mayor desarrollo en

su área o los más consumidos)? ¿Con cuáles agricultores y cooperaría? ¿Cuál será el lugar o campo mejor situado para la demostración? ¿Qué fertilizante tengo disponible para usar en el cultivo seleccionado? ¿Cuándo y cómo tengo que aplicar el fertilizante? ¿Qué otras medidas tengo que tomar en cuenta?

En consecuencia, para llevar a cabo una demostración de fertilizantes, usted necesita preparar y tener listo lo siguiente:

1. Un plan para la demostración (dos o más parcelas²⁴, dónde y con cuál cultivo, tamaño de cada parcela, demostración en un solo campo o en varios).
2. Una libreta para el plan de demostración, para los registros de la parcela (cantidad de nutrientes aplicada, fecha de aplicación), ubicación de las parcelas, observaciones de crecimiento, control de malas hierbas y de plagas durante el crecimiento del cultivo y los rendimientos finales.
3. Uno o más agricultores interesados quienes trabajarán con usted y le ayudarán a conducir la demostración en su / sus campos.
4. El fertilizante de grado(s) correcto(s) al tiempo adecuado y un lugar seco para almacenar los fertilizantes antes del uso.
5. Una báscula o una balanza para pesar la cantidad de fertilizante para cada parcela.
6. Tener a mano bolsas de papel, preferiblemente multi lámina, en las cuales poner el fertilizante para los diferentes tratamientos claramente señalados.
7. Una cinta de medida o dispositivo para determinar el tamaño de la parcela / la longitud y la pendiente; estacas y franjas

²⁴Normalmente comience con dos parcelas, por ejemplo una parcela tratada y una parcela controlada o parcela con la práctica de los agricultores. De esa manera usted trabajará sin replicaciones. Sin embargo, si usted realiza la demostración en parcelas de varios agricultores, las ubicaciones diferentes pueden ser consideradas como replicaciones de la demostración y pueden ser evaluadas. Sin embargo, esto debería ser verificado con los estadísticos en su estación experimental local.

para marcar los límites de la parcela, particularmente las esquinas.

8. El equipo de cosecha, incluyendo las herramientas de corte, y báscula o balanza para medir los rendimientos de los cultivos.
9. Información sobre los precios actuales de los fertilizantes y de los productos agrícolas, y posiblemente una calculadora de bolsillo para calcular el resultado económico de la demostración (razón valor / costo RVC y / o el beneficio neto).

Como regla general: ¡Realice sus demostraciones de fertilizantes en forma simple!

- a. Identificar el efecto del fertilizante comparado a una parcela sin fertilizante, todos los otros factores permaneciendo constantes. El diseño simple debería ser: ningún fertilizante – fertilizante recomendado.
- b. Si usted quiere convencer a los agricultores a usar una dosis más alta de N y / o de P_2O_5 y / o de K_2O usted tendrá que adaptar el diseño para comparar las dos dosis de nutrientes. El diseño entonces debería ser: ningún fertilizante – baja dosis de nutriente (por ejemplo: 30 kg/ha de N) – alta tasa de nutriente (por ejemplo: 60 kg/ha de N). El mismo diseño es usado para P_2O_5 y K_2O .
- c. Si usted quiere demostrar a los agricultores la importancia de la fertilización equilibrada tendrá que usar un diseño con tres o cuatro parcelas: parcela sin uso de fertilizante – parcela con uso de nitrógeno (N) solamente – parcela con nitrógeno y fosfato (NP) – parcela con nitrógeno, fosfato y potasio (NPK).

Las variaciones de este diseño con tres parcelas son:

- o ningún fertilizante - NP -NPK
- o ningún fertilizante - P - NP
- o ningún fertilizante - N - NP
- o ningún fertilizante - N - NPK.

- d. Además, para probar los beneficios del uso del fertilizante, usted puede también querer demostrar los beneficios de prácticas agrícolas mejoradas, especialmente el sistema integrado de nutrición de las plantas. Entonces usted necesita un diseño con cuatro parcelas:
1. parcela: ningún fertilizante con la práctica del agricultor.
 2. parcela: fertilizante recomendado con la práctica del agricultor.
 3. parcela: ningún fertilizante con prácticas mejoradas recomendadas (labranza de conservación, suministro de materia orgánica, estiércol, abono verde, variedad de semilla mejorada, fecha y método de plantación, control de malas hierbas y de enfermedades, etc.).
 4. parcela: fertilizante recomendado con prácticas mejoradas recomendadas (labranza de conservación, suministro de materia orgánica, estiércol, abono verde, variedad de semilla mejorada, fecha y método de plantación, control de malas hierbas y de enfermedades, etc.).

A causa de la inclusión de «otras» prácticas mejoradas, y no sólo el uso de fertilizantes, este último diseño exige un énfasis especial. En consecuencia, se recomienda trabajar en primer lugar con demostraciones simples como descritas bajo a) y b) y realizar las otras demostraciones o ensayos simples como bajo c) y d) o con más aún, es decir de seis a diez tratamientos²⁵ en cooperación con su estación experimental local.

²⁵ El antiguo Programa de Fertilizantes de la FAO utilizaba un diseño con ocho parcelas para los ensayos simples: parcela de control = 000, parcela PK = 011, parcela NK = 101, parcela NP = 110, parcela NPK = 111, parcela 2N+PK = 211, parcela 2P+NK = 121 y parcela 2K+NP = 112.

La base de datos de la FAO con los resultados de los ensayos y de las demostraciones será publicada en el Internet en 2002.

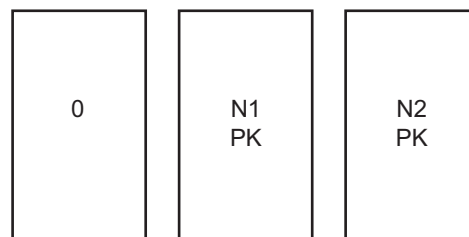
DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LA PARCELA

El tamaño de las parcelas demostrativas dependerá del tamaño de las fincas. Dado que las fincas y los campos pueden a menudo ser pequeños en su región, las parcelas demostrativas también pueden ser pequeñas. Sin embargo, serían suficientemente grandes para hacer demostraciones convincentes y lograr datos precisos de los rendimientos para determinar los efectos de los tratamientos. De este modo, el tamaño de las parcelas o franjas de terreno pueden variar entre 50 y 400 metros cuadrados (de 5m x 10m hasta 10m x 40m).

En general, las parcelas usadas para la demostración deberían ser rectangulares y vecinas. Un sendero de 0,5m a 1m de ancho debería ser dejado entre las parcelas y alrededor de los lugares de la demostración (ver Figura 11). Considere la topografía del campo para que todas las parcelas estén orientadas en la misma dirección.

Se recomienda que el orden de los tratamientos para los ensayos debería ser aleatorio, no sistemático. Sin embargo, cuando usted está llevando a cabo una demostración con sólo tres parcelas el orden 0-1N-2N (u otros nutrientes) debería ser

FIGURA 11. **Ejemplo de la presentación de una demostración simple con parcela de control y dos diferentes dosis de N**



Tamaño de la parcela : 5 m x 10 m
Senderos de 0,5 m de ancho entre las parcelas

usado. Para evitar cualquier tipo de confusión a los agricultores respecto a las parcelas, esto debería hacerse también si usted presenta la misma demostración en campos de varios agricultores²⁶.

Para los cultivos en hileras, usted tendría que ajustar el ancho de la parcela como para incluir un número exacto de las filas: diez filas cada una separada por 1 m requiere una parcela de 10 m de ancho, pero nueve filas separadas por 1,20 m necesitarán una parcela de 10,80 m de ancho. Si las parcelas tratadas son de tamaño mayor, no es necesario cosechar la parcela entera, sino sólo 20 a 50 metros cuadrados o 10 m de longitud de la fila por parcela de tratamiento.

CÁLCULO DE LAS DOSIS DE FERTILIZANTES POR PARCELA

Si usted desea aplicar fertilizantes directos en la parcela de demostración, por ejemplo urea, triple superfosfato y cloruro potásico, calcule las cantidades para los diferentes tratamientos de acuerdo a la fórmula:

$$\text{Cantidad de fertilizante / parcela} = \frac{\text{Dosis nutriente (kg/ha)} \times \text{área parcela en m}^2}{\% \text{ de nutriente en el fertilizante} \times 100}$$

Ejemplo: el diseño de la demostración es:

Tratamiento de la parcela (kg/ha)	N	y/o P ₂ O ₅	y/o K ₂ O
a)	0	0	0
b)	30	30	30
c)	60	60	60

²⁶Una presentación al azar es usada normalmente cuando el ensayo es llevado a cabo con por ejemplo seis diferentes tratamientos y tres repeticiones. El siguiente es un ejemplo del orden de los tratamientos para un ensayo de este tipo:

Repetición a: (tratamientos) 6-3-5-2-4-1

Repetición b: (tratamientos) 2-4-6-1-3-5

Repetición c: (tratamientos) 1-2-3-4-5-6

Tome nota que la aplicación de dosis altas de fertilizantes debería sólo ser usada en cultivos irrigados o en áreas con lluvias intensas. Con una dosis de nutriente de 30 kg/ha N, una parcela de 50 metros cuadrados y urea con 45 por ciento de N como fertilizante nitrogenado, el cálculo es como sigue:

$$\text{Cantidad de urea por parcela: } \frac{30 \times 50}{45 \times 100} = 0,33 \text{ kg de urea/ parcela}$$

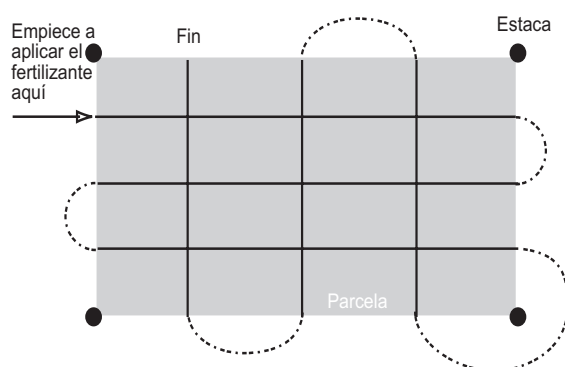
En consecuencia, usted debería pesar 0,33 kg de urea por parcela para el tratamiento *b*) y 0,66 kg para el tratamiento *c*). Para una parcela de 400 metros cuadrados, la cantidad necesaria de urea debería ser 2,64 kg y 5,28 kg, respectivamente. Las dosis en libras y acres pueden ser calculadas de manera similar (ver Anexo).

ESPARCIMIENTO A VOLEO DE FERTILIZANTES EN PEQUEÑAS PARCELAS

Usted debería preparar la cantidad correcta de fertilizante para cada tratamiento (parcela) en una bolsa de papel, la cual esté claramente etiquetada y enumerada en su libreta, para evitar cualquier error. El fertilizante puede fácilmente ser esparcido a mano (Figura 12). Sin embargo, es obvio que es difícil esparcir muy pequeñas cantidades de fertilizantes uniformemente, en este caso poner algo de tierra seca en un cubo. Vierta el fertilizante pesado para la parcela específica por encima de la tierra y mézclela perfectamente. Esto da un volumen mayor y ayudará a distribuir el fertilizante uniformemente. Cuanto más pequeña sea la parcela de demostración, mayor será el efecto de los errores y equivocaciones en el resultado final. En consecuencia, a más pequeño tamaño de la parcela, mayor cuidado deberá dar para tener una distribución absolutamente uniforme del fertilizante en la parcela.

Con puñados pequeños de fertilizantes / mezcla de fertilizante con tierra, usar un movimiento de esparcir a voleo o de sembrar para difundir el fertilizante a su paso a través de la parcela. Este

FIGURA 12. **Método correcto para aplicar fertilizante al voleo en una parcela pequeña**



método puede ser usado para el abono de fondo (antes de la siembra) y para la aplicación entre líneas (en un cultivo permanente) y es aplicable en un gran número de cultivos. No obstante, para cultivos sembrados en filas tales como maíz, ñame, y maní o para frutales, el tratamiento único o abono entre líneas es recomendado. Cantidades pequeñas (algunos gramos) de fertilizante pueden ser echadas en hoyos o surcos al lado de la semilla y cubiertos con tierra (ver también Capítulo 10).

EVALUACIÓN DE LAS DEMOSTRACIONES SOBRE FERTILIZANTES

Los lugares de demostración deben ser visitados regularmente en toda la estación de crecimiento, cuando sea posible con el propietario del campo. La información sobre el desarrollo del crecimiento así como sobre riego / lluvias, malas hierbas y control de enfermedades, etc., debería ser escrita en su libreta.

La cosecha y el pesado del rendimiento pueden ser realizados en el curso de un día de campo. No obstante, si usted ha tenido días de campo durante la estación de crecimiento para demostrar la diferencia en el desarrollo del crecimiento, puede ser útil cosechar aproximadamente 20 m² del cultivo unos pocos días

antes del día de campo, para pesar el rendimiento, comparar los tratamientos diferentes y evaluar el resultado económico. Esto no excluye otra cosecha de una parte o del resto de la parcela en el día de campo final.

La ventaja de la pre-cosecha de parte de la parcela antes del día de campo es que con los datos de rendimiento y con la información sobre los costos de los fertilizantes y los precios de los productos agrícolas, usted puede calcular la *relación valor / costo* o el *beneficio neto* y preparar diagramas y dibujos a ser presentados en el día de campo.

Este método será más persuasivo para el agricultor, dado que el mejor y único argumento para usar fertilizantes es el beneficio económico que él obtendrá.

Cuando calcule la *relación valor / costo*, divida el valor del aumento en el rendimiento del cultivo por el costo del fertilizante aplicado para obtener dicho rendimiento (ambos en términos monetarios):

$$\frac{\text{Valor del aumento del rendimiento}}{\text{Costos de fertilizante}} = \text{Relación valor/costo (RVC)}$$

Una relación valor / costo de más de 1 indica que el fertilizante ha sido provechoso. Una RVC de dos indica un retorno del 100 por ciento: es decir significa que, por ejemplo, un dólar EE.UU. gastado en fertilizante da un retorno adicional por rendimiento de cultivo de dos dólares EE.UU. Más aún, el agricultor recibe generalmente este retorno poco después de un breve período de inversión, es decir después de unos pocos meses. Sin embargo, la relación valor / costo debería ser más alta de dos para asegurar un retorno provechoso para el agricultor.

El rédito neto indica el aumento del ingreso en cantidades absolutas de dinero. Se calcula sustrayendo el costo del fertilizante usado del valor del aumento en la cosecha producida a través del uso del fertilizante (ambos en términos monetarios):

$$\text{Valor del aumento del rendimiento} - \text{Costo del fertilizante} = \text{Ingreso neto}$$

Un rédito neto positivo significa que la aplicación del fertilizante fue rentable. El retorno neto y la relación valor / costo sirven a diferentes propósitos. Dependiendo del costo de los fertilizantes aplicados, puede darse el caso que la relación valor / costo más alta no siempre da también el beneficio neto más alto. En otras palabras, el rendimiento más elevado por hectárea no significa necesariamente el beneficio más elevado.

Realizar ambos cálculos le dará a usted una herramienta para ofrecer a los agricultores las mejores recomendaciones económicas posibles por el uso de fertilizantes.

CÓMO REALIZAR LOS ENCUENTROS SOBRE FERTILIZANTES

Como se ha dicho anteriormente, usted invitará a los agricultores y a los líderes de la comunidad (por carta, por tarjetas, anuncios, diarios o radio) a los días de campo de las demostraciones o los ensayos sobre el uso de fertilizante en las parcelas vecinas a sus fincas o pueblo, durante la estación de desarrollo del cultivo en la cual usted presenta la demostración.

Su invitación debería incluir las informaciones siguientes:

- *Objetivo del encuentro:* para ver y discutir una demostración del fertilizante en el cultivo de...
- *Quién es invitado:* agricultores individuales (con sus esposas), amigos, líderes de comunidad, representantes de bancos rurales, comerciantes minoristas de fertilizantes, etc.
- *Ubicación del encuentro:* direcciones claras en dónde el encuentro tendrá lugar y cómo llegar a dicho lugar.
- *Hora del encuentro:* mes, día y hora.

Para el día de campo usted tendrá preparadas muestras de los fertilizantes para mostrarlas a los agricultores. Demostrarles como los fertilizantes han sido aplicados. El agricultor huésped mostrará y explicará las observaciones sobre el crecimiento y el rendimiento en las diferentes parcelas. Si es posible, cosechar con los participantes parte de las parcelas y estimularlos a estimar

los rendimientos esperados de las parcelas tratadas así como de las parcelas no tratadas, y también estimar los beneficios económicos resultantes a través de la aplicación de los fertilizantes. Recomendar a los agricultores a llevar a cabo demostraciones en sus propias fincas o campos.

Además, a estos días especiales de campo, invite conjuntamente a los agricultores (y sus esposas), distribuidores minoristas, y líderes de los pueblos a encuentros más generales para discutir e informar acerca de los fertilizantes. Haga de estos encuentros una atracción del pueblo que genere entusiasmo. Estos encuentros funcionan mejor si usted presenta fotografías, diapositivas en color, carteles o gráficos de los resultados de los ensayos y de las demostraciones. Los datos deberían preferiblemente haberse obtenido en su región. Hacer gráficos para poner en la pared a fin de explicar las necesidades de nutrientes de las plantas y el papel que los fertilizantes juegan para cubrir esas necesidades. Los diagramas de esta guía pueden ser útiles. Contacte los jefes del pueblo para financiar tales encuentros.

Como se ha dicho anteriormente, dado que las condiciones cambian rápidamente, la recomendación dada para este año puede no ser necesariamente también la óptima «receta» para el próximo año. No sólo las condiciones del tiempo cambian, sino también las lluvias, la fertilidad del suelo y las variedades de cultivo plantadas son todas sujetas a cambios.

Considerando la agricultura en un sentido general, se nota que los sistemas agrícolas están cambiando constantemente. Consecuentemente es recomendable que los agricultores, además de hacer un uso apropiado de los fertilizantes, también tengan por objetivo lograr el conocimiento de todos los principios subyacentes y procesos que los capacite a enfrentar nuevas situaciones o nuevos y diferentes problemas. Los agricultores son forzados a cambiar sus sistemas agrícolas o prácticas de manejo cuando las condiciones sociales, económicas y técnicas cambian.

Los programas para *Manejo integrado del suelo y de los nutrientes* (MISN), en un sentido amplio son realizados algunas veces en las «Escuelas de campo para agricultores». Contacte sus agencias gubernamentales para saber si tales «Escuelas de campo para agricultores» ya existen en su país y / o si ellas pudieran llevarse a cabo en su región.

13. Conclusiones

Los fertilizantes son una de las más importantes herramientas para el desarrollo de la agricultura tendiente a fomentar la seguridad alimentaria y mantener la productividad del suelo. Mediante sus esfuerzos, su interés y entusiasmo, usted puede realizar un verdadero cambio mediante la introducción y expansión del uso de fertilizantes. Es su responsabilidad y un desafío para usted ayudar a mejorar las condiciones de vida en su región, y ayudar a mantener una agricultura sostenible.

Anexo: Factores de conversión

Área y distancia	
1 hectárea	= 10 000 metros cuadrados = 2,471 acres
1 metro	= 1,0936 yardas = 3,2808 pies = 39,37 pulgadas
1 acre	= 4,480 yardas cuadradas = 0,4047 hectárea
1 yarda	= 3 pies = 0,9144 metros
1 pie	= 12 pulgadas = 0,3048 metros
Peso	
1 kilogramo	= 1 000 gramos = 2,2046 libras
1 kg/ha	= 0,8922 lb/acre
1 tonelada métrica	= 2 204,6 libras = 1,1023 toneladas cortas = 0,9842 tonelada larga
1 libra	= 0,4536 kilogramos
1 lb/acre	= 1,1208 kg/ha
1 tonelada corta	= 2 000 libras = 0,9072 tonelada métrica
1 tonelada larga	= 2 240 libras = 1,016 tonelada métrica
Fertilizantes	
Fósforo	
Cambiar de P_2O_5 (fosfato) a P	multiplicando P_2O_5 por 0,4364
Cambiar de P a P_2O_5	multiplicando P por 2,2914
Potasio	
Cambiar de K_2O (potasa) a K	multiplicando K_2O por 0,8302
Cambiar de K a K_2O	multiplicando K por 1,2046

