

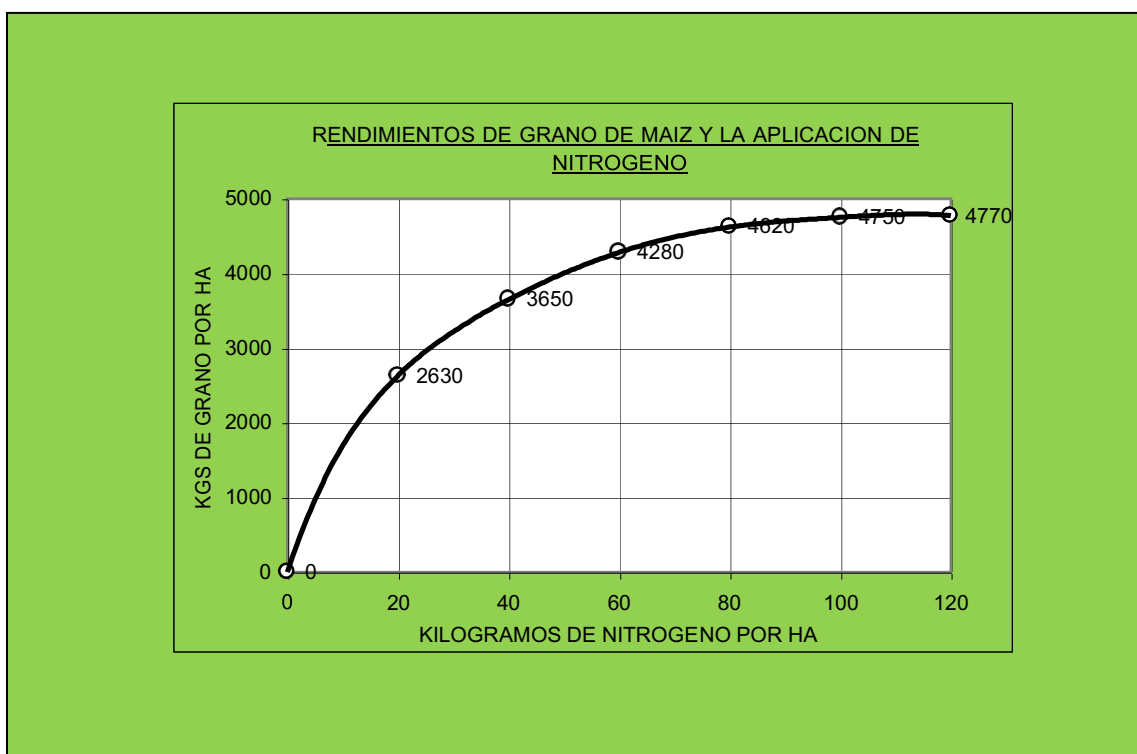


**UNIVERSIDAD AUTONOMA CHAPINGO**  
**DEPARTAMENTO DE PREPARATORIA AGRICOLA**  
**AREA DE AGRONOMIA**



**Sistemas  
de Producción  
Agrícola**

# MANUAL PARA EL CÁLCULO DE FÓRMULAS GENERALES DE FERTILIZACIÓN



**Elías Jaime Matadamas Ortiz**

Septiembre de 2021

# **MANUAL PARA EL CÁLCULO DE FÓRMULAS GENERALES DE FERTILIZACIÓN**

**Elías Jaime Matadamas Ortiz**

Septiembre de 2021

Primera actualización

## **DIRECTORIO**

**DR. JOSÉ SOLÍS RAMÍREZ**

Rector

**DR. LUIS PÉREZ LUGO**

Director del Departamento de Preparatoria Agrícola

**Ph D. LUZ MARÍA HERMOSO SANTAMARÍA**

Subdirectora Académica del Departamento de Preparatoria Agrícola

**QUIM. RICARDO HERNÁNDEZ LEE**

Subdirector Administrativo del Departamento de Preparatoria Agrícola

**DR. MIGUEL ÁNGEL REYES RETANA**

Subdirector de Investigación del Departamento de Preparatoria Agrícola

**M.C. ROGELIO ÁLVAREZ HERNÁNDEZ**

Coordinador del Área de Agronomía

## CONTENIDO

Capítulo	Pág
I. Introducción	4
II. Generalidades sobre la nutrición vegetal y fertilización	5
2.1 Nutrición Vegetal	5
2.2. Elementos esenciales	6
2.3. Absorción de elementos minerales	7
2.4. Fertilización mineral	8
2.5. Fuentes de los elementos minerales	10
2.6. Funciones de los elementos minerales	14
2.7. Fórmulas generales de fertilización mineral	18
III. Cálculo de fórmulas generales de fertilización mineral	18
3.1. Cálculo de la cantidad de fertilizantes para completar una fórmula general de fertilización	19
3.2. Cálculo de la cantidad de fertilizante y conocer la fórmula general de fertilización	27
IV. Ejercicios	29
V. Soluciones	34
VI. Bibliografía recomendada	37

## I. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se elaboró, hace ya 28 años, con la intención de que los estudiantes que en ese momento cursaban el plan de estudios del Propedéutico y que se encontraban inscritos en los cursos de **Introducción a la Agronomía y Cultivos Básicos** y los cursos de **Agronomía** del programa de la Preparatoria Agrícola; contaran con algunas notas sobre la resolución de problemas de cálculo de fórmulas generales de fertilización, donde en forma elemental pudieran encontrar los pasos a seguir y los conocimientos básicos de la nutrición mineral. A lo largo de este tiempo, los planes de estudios de ambos niveles han experimentado cambios notables, pero aún continúan conservando la necesidad de los cálculos de fertilizantes con miras al manejo adecuado y técnico de la práctica de la fertilización de los cultivos.

En esta primera actualización se incorporan mejoras a las fórmulas de cálculo y algunas modificaciones menores, esperando que este sencillo trabajo siga siendo un auxiliar en la aproximación básica a la nutrición mineral de las plantas cultivadas.

Elías Jaime Matadamas Ortiz

Chapingo, México, otoño 2021.

## II. GENERALIDADES SOBRE LA NUTRICIÓN VEGETAL Y FERTILIZACIÓN.

### 2.1. NUTRICIÓN VEGETAL

Las plantas cultivadas requieren para su desarrollo de un número determinado de elementos de los cuales el 80% de ellos son minerales. Excepto el Carbono (C), Oxígeno (O) e Hidrógeno (H) que las plantas extraen del agua y de la atmósfera, los restantes elementos son absorbidos, normalmente del suelo.

En la actualidad se acepta que 16 elementos de la naturaleza son considerados como esenciales para el desarrollo y reproducción de las plantas cultivadas.

#### Elementos esenciales para las plantas cultivadas

ELEMENTO	FORMA ASIMILABLE	ELEMENTO	FORMA ASIMILABLE
<b>C</b>	CO <sub>2</sub> , HCO <sub>3</sub>	<b>Fe</b>	Fe <sup>++</sup> , Fe <sup>+++</sup>
<b>H</b>	H <sub>2</sub> O, OH <sup>-</sup>	<b>Mg</b>	Mg <sup>++</sup>
<b>O</b>	CO <sub>3</sub> , O <sub>2</sub> , SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> , CO <sub>2</sub>	<b>B</b>	BO <sub>3</sub> <sup>---</sup>
<b>N</b>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> , NO <sub>3</sub>	<b>Mn</b>	Mn <sup>++</sup>
<b>P</b>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> , PO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	<b>Cu</b>	Cu <sup>++</sup>
<b>K</b>	K <sup>+</sup>	<b>Zn</b>	Zn <sup>++</sup>
<b>S</b>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> , SO <sub>3</sub>	<b>Mo</b>	MoO <sub>4</sub> <sup>=</sup>
<b>Ca</b>	Ca <sup>++</sup>	<b>Cl</b>	Cl <sup>-</sup>

La cantidad que absorben de cada uno de los elementos es relativa a la especie y aún a la variedad, pero pueden observarse que algunos de ellos, como el N, P, K, Ca, Mg, y S, son extraídos por las raíces de los vegetales en grandes cantidades.

#### Composición de una planta de Maíz (Miller, E., 1987).

Elemento	% del Peso Seco
Oxígeno	44.43
Carbono	43.57
Hidrógeno	6.24
Nitrógeno	1.46
Fósforo	0.20
Potasio	0.92
Calcio	0.23
Magnesio	0.18
Azufre	0.17
Hierro	0.08
Manganeso	0.03
Cloro	0.14
Otros elementos	2.21

A los 16 elementos mencionados se les considera como esenciales debido a que:

- a) En ausencia de alguno de ellos, el desarrollo de las plantas es anormal y éstas no logran completar su ciclo de vida.
- b) Ningún otro elemento puede sustituir al elemento en cuestión.
- c) Cada uno de los elementos esenciales tienen una función específica en el metabolismo o en la estructura de los tejidos vegetales.
- d) Con limitaciones severas de alguno de los elementos esenciales se observan síntomas característicos de la deficiencia.

## **2.2. ELEMENTOS ESENCIALES.**

Dentro de las prácticas de fertilización se han clasificado a los elementos esenciales de acuerdo a las necesidades de un gran número de vegetales. Dicha clasificación divide los elementos en **Macroelementos, Elementos Secundarios y Microelementos.**

### **MACROELEMENTOS (Elementos Primarios ó Elementos Principales).**

Nitrógeno, Fósforo y Potasio. Son imprescindibles para el desarrollo de los cultivos. Generalmente son estos tres elementos los que se consideran en las **Fórmulas Generales de Fertilización.**

### **ELEMENTOS SECUNDARIOS**

Calcio, Magnesio, Azufre y Cobre. Son también imprescindibles y al igual que los macroelementos, son necesarios en grandes cantidades. Sin embargo, las necesidades de las plantas de estos elementos no son calculada directamente, sino que son consideradas en prácticas de mejora del suelo, como el encalado, la estercolación, control de enfermedades o aplicación de fuentes inorgánicas de N, P o K.

### **MICROELEMENTOS (Oligoelementos ó Elementos Traza)**

Hierro, Manganeso, Boro, Zinc, Molibdeno y Cloro. Esenciales, pero son absorbidos en pequeñas cantidades por las plantas.

## **ELEMENTOS NO ESENCIALES.**

Se han encontrado más de 40 elementos en las plantas, sin embargo, se puede mencionar que algunos de ellos como, Sodio, Cobalto, Selenio, Flúor, Silicio, Aluminio, Arsénico, Cadmio, Titanio, Yodo y Vanadio; sin ser esenciales son absorbidos por las plantas y se piensa que pueden incluso participar en algunas funciones importantes y aún ser necesarios para algunos vegetales; como por ejemplo el Cobalto para los pastos forrajeros y algunas hortalizas.

### **2.3. ABSORCIÓN DE ELEMENTOS MINERALES**

Los nutrientes minerales son absorbidos de la solución del suelo por las raíces de las plantas. Son los pelos radicales o absorbentes, pequeños filamentos derivados del tejido epidérmico de las raíces, los responsables de esta absorción. La planta utiliza los elementos en estado de **Iones (Cationes y Aniones)**, que provienen de la disociación de las sales (cloruros, nitratos, sulfatos, etc.). Estos iones pueden encontrarse en la solución de suelo y estar absorbidos por los coloides orgánicos e inorgánicos del suelo.

La absorción de nutrientes puede llevarse a cabo por transporte pasivo y por transporte activo. El transporte pasivo ocurre por difusión libre de los iones a favor del gradiente de potencial electroquímico sin necesidad de aporte de energía externa. Este tipo de transporte requiere siempre que el potencial electroquímico en el exterior de la célula sea mayor que en el interior de la célula.

El transporte activo es un mecanismo de difusión contra un gradiente de concentración. Se entiende por transporte activo, al movimiento de un ión contra el gradiente de potencial electroquímico. Este proceso requiere termodinámicamente el aporte de energía que suministra el metabolismo celular.

En relación con el movimiento de nutrientes a través de la raíz, habrá que distinguir entre el **Apoplásto** y el **Simplásto**. El apoplasto comprende la zona de difusión libre (espacio libre) y está constituido por las paredes celulares, los espacios intercelulares y los vasos del xilema. Forma un sistema continuo sólo interrumpido a la altura de la endodermis por una banda suberificada (Banda de Caspary), donde los elementos se "topan" y que, para seguir su camino, deben obligatoriamente entrar y atravesar el protoplasma de la célula endodérmica.

La entrada en el simplasto, por lo tanto, requiere que los solutos atraviesen la barrera semipermeable, o selectivamente permeable del plasmolema. El movimiento a través de esta membrana puede ser activo, es decir, el ion puede moverse contra el gradiente de potencial electroquímico gracias a la ayuda de energía metabólica, o



puede ser pasivo respondiendo al potencial de difusión a través de la membrana. Una vez atravesado el plasmolema, en el seno del citoplasma, el simplasto forma un sistema continuo que se intercomunica célula a célula por los plasmodesmos.

La absorción de minerales no se puede separar de la absorción de agua ya que los primeros van en el agua que circula por las mismas vías hasta los puntos donde serán utilizados; movimiento promovido principalmente por la transpiración. En resumen, podemos mencionar que los iones en la raíz siguen la vía del apoplasto hasta la endodermis, donde penetran en el simplasto. Una vez en el cilindro central, los iones son "desembocados" del simplasto al apoplasto, ingresando así en la vía del xilema donde son arrastrados por la corriente de transpiración a lo largo de toda la planta.

Los elementos minerales absorbidos y transportados se reparten más o menos rápido y de manera desigual en los diversos órganos de la planta dependiendo de las necesidades metabólicas.

## **2.4. FERTILIZACIÓN MINERAL.**

La fertilización mineral es una práctica importante en los procesos de producción agrícola y tiene por finalidad mantener en el suelo un contenido adecuado de elementos minerales, en condiciones de asimilabilidad, para que las plantas de un cultivo puedan absorberlos en el momento preciso y en las cantidades necesarias. Es menester tomar en cuenta ciertas consideraciones al tratar de implementar un plan de fertilización, algunas de ellas podrían ser:

- 1.- Estado de fertilidad del terreno.
- 2.- Manejo del terreno.
- 3.- Cultivo o cultivos explotados.
- 4.- Dinámica de los elementos en ese ecosistema.
- 5.- Consideraciones técnicas y económicas.

El último punto se puede abordar al revisar las **Leyes de la Fertilización Mineral**, que, aunque no son privativas de esta práctica, nos proporcionan luces para normar nuestro criterio.

### **Ley de la Restitución** (Boussignault y Deherain, 1860).

Esta ley nos indica que si se desea mantener la fertilidad de un suelo es necesario devolver todos los elementos nutritivos que por las siguientes causas pudieran perderse:

- Extracción de los cultivos.
- Consumo por las malas hierbas (maleza).
- Lixiviación.
- Fijación.
- Transformación a compuestos orgánicos.

Lo anterior implica que para suelos pobres o poco fértiles no bastará con reponer las extracciones pérdidas, sino que habrá que hacer aumentar el contenido de nutrientes.

### **Ley del Mínimo** (Von Liebig, 1840).

Según su autor el rendimiento de los cultivos es proporcional (hasta cierto punto) a la aplicación del elemento mineral que se encuentra en menor cantidad. Si se incrementa el elemento mínimo o limitante, los rendimientos aumentan linealmente hasta un punto en que otro elemento actúe como mínimo, o hasta el punto de toxicidad. En base a esta ley, es recomendable tener un nivel satisfactorio de todos los elementos en el suelo, y no esperar a que uno de ellos sea limitante. La fertilización debe prevenir deficiencias en los cultivos y hacerse a tiempo.

### **Ley de los Incrementos Decrecientes** (Mitscherlich, 1909)

Se ha estudiado el incremento de los rendimientos como respuesta al efecto del incremento de la aplicación de un determinado elemento mineral, y se ha observado que esos incrementos no son proporcionales a las cantidades aplicadas, es decir, los aumentos en rendimiento van siendo más pequeños a medida que se aplican cantidades adicionales del elemento en cuestión.

Esta ley nos proporciona los argumentos para decidir en que momento la aplicación de cierto elemento mineral, es conveniente desde el punto de vista económico. No siempre los altos rendimientos resultan económicamente viables.

## 2.5. FUENTES DE LOS ELEMENTOS MINERALES

En forma natural en el suelo, los minerales requeridos por las plantas se liberan por el desdoblamiento de materiales orgánicos, como resultado de la actividad de los microorganismos sobre la materia orgánica.

Por otra parte, otra fuente importante la constituyen las Fuentes Inorgánicas o Químicas, comúnmente llamados **Fertilizantes Químicos**, o simplemente fertilizantes. Estas fuentes son extraídas de depósitos minerales o de procesos industriales, y constituyen insumos subsidiarios en el agroecosistema.

Los fertilizantes químicos pueden presentarse en forma sólida, líquida o gaseosa, por lo que su aplicación será diferenciada. En forma general los fertilizantes inorgánicos se clasifican de acuerdo al número de macroelementos que contengan, así pues, se pueden dividir en **Simples o Compuestos**, los que a su vez se subdividen en **Binarios o Ternarios**.

**Fertilizantes Simples.** Son compuestos químicos que contienen uno solo de los macroelementos. Pueden ser simples nitrogenados, simples fosforados o simples potásicos.

**Fertilizantes Compuestos.** Son fertilizantes con dos o los tres macroelementos. Si contienen 2 elementos principales que se les denomina Binarios, y si contienen tres, Ternarios.

**Binarios.** Se incluyen las siguientes asociaciones:

- a) Nitrogenado-Fosfatados (N-P)
- b) Nitrogenado-Potásicos (N-K)
- c) Fosfopotásicos (P-K)

**Ternarios.** Llevan todos los macroelementos (N-P-K)

Entre los más usados tenemos las mezclas complejas, 18-9-18, 18-12-6, 17-17-17, 15-15-15, 16-16-16, 15-30-15, 25-25-25 y 10-10-10.

## Fuentes comerciales de elementos nutritivos

Nombre comercial	Fórmula	Concentración (%)			Otros elementos
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
Sulfato de amonio	SO <sub>4</sub> (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	20.5	-	-	S
Nitrato de amonio	NO <sub>3</sub> NH <sub>4</sub>	33.5	-	-	-
Urea	CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	46.0	-	-	-
Amoniaco Anhídrido	NH <sub>3</sub>	82.0	-	-	-
Cianamida cálcica	CN <sub>2</sub> Ca	14.0-20.0	-	-	Ca
Cianamida hidrogenada	H <sub>2</sub> CN <sub>2</sub>	10	-	-	-
Superfosfato de calcio simple	(20%P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	-	20.0	-	Ca
Superfosfato de calcio triple	(46% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	-	46.0	-	Ca
Cloruro de potasio	KCl	-	-	60.0	Cl
Sulfato de potasio	SO <sub>4</sub> K <sub>2</sub>	-	-	50.0	S
Nitrato de potasio	NO <sub>3</sub> K	13	-	44.0	-
Fosfato diamónico	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	18	46	-	-
Nitrofoska azul		12	8	16	
Triple 17		17	17	17	

En realidad, los elementos nutritivos para las plantas no se pueden adquirir en forma pura para su aplicación, sino más bien en compuestos que pueden tener formas asimilables para los vegetales. Una fuente comercial es de hecho un compuesto en el que se encuentra el elemento en forma asimilable en una determinada cantidad. La cantidad del elemento en el compuesto comercial es llamada **concentración** y está dada en porcentaje (%).

De acuerdo con lo anterior, si por ejemplo adquirimos 100 kilogramos de cloruro de potasio (KCl), encontraremos solo 60 kilogramos de potasio en forma asimilable (K<sub>2</sub>O) ya que la concentración de esta fuente es del 60%.

**Sulfato de Amonio.** Tiene una presentación de pequeños cristales y contiene 20.5% de Nitrógeno amoniacal. El fertilizante se mezcla bien con los superfosfatos y el cloruro de potasio, no en cambio, con escorias o fosfatos naturales ya que puede haber una pérdida de amoniaco. Aporta también un 23% de Azufre. Debe implementarse con mucha precaución en suelos con pH menor de 6.0 ya que acidifica el suelo.

**Nitrato de amonio.** Químicamente puro presenta una riqueza del 35% nitrógeno, mitad nítrica, mitad amoniacal. Su empleo y manejo resulta difícil, ya que tiene una gran capacidad higroscópica. Sin embargo, las presentaciones comerciales actuales han salvado en gran medida esta desventaja, al recubrir los gránulos con un

acondicionador (diatomita). Su solubilidad es muy alta, ya que supera 1 Kg/lit, a temperatura ambiente.

**Urea.** Es un compuesto amídico. Químicamente es la diamida del ácido carbónico. Generalmente se distribuye comercialmente en forma granulada. Tiene una concentración mínima de nitrógeno de 46%. Su solubilidad es muy alta, ya que a temperatura ambiente puede superar los 1000 gr/lit, de agua, lo que permite utilizarla convenientemente vía foliar. Su densidad es reducida, 684 gr/dm<sup>3</sup>, lo que facilita su manejo.

En el proceso de fabricación puede formarse un compuesto denominado **Biuret**, que no es más que la condensación de las moléculas de urea con desprendimiento de una de amoniaco. El biuret es un producto altamente tóxico para las plantas, sobre todo con aplicaciones foliares. Por esta razón existe en el mercado dos tipos de urea:

- Urea granulada para aplicaciones al suelo con un contenido de biuret de alrededor del 1%.
- Urea cristalizada para aplicaciones foliares con un contenido de biuret inferior al 0.25%.

Gracias a la acción de una diastasa, la ureasa segregada por ciertas bacterias, la urea se hidroliza en el suelo y pasa a un estado amoniacal, para después transformarse en nitrógeno nítrico.

En tanto no se hidrolice, la urea penetra al suelo como compuesto nitrato y no es retenido en el complejo de absorción el suelo. Una vez hidrolizada se comporta como un abono amoniacal fijado al suelo.

Una buena actividad microbiana y un adecuado contenido de materia orgánica favorecen la tasa de hidrolización, que puede tener lugar de 2 a 3 días en suelos ricos en materia orgánica y hasta de 8 a 10 días en suelos pobres. No soporta hidrogeniones por lo que tiene una acción neutra en el pH de las soluciones del suelo.

**Amoniaco Anhidro.** Es la fuente o fertilizante de nitrógeno de mayor concentración, ya que este producto comercial ofrece una riqueza del 82%, la forma de nitrógeno escompletamente amoniacal. A temperatura y presión ambiental suele estar en estado gaseoso, pero a una alta presión es líquido y comúnmente se aplica al suelo con un equipo de inyección. Sus aplicaciones son muy efectivas debido a que no lleva ningún tipo de aditivo.

**Cianamida cálcica.** Su riqueza varía entre un 14 a 20% de nitrógeno amoniacal, más exactamente amídico. La cianamida cálcica sufre en el suelo una primera transformación que hace pasar el nitrógeno amídico a amoniacal, el cual se somete a la nitrificación como los restantes abonos amoniacales. Aporta entre un 60 a 70% de cal bajo forma activa, lo que la hace indicada para suelos arcillosos descalcificados.

**Superfosfato de Calcio.** Estos compuestos se obtienen al tratar con ácido sulfúrico los fosfatos tricálcicos, los cuales a su vez provienen de la trituración de los fosfatos naturales. El superfosfato esencialmente es una mezcla de fosfato monocálcico y de sulfato cálcico.

El superfosfato triple se obtiene al tratar los fosfatos naturales con ácido fosfórico. El empleo de superfosfatos se recomienda en suelos con deficiencia de calcio. Tiene un pH neutro por lo que no hace cambiar la reacción del suelo, además incorpora minerales como azufre (11 a 12%), aparte de pequeñas cantidades de Hierro, Zinc, Manganeso y Molibdeno.

**Cloruro de Potasio.** Es el fertilizante potásico más comúnmente utilizado. Se presenta bajo la forma de cristales blancos y rojos, prismáticos de tamaño variable. Proviene de la refinación de la silvinita después de que se elimina el cloruro de sodio.

**Sulfato de Potasio.** Es una sal rojiza obtenida por el tratamiento del cloruro de potasio con ácido sulfúrico. Posee una riqueza del 50% de potasio y no contiene cloruros. Tiene una naturaleza cristalina y una constante de solubilidad de 4 Kg/lit de agua a temperatura de 20°C. Aporta azufre al suelo.

**Nitrato de Potasio.** Fertilizante binario que tiene un 14% de nitrógeno nítrico y un 44% de potasio, el cual aporta ambos elementos en forma asimilable. Es soluble en agua.

**Fosfato diamónico.** Es un fertilizante binario (nitrógeno y anhídrido fosfórico) de alta concentración de elementos fertilizantes solubles. Es soluble en agua. Es una mezcla de fosfato monoamónico y diamónico, conteniendo también fosfatos de hierro y aluminio como principales impurezas.

## **2.6. FUNCIONES DE LOS ELEMENTOS MINERALES.**

Los elementos minerales intervienen en una serie muy variada de funciones como:

- 1.- Parte estructural de las células.
- 2.- Activadores de enzimas.
- 3.- Constituyentes de enzimas (como constituyentes de un grupo prostético y parte de la proteína).

A continuación, citaremos las funciones específicas de los elementos esenciales:

### ***NITRÓGENO***

El papel más notable del nitrógeno en los vegetales es ser parte de la estructura de la molécula proteínica. Además, el nitrógeno se encuentra en los aminoácidos, ácidos nucleicos, coenzimas y hormonas vegetales y otros compuestos como las porfirinas, las cuales a su vez constituyen sustancias tan importantes como la clorofila y los citocromos.

Interviene en la síntesis de proteínas y en el crecimiento en general.

### ***FÓSFORO***

El fósforo se encuentra en los ácidos nucleicos (ADN y ARN), fosfolípidos y de las coenzimas NAD y NADP y en los paquetes energéticos ATP. Se han encontrado altas concentraciones de fósforo en los tejidos meristemáticos de las zonas apicales con un activo crecimiento, probablemente interviniendo en la síntesis de nucleoproteínas. En las membranas celulares el fósforo se encuentra en los fosfolípidos.

Las coenzimas NAD y NADP intervienen en las reacciones de óxido-reducción en el metabolismo.

### ***POTASIO***

El potasio ejerce en las plantas influencias fisicoquímicas importantes:

- En un ion monovalente hidratante, con lo que estimula el contenido de agua en las células.
- Permite mantener la permeabilidad de las membranas celulares.

- Interviene en la apertura estomática.
- Incrementa la presión osmótica de las células.

Por otra parte, tiene funciones de naturaleza bioquímica como:

- Interviene como activador en reacciones enzimáticas como: glicólisis, fosforilación oxidativa.
- Activa la absorción de nitratos.
- Estimula la síntesis de proteínas.
- Reduce la velocidad de la transpiración de la planta, proporcionando mayor resistencia de la planta a la sequía.
- Juega un papel en la síntesis de azúcares.

### ***CALCIO***

- Forma parte de las paredes celulares en forma de péctatos de calcio. La lámina media de las membranas celulares está formada básicamente por pectatos de calcio.
- Interviene en la división celular mitótica. Posiblemente tenga que ver con la organización de la cromatina y el uso acromático.
- Es activador de las enzimas fosfolipasa, quitinasa, arginina y trifosfatasa.
- Promueve el transporte de glucósidos.

### ***AZUFRE***

- Forma parte de los aminoácidos azufrados (cistina, cisteína y metionina) que a su vez forman las proteínas.
- Es parte de vitaminas sulfuradas (biotina, tiamina y la coenzima A).
- Se encuentra en los grupos radicales sulfidrilos de muchas enzimas.
- Sirve de enlace en la estructura proteica, al formar puentes que junto con los enlaces peptídicos y los de hidrógeno estabilizan molecularmente las proteínas.

### ***MAGNESIO***

- El magnesio forma parte de la molécula de clorofila, sin la que la fotosíntesis no podría realizarse.
- Es activador de enzimas en la síntesis de ácidos nucleicos (ADN y ARN).
- Es transportador en el metabolismo de glúcidos.
- Es un agente de unión entre los microsomas en donde se realiza la síntesis de proteínas



## **HIERRO**

- Forma parte de diversas cromoproteínas e interviene en esta forma en reacciones de óxido-reducción. Las cromoproteínas más importantes donde está presente el fierro son: la hemoglobina, los citocromos, las catalasas y peroxidasas.
- Es de importancia en forma de grupo prostético de la hemoglobina en su versión leghemoglobina en los nódulos de las raíces de las leguminosas, y en los procesos de fijación de nitrógeno ambiental por ciertas bacterias.
- Es esencial en la síntesis de clorofila.
- Interviene en la síntesis de las proteínas del cloroplasto.

## **MANGANESO**

- Interviene en el ciclo de Krebs como activador de la deshidrogenasa málica y de la descarboxilasa oxalosuccínica.
- Desempeña un papel importante en la reducción de nitratos, actuando como activador de la reductasa de los nitritos y la reductasa de la hidroxilamina.
- Es un agente oxidante del ácido indol-3-acético (AIA), el cual es una auxina de las plantas.
- Coopera con el fierro en la síntesis de la clorofila y estimula la fotosíntesis.

## **COBRE**

- Actúa como componente de las fenolasas, de la lacasa y de la oxidasa.
- Promueve la absorción de CO<sub>2</sub>.
- Interviene en la fotosíntesis al formar parte de la cloroproteína llamada plastocianina.

## **ZINC**

- Interviene en la biosíntesis de la hormona auxínica llamada ácido indol-3-acético (AIA).
- Actúa como activador de la anhidrasa carbónica la cual cataliza la descomposición del ácido carbónico en anhídrido carbónico y agua.
- Juega importante papel en la síntesis de proteínas.

## **BORO**

- Interviene en el transporte y utilización de azúcares en la planta.

- Influye en la absorción del fósforo, formación de ácidos nucleicos y síntesis de proteínas.
- Interviene en la división celular y en la actividad de los meristemos apicales.
- Esta presente en la biosíntesis de lignina y de sustancias pécticas.
- Favorece el funcionamiento de los nódulos de las raíces de las leguminosas.
- En forma indirecta, interviene en la absorción de agua por la planta al hacer reducir la permeabilidad de las membranas celulares, reduciendo la tasa transpiratoria.

### ***MOLIBDENO***

- Forma parte el grupo prostético de dos sistemas enzimáticos fundamentales en la evolución de nitrógeno en la planta: nitrato-reductasa y nitrogenasa. El sistema nitrato-reductasa cataliza la reducción de los  $\text{NO}_3^-$  y, en su ausencia se produce una acumulación anormal de nitratos y carencia de algunos aminoácidos. La nitrogenasa cataliza la reducción del dinitrógeno hasta  $\text{NH}_3$ . Este sistema se encuentra en los organismos fijadores de nitrógeno.
- La presencia del molibdeno es indispensable para la fijación de nitrógeno atmosférico por ciertas bacterias.
- Interviene en la producción del ácido ascórbico, el cual es un agente protector de los cloroplastos.
- Interviene en el metabolismo del fósforo.

### ***CLORO***

- Contribuye a mantener turgentes las células vegetales.
- Proporciona resistencia a la sequía.
- En cantidades muy altas puede ser fitotóxico.

## 2.7. FÓRMULAS GENERALES DE FERTILIZACIÓN MINERAL

Una fórmula general de fertilización mineral es una recomendación técnica de la cantidad de macroelementos que debemos aplicar para cierto cultivo en una determinada zona y para una superficie de una hectárea o 10,000 m<sup>2</sup>.

Estas recomendaciones técnicas son generadas en los Centros de Investigación Agrícola (INIFAP) en base a ensayos experimentales, los cuales toman en consideración la especie, variedad, condiciones edafológicas y climáticas de la zona.

Una fórmula general de fertilización mineral toma en cuenta los elementos primarios, es decir, el nitrógeno (N), fósforo (P) y el potasio (K); y en ese orden nos indican los kilogramos de **cada elemento** a aplicar durante el ciclo del cultivo en una superficie de 10,000 m<sup>2</sup>. Así tenemos que la fórmula general para el frijol en Chapingo, Méx., es de 60-40-00, la que nos indica que debemos aplicar, 60 Kg del elemento nitrógeno; 40 Kg del elemento fósforo y ninguna cantidad de potasio. Como se puede observar en el ejemplo anterior, la fórmula general está compuesta de 3 cifras separadas por 2 guiones (00-00-00). La primera cifra corresponde a la cantidad del elemento **nitrógeno**, la segunda a la cantidad de **fósforo**, y la tercera a la cantidad de **potasio**.

### III. CÁLCULO DE FÓRMULAS GENERALES DE FERTILIZACIÓN MINERAL.

El cálculo de las fórmulas generales de fertilización mineral consiste en determinar la cantidad de la fuente, o de fertilizante químico (**F**) necesaria para obtener una cierta cantidad del elemento (**E**) o elementos indicados en estas fórmulas generales para una superficie o área de cultivo a fertilizar (**S**).

En principio, es necesario considerar que los fertilizantes químicos o inorgánicos, contienen solo ciertos porcentajes de los macroelementos, es decir, tienen una cierta concentración (**c**), y que los elementos no se encuentran en forma pura en la naturaleza.

**Concentración en los Fertilizantes.** La concentración (**c**) de los macroelementos en los fertilizantes la podemos definir como la proporción en porcentaje del (los) elemento (s) en el compuesto fertilizante. Por ejemplo, el compuesto sulfato de amonio tiene una concentración del 20.5% de nitrógeno, y esto significa que en cualquier cantidad de este fertilizante habrá un 20.5% del macroelemento nitrógeno. De acuerdo con lo anterior, en 100 Kg de sulfato de amonio tenemos 20.5 Kg de nitrógeno.

En el caso de un fertilizante binario, como el fosfato diamónico (FDA) en 100 Kg de este compuesto habrá 18 Kg de nitrógeno y 46 Kg de fósforo dado que las concentraciones de los citados macroelementos son de 18-46-00 (18% N -46% P - 00% K). Es usual que en los sacos que contienen fertilizantes, la concentración esté indicada en base a tres cifras separadas por dos guiones (00-00-00), donde la primera corresponde a la concentración del nitrógeno, la segunda a la del fósforo y la tercera a la del potasio.

La concentración de los elementos en los fertilizantes químicos es relativamente constante, ya que esta determinada por el proceso de fabricación y así mismo, por las materias primas utilizadas.

Volviendo al punto inicial de este tema, es recomendable tener presente cuál macroelemento, o macroelementos contienen los productos fertilizantes que vamos a utilizar, así como también su concentración, para estar en condiciones de hacer los cálculos de la fórmula general.

Se pueden presentar una amplia diversidad de situaciones en el cálculo de las fórmulas de fertilización, por lo que en esta ocasión revisaremos algunos casos generales y otros particulares, para que usted lector pueda resolver cualquier caso de cálculo.

En forma general consideramos los dos casos que a menudo se presentan:

- 1) Cuando deseamos saber qué cantidad de fertilizante químico o fuente (**F**) necesitamos para completar una determinada fórmula general de fertilización.
- 2) Cuando conocemos la cantidad de fertilizantes químicos o fuentes (**F**), y deseamos saber la fórmula general de fertilización que se aplicó, o qué cantidad del elemento (**E**) se encuentra en esas fuentes.

### **3.1. CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE FERTILIZANTES PARA COMPLETAR UNA FÓRMULA GENERAL DE FERTILIZACIÓN.**

Este es el caso más común cuando una vez conocida la fórmula general de fertilización para el cultivo a establecer y para nuestra región; nos preparamos para aplicar fertilizantes químicos al suelo.

En este momento, es necesario saber con que fuentes contamos, ya que, dependiendo de éstas, se procederá al cálculo. Debemos tomar en cuenta si las fuentes son **simples**, **binarias** o **ternarias**, así como tener presente qué

macroelemento o macroelementos contienen esas fuentes, y también es importante conocer la concentración de cada una de ellas.

Por otra parte, dado que las fórmulas generales son generadas para una hectárea (10,000 m<sup>2</sup>); es recomendable especificar cuál es la superficie por fertilizar (**S**) para así hacer las operaciones pertinentes para ajustar nuestro cálculo a nuestro terreno. Una vez considerado lo anterior, utilizaremos una fórmula de cálculo muy sencilla que se da a continuación.

$$F = \frac{E (S)}{c}$$

1

Dónde:

- F** = Cantidad de fertilizante inorgánico necesario, Kg.
- S** = Superficie de cultivo a fertilizar (has).
- E** = Cantidad del elemento recomendada en la fórmula general de fertilización Kg.
- c** = Concentración de la fuente.

**Ejemplo 1.** Queremos calcular la fórmula general de fertilización 60-40-00 recomendada para frijol en Chapingo, Méx., para un cultivo con una extensión de 10,000 m<sup>2</sup>, y contamos como fuentes a la urea y al superfosfato triple de calcio.

El primer paso es considerar que la fórmula general no recomienda la aplicación de potasio; que nuestra superficie es de una hectárea (1 ha) y que las fuentes disponibles son simples; es decir, la urea solo contiene nitrógeno y el superfosfato triple de calcio, solo contiene fósforo.

Si revisamos la tabla de concentraciones veremos que la urea tiene una concentración de nitrógeno del 46% y el superfosfato triple de calcio tiene una concentración de fósforo del 46%.

En este caso, procederemos a sustituir los términos de la fórmula de cálculo empezando por la fuente nitrogenada, aunque por tratarse de fuentes simples podría también iniciarse del fertilizante fosforado.

$$F_{urea} = \frac{60(1)}{0.46} = 130.434 \text{ Kg}$$

Al sustituir los valores en la fórmula de cálculo es necesario tener cuidado de introducir los datos de manera correcta. Las concentraciones de las fuentes deben estar en cifras decimales (46% como 0.46) y la superficie en hectáreas (10, 000 m<sup>2</sup> como 1 ha).

$F_{urea}$  es la cantidad de urea (Kg) necesaria para contar con 60 Kg de nitrógeno (N) como elemento. Estos 60 Kg son los que nos recomienda la fórmula general de fertilización (60-40-00).

Ya que calculamos el fertilizante nitrogenado, procedemos a calcular el fosforado de la misma forma:

$$F_{SFTCa} = \frac{40(1)}{0.46} = 86.95 \text{ Kg}$$

$F_{SFTCa}$  son Kg de superfosfato triple de Calcio necesarios para obtener 40 Kg del macroelemento fósforo (P). Los 40 Kg que aparecen en la fórmula de cálculo son los que recomienda la fórmula general de fertilización (60-40-00). El valor de 0.46 en las dos operaciones significa que la urea tiene una concentración de nitrógeno del 46% y que el superfosfato triple de calcio también tiene una concentración del 46%; pero en este caso es de fósforo (P).

Finalmente, estamos en condiciones de decir que son necesarios 130.43 Kg de urea y 86.95 Kg de superfosfato triple de calcio; para fertilizar una hectárea de frijol en Chapingo, Méx., en base a la fórmula general de fertilización, 60-40-00.

**Ejemplo 2.** Calcular las cantidades de urea y superfosfato triple de Calcio para fertilizar 15 has. de frijol en Chapingo, Méx., con la fórmula general de fertilización, 60-40-00.

Si observamos este último ejemplo es igual al primero, con excepción de que en lugar de pretender fertilizar 1 ha, aquí fertilizaremos 15 has.

$$F_{urea} = \frac{60(15)}{0.46} = 1,956.521 \text{ Kg}$$

La misma fórmula de cálculo nos ajusta las cantidades de fertilizante al introducir la superficie a fertilizar. Para el caso del superfosfato triple de calcio procedemos de la misma manera:

$$F_{SFTCa} = \frac{40(15)}{0.46} = 1,304.347 \text{ Kg}$$

Ahora estamos en condiciones de decir que son necesarios 1956.521 Kg de urea y 1304.347 Kg de superfosfato triple de calcio para fertilizar 15 hectáreas de frijol en Chapingo, Méx., en base a la fórmula general de fertilización, 60-40-00.

Cuando por otra parte la superficie a fertilizar es menor a 1 hectárea se procede de la misma manera:

**Ejemplo 3.** Calcular las cantidades de urea y superfosfato triple de calcio para fertilizar 5,000 m<sup>2</sup> de frijol en Chapingo, Méx., con la fórmula general de fertilización, 60-40-00.

$$F_{urea} = \frac{60(0.5)}{0.46} = 65.217 \text{ Kg}$$

$$F_{SFTCa} = \frac{40(0.5)}{0.46} = 43.478 \text{ Kg}$$

Como una hectárea tiene 10,000 m<sup>2</sup>, entonces 5,000 m<sup>2</sup> corresponden a 0.5 hectáreas.

Para un cultivo de 0.5 has de frijón en Chapingo, Méx., se requieren 65.217 Kg de urea y 43.478 Kg de Superfosfato triple de calcio utilizando la fórmula general de fertilización, 60-40-00.

En todos los ejemplos anteriores hemos realizado los cálculos con fuentes simples; sin embargo, no siempre estarán disponibles solo fertilizantes simples ya que con frecuencia se utilizan en combinación simples con compuestos.

**Ejemplo 4.** Fertilizaremos 1 hectárea de cebolla con la fórmula 120-80-30, utilizando como fuentes al triple 17, al fosfato diamónico y al sulfato de amonio ¿Qué cantidad de cada una de las fuentes son necesarias?

Detengámonos a analizar el problema, notaremos que la fórmula general de fertilización considera la aplicación de los tres macroelementos; el nitrógeno (N), el fósforo (P) y el potasio (K).

Por otra parte, podemos identificar que se dispone de una fuente compuesta ternaria (triple 17) una fuente compuesta binaria (fosfato diamónico, 18-46-00) y una fuente simple (sulfato de amonio, 20.5%).

El fertilizante triple 17 (17-17-17) contiene los 3 macroelementos, cada uno en una concentración del 17%. En otras palabras, determinada cantidad de esta fuente contiene 17% de nitrógeno, el 17% de fósforo y el 17% de potasio, y el porcentaje restante (49%) son componentes, o incluso elementos secundarios, no incluidos en la fórmula general de fertilización.

Si tomamos por ejemplo 100 Kg de triple 17; contamos con 17 Kg del elemento nitrógeno, 17 Kg de fósforo y 17 Kg de potasio, y el peso restante lo constituyen otros elementos y componentes.

El fosfato diamónico es, como ya lo vimos, una fuente binaria o un fertilizante compuesto binario que en su formulación contiene dos macroelementos como son el nitrógeno y el fósforo en concentraciones del 18% y 46% respectivamente.

El sulfato de amonio es un fertilizante nitrogenado simple ya que solo contiene en determinado peso, un 20.5% de nitrógeno. Lo anterior significa que en cada 100 Kg de sulfato de amonio tenemos 20.5 Kg de nitrógeno.

Se sugiere realizar el cálculo de la fórmula general de fertilización siguiendo los siguientes pasos:

1. Comenzar por la cantidad más pequeña de dicha fórmula,
2. También iniciar con el fertilizante compuesto ternario,
3. Llevar la cuenta de las cantidades de elementos,
4. Continuar con la siguiente cantidad más pequeña de la fórmula general de fertilización, restándole las cantidades ya calculadas y utilizando el fertilizante compuesto binario y,
5. Completar el cálculo con la fuente simple.

La cantidad menor de la fórmula general de fertilización es 30, que corresponde a la cantidad de potasio elemental y el fertilizante ternario es el triple 17.

$$F \text{ triple } 17 = \frac{30(1)}{0.17} = 176.47 \text{ Kg}$$

Aunque solo estamos calculando la cantidad de potasio elemental (K), al tratarse de un fertilizante ternario; en 176.47 Kg de triple 17 además de tener 30 Kg de potasio, también tenemos 30 Kg de fósforo e igual cantidad de nitrógeno.



Lo anterior es importante de considerar ya que debemos tomar en cuenta las cantidades resultantes de cada uno de los elementos para no calcular una cifra mayor que la que nos pide la fórmula general.

Ya que hemos calculado la fuente ternaria, es recomendable proseguir con la fuente binaria, que en este ejemplo es el fosfato diamónico (18-46-00); aplicando la fórmula de cálculo anterior para el fósforo.

$$F \text{ fosfato diamónico} = \frac{50(1)}{0.46} = 108.695 \text{ Kg}$$

Sólo se calcularon 50 Kg de fósforo ya que con la fuente ternaria se obtuvieron 30 Kg de este elemento. El valor de 0.46 es la concentración de fósforo en el fertilizante.

Con 108.695 Kg de fosfato diamónico tenemos 50 Kg de fósforo y también tenemos 19.56 Kg de nitrógeno. Esta cantidad de nitrógeno se calcula con la siguiente fórmula (2):

$$E = \frac{F}{S} (c) \quad 2$$

$$E \text{ nitrógeno} = \frac{108.695}{1} (0.18) = 19.565 \text{ Kg}$$

Hasta este punto, se han obtenido las cantidades de fuentes para completar el potasio y el fósforo requeridos en la fórmula general de fertilización, pero falta completar la cantidad de nitrógeno. Restándole las cantidades aportadas por el triple 17 y el fosfato diamónico; nos harían falta 70.435 Kg de nitrógeno elemental.

Únicamente podemos utilizar una fuente simple nitrogenada, ya que si empleamos fuentes compuestas alteraríamos las cantidades de fósforo y potasio. En este caso es el sulfato de amonio la fuente apropiada.

$$F \text{ sulfato de amonio} = \frac{70.435(1)}{0.205} = 343.585 \text{ Kg}$$

El valor de 0.205 representa la concentración de 20.5% de nitrógeno en el sulfato de amonio.

Para concluir con la resolución de los problemas que nos ocupan diremos que, con 176.47 Kg de triple 17; 108.695 Kg de fosfato diamónico y 343.685 Kg de sulfato de amonio podemos fertilizar 1 hectárea (ha) de cebolla con la fórmula general de fertilización 120-80-30:

	<b>N</b>		<b>P</b>		<b>K</b>
176.47 Kg de triple 17	30	-	30	-	30
108.695 Kg de fosfato diámonico	19.565	-	50	-	00
343.585 Kg de sulfato de amonio	70.435	-	00	-	00
	120	-	80	-	30

Otro caso particular que se presenta es cuando la fórmula general de fertilización es dividida para su aplicación. La práctica de fertilización se realiza con la mezcla de todas las fuentes a utilizar.

Cuando la fertilización es llevada a cabo manualmente se deposita una determinada cantidad de la mezcla de fuentes para cada planta, mata, hilera o surco, y cuando ésta se hace con fertilizadora, de igual manera se tienen que mezclar todas las fuentes.

De acuerdo con las características químicas del fertilizante inorgánico y a las reacciones físico-químicas que resultan después de su aplicación al suelo; la fertilización se puede hacer en una, dos o más aplicaciones, a fin de que los elementos minerales se encuentren disponibles en el momento en que serán utilizados para el metabolismo de la planta.

En este caso, la fórmula general se tiene que seccionar en base a un criterio técnico de aplicación. Generalmente es la cantidad de nitrógeno la que se aplica en varias oportunidades, y el fósforo y potasio casi siempre se aplican en una sola oportunidad al inicio del cultivo.

**Ejemplo 5.** Calcule las cantidades de nitrato de amonio y superfosfato triple de calcio necesarias para fertilizar 1 hectárea de maíz con la fórmula 120-80-00 haciendo tres aplicaciones. La primera fertilización se hará en el momento de la siembra aplicando un tercio del nitrógeno y todo el fósforo, la segunda fertilización se hará en la primera labor con otro tercio del nitrógeno y la tercera consistirá en aplicar el resto del nitrógeno en la segunda labor.

El primer paso para resolver este ejercicio es dividir la fórmula general de fertilización en base a las especificaciones para su aplicación.

Época		N	P	K
1ra. Fertilización	Al momento de la siembra (1/3 de N y todo el P)	40	80	00
2da. Fertilización	Primera labor (1/3 del N)	40	00	00
3ra. Fertilización	Segunda labor (Resto del N)	40	00	00

El siguiente paso es utilizar la fórmula de cálculo para cada una de las aplicaciones:

**Primera aplicación de fertilizante (1ª Fertilización):**

$$F \text{ nitrato de amonio} = \frac{40(1)}{0.335} = 119.402 \text{ Kg}$$

$$F \text{ superfosfato triple de Ca} = \frac{80(1)}{0.46} = 173.913 \text{ Kg}$$

**Segunda aplicación de fertilizante (2ª Fertilización):**

$$F \text{ nitrato de amonio} = \frac{40(1)}{0.335} = 119.402 \text{ Kg}$$

**Tercera aplicación de fertilizante (3ª Fertilización):**

$$F \text{ nitrato de amonio} = \frac{40(1)}{0.335} = 119.402 \text{ Kg}$$

Los valores de 0.335 y 0.46 corresponden a las concentraciones de N y P en el nitrato de amonio y superfosfato triple de calcio que son de 33.5% y 46% respectivamente.

### 3.2. CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE ELEMENTOS CONTENIDOS EN UNA DETERMINADA CANTIDAD DE FERTILIZANTE Y CONOCER LA FÓRMULA GENERAL DE FERTILIZACIÓN.

Otro caso general, es cuando sabemos las cantidades de cada una de las fuentes inorgánicas aplicadas a un cultivo, pero desconocemos la fórmula general empleada.

Usualmente ciertos productores utilizan y aplican fertilizantes químicos a sus cultivos sin haber previamente consultado la fórmula general de fertilización recomendada para sus cultivos y región, lo que generalmente resulta en una inadecuada práctica donde puede suceder que se aplique más, y en otras ocasiones menos fertilizante que el necesario.

Sin saber más datos que las fuentes y sus cantidades empleadas podemos conocer la fórmula general de fertilización con la siguiente fórmula de cálculo (2).

$$E = \frac{F}{S} (c) \quad (2)$$

Dónde:

**E** = Cantidad del macroelemento que está contenida en la fuente (Kg)

**F** = Cantidad de la fuente o fertilizante (Kg)

**S** = Superficie a fertilizar (hectáreas)

**c** = Concentración del macroelemento en el fertilizante (%).

En general estos cálculos se hacen para cada una de las fuentes, aplicando la fórmula de cálculo (2) y finalmente sumando las cantidades resultantes de nitrógeno, fósforo y potasio. Los resultados corresponderán a una superficie de 1 hectárea.

**Ejemplo 6.** Un productor de jitomate de la región de Cuautla, Mor., aplicó a su cultivo de 1 hectárea de extensión, una mezcla de fertilizantes inorgánicos compuesta de 304.35 Kg de urea, 195.66 Kg de superfosfato triple de calcio y 80 Kg de sulfato de potasio. ¿Qué fórmula de fertilización empleó este productor?

$$E \text{ nitrógeno} = \frac{304.35}{1} (0.46) = 140.0 \text{ Kg}$$

$$E \text{ fósforo} = \frac{195.66}{1} (0.46) = 90.0 \text{ Kg}$$

$$E \text{ potasio} = \frac{80}{1} (0.5) = 40.0 \text{ Kg}$$

	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>
304.35 Kg de urea	140	00	00
195.66 Kg de superfosfato de calcio triple	00	90	00
80 Kg de sulfato de potasio	<u>00</u>	<u>00</u>	<u>40</u>
<b>FÓRMULA GENERAL DE FERTILIZACIÓN</b>	<b>140</b>	<b>90</b>	<b>40</b>

**Ejemplo 7.** Para fertilizar 3 hectáreas de cebolla se utilizaron las siguientes fuentes y cantidades:

Compuesto triple 25    480 Kg  
 Fosfato diamónico    391.305 Kg  
 Sulfato de amonio    973.5 Kg

¿Cuál es la fórmula general de fertilización utilizada?

Aplicando la fórmula de cálculo 2 tenemos:

**Para el compuesto triple 25**

$$E (N, P, K) = \frac{480}{3} (0.25) = 40.0 \text{ Kg}$$

### Para el fosfato diamónico

$$E \text{ fósforo} = \frac{391.305}{3} (0.46) = 60.0 \text{ Kg}$$

$$E \text{ nitrógeno} = \frac{391.305}{3} (0.18) = 23.478 \text{ kg}$$

### Para el sulfato de amonio

$$E \text{ nitrógeno} = \frac{973.5}{3} (0.205) = 66.522 \text{ Kg}$$

Al final hacemos el balance y computamos las cantidades de macronutrientes aportadas por las fuentes:

	N	P	K
160 Kg del compuesto triple 25	40	40	40
130.435 Kg de fosfato diamónico	23.478	60	00
324.5 Kg de sulfato de amonio	66.522	00	00
FÓRMULA GENERAL DE FERTILIZACIÓN	130	100	40

## IV. EJERCICIOS

1.- Vamos a fertilizar 1 ha con maíz, y utilizaremos la fórmula general de fertilización 80-60-00. Tenemos como fuentes inorgánicas al sulfato de amonio y al superfosfato de calcio simple. ¿Qué cantidad de cada una de las fuentes utilizaremos?

2.- Un cultivo de frijol con una superficie de 2 has lo fertilizaremos con la fórmula general 60-30-10, la que dividiremos en dos aplicaciones. La primera se realizará en la siembra utilizando el 50% de nitrógeno, todo el fósforo y todo el potasio. La segunda aplicación se hará en el momento del arripe y se aplicará el resto del nitrógeno. Contamos como fuentes al fosfato diamónico, urea y al cloruro de potasio. ¿Qué cantidad de cada fertilizante necesitamos en cada una de las aplicaciones?

**3.-** Necesitamos saber que cantidad de la fórmula compuesta 18-12-06, fosfato diamónico (FDA) y sulfato de amonio; para fertilizar 5 has de maíz con la fórmula general 120-80-20. En la siembra se hará la aplicación de 2/3 partes del nitrógeno, todo el fósforo y todo el potasio, y en la segunda labor el resto del nitrógeno. Indique la cantidad de cada una de las fuentes para cada aplicación.

**4.-** Para un huerto de 1 ha de naranjo de 6 años, establecido en tresbolillo a una distancia de 6 m entre árboles; se recomienda fertilizar con 1.5 Kg/árbol de la fórmula compleja 17-17-17 y 200 gr. de sulfato de amonio/árbol. ¿Qué fórmula general de fertilización emplearemos?

**5.-** Se establecerá un cultivo de cebolla en un terreno que tiene una longitud de 150 m. y 31.5 m. de ancho. Se harán surcos a lo largo del terreno, cada 90 cm., y sobre los taludes de cada surco se trazarán 2 hileras donde se depositarán las semillas a chorrillo. Nos recomiendan fertilizar con la fórmula 120-100-50 en dos aplicaciones: Primera. Aplicar la mitad del nitrógeno, todo el fósforo y todo el potasio. Segunda. La mitad del nitrógeno.

Se cuenta como fuentes al sulfato de potasio, superfosfato triple de calcio y nitrato de amonio.

- a) Cantidad de cada uno de los fertilizantes en la primera aplicación.
- b) Cantidad total de fertilizante por parcela, por surco y por hilera, en la primera aplicación.
- c) Cantidad total de fertilizante en la segunda aplicación por parcela, por surco y por hilera.

**6.-** En el Valle del Mayo, Son., un productor de trigo quiere saber que cantidad de urea y superfosfato de Calcio simple va a utilizar para una extensión de 7.5 has., con una fórmula general de fertilización de 80-40-00.

**7.** ¿Qué fórmula general de fertilización emplean la mayoría de los productores de limón mexicano de Tecmán, Col., al realizar 3 aplicaciones cada año con 400 gr. de urea, 200 gr. de superfosfato de Calcio triple y 200 gr. de KCl por árbol? Los huertos están plantados a una distancia de 7 m entre árboles con un arreglo en tresbolillo.

**8.-** En la Mixteca Oaxaqueña un sistema tradicional del cultivo del maíz es el "Maíz Cajete", cuya fertilización se basa en la fórmula 80-60-00; realizada en dos oportunidades. La primera aplicación se realiza en la siembra, utilizando la mitad del nitrógeno y todo el fósforo, y la segunda se efectúa en la segunda labor, aplicando el resto del nitrógeno. Las fuentes disponibles en esta región es el sulfato de amonio y el fosfato diamónico. ¿Qué cantidad de los fertilizantes se utilizarán para cada aplicación por ha?

**9.-** Un productor de Sonora va a establecer un cultivo de algodón en 4 parcelas separadas de 10 has cada una. y tomará en cuenta, para fines de una buena práctica de fertilización, el cultivo próximo anterior y dependiendo de esto utilizará una fórmula de fertilización específica. En la primera parcela donde el productor cosechó soya, utilizará la fórmula 110-40-00, en la segunda donde cosechó algodón empleará una fórmula 150-40-00, en la tercera cosechó trigo y utilizará la fórmula 140-40-00 y finalmente en la cuarta parcela donde cosechó maíz utilizará la fórmula 130-40-00. Las fuentes disponibles son el nitrato de amonio y el superfosfato de calcio triple. ¿Qué cantidad de cada una de las fuentes se utilizará para cada una de las parcelas?

**10.-** Un huerto de mango de 1 ha de extensión de la variedad "Haden" con árboles en producción con una edad de 7 años establecidos en marco real a 10 m de distancia, se ha fertilizado con 420 gr de superfosfato simple de calcio y 280 gr de  $\text{SO}_4\text{K}_2$  por árbol. ¿Cuál es la fórmula de fertilización utilizada?

**11.-** Al ajonjolí se recomienda fertilizarlo con una fórmula de 80-40-10. Se dispone de sulfato de amonio, superfosfato triple de calcio y cloruro de potasio ¿Qué cantidad total de fertilizante se requiere para 0.75 has?

**12.-** Según las determinaciones de un grupo de alumnos del curso de Sistemas de Producción Agrícola, el cultivo de la zanahoria se debe fertilizar con la fórmula 120-100-30. Se cuenta con una parcela de 150 m de longitud y 16 m de ancho. ¿Qué cantidad de sulfato de potasio, fosfato diamónico y urea se necesita?

**13.-** Una pradera de Zacate "Señal" con una extensión de 15 has se fertilizará con la fórmula 180-00-00. Se cuenta con sulfato de amonio en una cantidad de 292.7 Kg, y queremos saber que cantidad de nitrato de amonio necesitamos para completar la fórmula.

**14.-** La variedad de frijol "Criollo Regional Yanhuitlán" desarrolla y produce muy bien en suelos delgados y poco fértiles, pero aún así se fertiliza con la fórmula general 40-40-00. Un grupo de 56 comuneros quiere cultivar dicha variedad en una superficie de 97.4 has y solo hay disponible en el centro de agroquímicos de la región; nitrato de amonio y fosfato diamónico. ¿Qué cantidad de cada una de las fuentes deben comprar los comuneros?

**15.-** Para la fertilización de 19,000 m<sup>2</sup> de Zempoaxóchitl se empleará la fórmula general 150-40-00 con los fertilizantes químicos superfosfato de calcio simple y urea. Calcule la cantidad total a utilizar de cada uno de los fertilizantes.



**16.-** Una parcela de Brócoli de 2.0 has. se pretende fertilizar con la fórmula 160-80-50 en dos aplicaciones. En la primera se aplicará la mitad del nitrógeno, todo el fósforo y todo el potasio, una semana después del trasplante; y la segunda se hará en el aporque con el resto del nitrógeno. Se dispone de triple 17, fosfato diamónico y nitrato de amonio. Calcule la cantidad de cada una de las fuentes para cada aplicación.

**17.-** En la localidad de Jungapeo, Mich., los huertos de guayabo se fertilizan con la fórmula 100-75-150. El arreglo topológico es en tresbolillo a 8 m de distancia entre los árboles. Se dispone de sulfato de amonio, triple 25 y cloruro de potasio. Calcule la cantidad de cada fertilizante por hectárea y por árbol.

**18.-** Se quiere saber que cantidad de urea y fosfato diamónico se requieren para fertilizar 8.35 has de sorgo forrajero con la fórmula 100-40-00.

**19.-** Los productores maiceros de la Mixteca Poblana utilizan las fórmulas 80-60-00 y 60-60-00 dependiendo del temporal. Suponiendo que el próximo período de lluvias será bueno ¿Qué cantidad de nitrato de amonio y superfosfato de calcio triple se necesitan para fertilizar 8,000 m<sup>2</sup>?

**20.-** Se necesita saber la fórmula general de fertilización que utilizan algunos productores de frijol de la Mesa Central, cuando aplican 585.36 Kg de sulfato de amonio y 391.3 Kg de superfosfato de calcio triple por una superficie de 3 has.

**21.-** ¿Cuál será la cantidad de la fórmula compuesta 18-12-06, superfosfato de calcio triple y nitrato de amonio, que se necesitan para fertilizar 1 ha de café con la fórmula 100-80-30?

**22.-** Una superficie de 5.6 has de arroz se fertilizará con la fórmula general 100-40-00. Se cuenta con las fuentes: fosfato diamónico y urea. ¿Qué cantidad de cada una de las fuentes se necesita?

**23.-** Se hará la plantación de 480 vides en el Campo "San Ignacio" a una distancia entre hileras de 3 m y 2 m entre plantas. Se ha programado una fertilización de fondo con la fórmula general 100-120-80; depositando el fertilizante en una banda sencilla en surcos profundos cada 3 m en un terreno de 120 m de longitud. Se cuenta con las fuentes: triple 17, fosfato diamónico y nitrato de amonio. ¿Qué cantidad de cada una de las fuentes se depositará por cada surco?

**24.-** Calcule la cantidad de los elementos obtenidos en las siguientes cantidades de fuentes:

420 Kg de sulfato de amonio

832 Kg de triple 17

100 Kg de nitrato de amonio

250 Kg de sulfato de potasio

816 Kg de urea

**25.-** Una hectárea de frijol, sembrada en surcos de 80 cm de distancia y a 8 cm entre plantas; la fertilizamos con la fórmula general 60-80-00 con superfosfato de calcio triple y sulfato de amonio. Calcule la cantidad de cada fuente por planta y la densidad de población.

## V. SOLUCIONES

1.- 390 Kg de sulfato de amonio y 300 Kg de superfosfato de calcio triple.

2.- Primera aplicación:	33.3	Kg de cloruro de potasio.
	130.434	Kg de fosfato diamónico.
	79.4	Kg de urea.
Segunda aplicación:	130.4	Kg de urea.

3.- Primera aplicación:	1666.6	Kg 18-12-06.
	434.7	Kg de fosfato diamónico.
	106.05	Kg de sulfato de amonio.
Segunda aplicación:	975.6	Kg de sulfato de amonio.

4.- 95-82-82

5.- a) Primera aplicación:	84.6	Kg de nitrato de amonio.
	102.7	Kg de superfosfato de calcio triple.
	47.25	Kg de sulfato de potasio.
b) Por parcela:	234.53	Kg de fertilizante total.
c) Por surco:	6.702	Kg de fertilizante total.
Por hilera:	3.351	Kg de fertilizante total.
d) Cantidad total de fertilizante:	84.62	Kg
Por parcela:	84.62	Kg
Por surco:	2.41	Kg
Por hilera:	1.208	Kg

6.- 1304.3 Kg de urea y 1,500 Kg de superfosfato de calcio simple.

7.- 130-65-85

8.- Primera aplicación:	130.434	Kg de fosfato diamónico.
	80.595	Kg de sulfato de amonio.
Segunda aplicación:	195.121	Kg de sulfato de amonio.

9.- Parcelas

1. Soya:	3283.582	Kg de nitrato de amonio.
	869.565	Kg de superfosfato de calcio triple.
2. Algodón:	4477.611	Kg de nitrato de amonio.
	869.565	Kg de superfosfato de calcio triple.
3. Trigo:	4179.104	Kg de nitrato de amonio.
	869.565	Kg de superfosfato de calcio triple.
4. Maíz:	3880.597	Kg de nitrato de amonio.

869.565 Kg de superfosfato de calcio triple.

**10.-** 00-8.4-14

**11.-** 292.682 Kg de sulfato de amonio.  
65.217 Kg de superfosfato de calcio triple.  
12.5 Kg de cloruro de potasio.

**12.-** 42.192 Kg de urea.  
52.173 Kg de fosfato diamónico.  
14.400 Kg de sulfato de potasio.

**13.-** 7880.6 Kg de nitrato de amonio.

**14.-** 8469.51 Kg de fosfato diamónico.  
7079.03 Kg de nitrato de amonio.

**15.-** 619.565 Kg de urea y 380 Kg de superfosfato de calcio simple.

**16.-** Primera aplicación: 588.234 Kg de triple 17.  
130.434 Kg de fosfato diamónico.  
109.66 Kg de nitrato de amonio.  
Segunda aplicación: 477.611 Kg de nitrato de amonio.

**17.-** Por hectárea: 121.951 Kg de sulfato de amonio.  
300 Kg de triple 25.  
125 Kg de cloruro de potasio.  
Por árbol: 0.67 Kg de sulfato de amonio.  
1.6 Kg de triple 25.  
0.69 Kg de cloruro de potasio.

**18.-** 726.08 Kg de fosfato diamónico y 1531.09 Kg de urea.

**19.-** 191.044 Kg de nitrato de amonio.  
104.347 Kg de superfosfato de calcio triple.

**20.-** 40-60-00

**21.-** 500.00 Kg de la fórmula compuesta 18-12-06.  
43.478 Kg de superfosfato de calcio triple.  
29.850 Kg de nitrato de amonio.

**22.-** 1026.84 Kg de urea y 486.953 Kg de fosfato diamónico.

**23.**- 16.941 Kg de triple 17.  
3.130 Kg de fosfato diamónico.  
0.467 Kg de nitrato de amonio.

**24.**- En 420 Kg de sulfato de amonio: 86.1 Kg de nitrógeno.  
En 832 Kg de triple 17: 141.44 Kg de nitrógeno.  
141.44 Kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.  
141.44 Kg de potasio.  
En 100 Kg de nitrato de amonio: 33.5 Kg de nitrógeno.  
En 250 Kg de sulfato de potasio: 125 Kg de potasio.  
En 816 Kg de urea: 375.36 Kg de nitrógeno.

**25.**- 1.87 gr de sulfato de amonio.  
1.11 gr de superfosfato de calcio triple.  
La densidad de población es de 156,250 plantas/ha

## VI. BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

- 1.- DIEL, R., Mateo Box, J.M. 1978. **Fitotecnia General**. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- 2.- FAO. 1970. **Los fertilizantes y su empleo**. Guía de bolsillo para extensionistas. Segunda Edición. Roma, Italia.
- 3.- NATIONAL PLANT FOOD INSTITUTE. 1984. **Manual de Fertilizantes**. De Limusa. Séptima Reimpresión.
- 4.- SUPPO, R.F. 1982. **Fertilizantes**. AGT Editor.