

**UNIVERSIDAD AUTONOMA CHAPINGO  
DEPARTAMENTO DE PREPARATORIA AGRICOLA  
AREA DE AGRONOMIA  
ACADEMIA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA**

**CÓMO CALCULAR EL CONTENIDO DE NITRÓGENO, FÓSFORO y POTASIO EN FERTILIZANTES**

Prof. Rogelio Álvarez Hernández

**¿Qué contiene la fórmula de un fertilizante?**

La fórmula de un fertilizante se representa en los envases por medio de tres números, que expresan el porcentaje de **Nitrógeno (N)**, **Fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)** y **Potasio (K<sub>2</sub>O)**, respectivamente. Siempre se expresa en el orden N-P-K. A veces, se fabrican fertilizantes cuya fórmula tiene cuatro números.

El "**GRADO**" o "**ANÁLISIS**" del fertilizante es el porcentaje de **N**, **P** y **K** que el fabricante garantiza que está contenido en el fertilizante. Por razones históricas, el **NITRÓGENO** se expresa como **N**, el **FÓSFORO DISPONIBLE** como **P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>** y el **POTASIO SOLUBLE** como **K<sub>2</sub>O**. No se utiliza el signo de porcentaje, en su lugar, los números están separados por guiones, y el orden es siempre N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O (así, 15-00-15).

El N aplicado en exceso altera o degrada el ambiente; esto puede provocar enfermedades, exceso de crecimiento y otros problemas. También puede dar lugar a la contaminación por fuentes no determinadas de los cuerpos de agua por causa de la lixiviación o escorrentía de nitratos. El N está más fácilmente disponible en un rango de pH de 5.5 a 8.5. El N es el elemento que las plantas necesitan en mayor cantidad. Contribuye al crecimiento. La cantidad de N necesaria varía dependiendo de: las especies de especies, el suelo, la época del año y otras condiciones ambientales. El N se debe aplicar con prudencia en toda la temporada de cultivo y en las cantidades recomendadas anualmente.

**Composición elemental de (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> [fertilizante]**

ELEMENTO	SÍMBOLO	PESO ATÓMICO	ÁTOMOS	PORCENTAJE EN MASA
Azufre	S	32.065	1	24.2660
Oxígeno	O	15.994	4	48.4318
Nitrógeno	N	14.007	2	21.1999
Hidrógeno	H	1.008	8	6.1023

La **MASA MOLECULAR DEL Nitrato de Amonio [NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>]** determinada **A PARTIR DE LAS MASAS ATÓMICAS DE sus ÁTOMOS ES de 80 g/mol**. La **MASA MOLECULAR REPRESENTA** la masa de la molécula cuyo resultado es la **SUMA DE LAS MASAS DE CADA ÁTOMO QUE CONFORMAN SU ESTRUCTURA**. En este caso, **LA MOLÉCULA NITRATO DE AMONIO NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> ESTÁ FORMADA POR 2 ÁTOMOS DE NITRÓGENO (N), 4 ÁTOMOS DE HIDRÓGENO (H<sup>+</sup>), Y 3 ÁTOMOS DE OXÍGENO (O)**. Para obtener la masa molecular se multiplica el peso atómico de cada átomo por el número de ellos. Luego se suman estos resultados parciales.

## CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE FERTILIZANTES NITROGENADOS

**NITRATO DE AMONIO.** Fórmula:  $\text{NH}_4\text{NO}_3$

$\text{N} = 14 * 2 = 28$	$\text{H} = 1 * 4 = 4$
$\text{O} = 16 * 3 = 48$	$\Sigma_1 = 80$

NITRÓGENO

$$80 = 100$$

$$28 \rightarrow \boxed{35\% \text{ de Nitrógeno}}$$

**NITRATO DE CALCIO.** Fórmula:  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$

<b>N</b>	$14 * 2 = 28$	<b>Ca</b>	<b>40.08</b>
<b>O</b>	$16 * 6 = 96$	$\Sigma_1 =$	<b>164.08</b>

Nitrógeno

$$164.8 = 100$$

$$28 \rightarrow \boxed{17.065\% \text{ de Nitrógeno}}$$

**UREA.** Fórmula:  $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$

<b>N</b>	$14 * 2 = 28$	<b>H = 4* 1 = 4</b>
<b>O</b>	<b>16</b>	<b>C = 12</b>
$\Sigma = 60$		

Nitrógeno

$$60 = 100$$

$$28 \rightarrow \boxed{46.667\% \text{ de Nitrógeno}}$$

## FERTILIZANTES FOSFORADOS

¿Qué quiere decir  $\text{P}_2\text{O}_5$ ? El término ácido fosfórico indica  $\text{P}_2\text{O}_5$ , según la adopción oficial e internacional actual. El  $\text{P}_2\text{O}_5$  al combinarse inmediata y activamente con  $\text{H}_2\text{O}$  forma dos ácidos fosfóricos: ácido metafosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_3$ ) o  $\text{P}_2\text{O}_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ; ácido pirofosfórico ( $\text{H}_3\text{P}_2\text{O}_7$ ) o  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

¿Cuánto de fósforo tiene el  $\text{P}_2\text{O}_5$ ? Por esa razón y para evitar confusiones, los organismos públicos que regulan el comercio de fertilizantes exigen la declaración del contenido como elemento P, que es equivalente a la molécula de pentóxido de fósforo:  $\text{P}_2\text{O}_5$ , por el factor 2.29 o su inversa 0.436 de fósforo? Por ello y para evitar confusiones, los organismos públicos reguladores del comercio de fertilizantes exigen la declaración del contenido como elemento P, que es equivalente a la molécula de pentóxido de fósforo:  $\text{P}_2\text{O}_5$ , por el factor 2.29 o su inversa 0.436.

¿Cuánto fósforo aporta el  $\text{P}_2\text{O}_5$ ? El contenido de Fósforo (P) es cercano al 20% de  $\text{P}_2\text{O}_5$ . El óxido de fósforo (III) es un compuesto cuya fórmula química es ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ).

**$\text{P}_2\text{O}_5$  / Óxido de fósforo (III)**

<b>Nomenclatura sistemática:</b> pentóxido de difósforo	<b>Nomenclatura stock:</b> óxido de fósforo (III)
<b>Nomenclatura tradicional:</b> anhídrido fosfórico.	<b>Tipo de compuesto:</b> anhídrido (no metal + oxígeno)

Cuando un agricultor adquiere un fertilizante, como por ejemplo DAP, si pregunta su contenido de P le responden 46%. Si es un fertilizante potásico, como por ejemplo  $K_2SO_4$ , le responderían que contiene 50% de K. Si es un fertilizante complejo, como 12-24-12, le responderían que contiene 12% de N, 24% de P y 12% de K. Sin embargo, eso no es cierto, ya que por Convenios Internacionales el P se expresa en los fertilizantes como  $P_2O_5$  y el K como  $K_2O$  y solo el N, en esta trilogía N-P-K, se expresa como N. Vale la pena destacar que los valores que aparecen en las etiquetas de los fertilizantes corresponden a cantidades de cada nutriente disponible para las plantas, solubles, y cada uno de los elementos mayores tiene su propia caracterización.

**El N en los fertilizantes químicos** corresponde al N total, el cual puede estar en forma de  $NH_2$  como en la urea, o en las formas de  $NH_4^+$  (**amónica**) o  $NO_3^-$  (**nítrica**) como en los fertilizantes  $NH_4^+NO_3^-$ ,  $(NH_4)_2SO_4$  y  $NH_4H_2PO_4$ . Recordemos que las plantas absorben el N en formas amónica y nítrica, pero al aplicar los fertilizantes químicos a los suelos, en condiciones normales de aireación, todas las formas nitrogenadas tienden hacia la formación de  $NO_3^-$ .

**En lo que respecta al P**, su solubilidad en los diferentes fertilizantes es variable pero la etiqueta debe indicar la cantidad de P aprovechable por las plantas; por ejemplo, en la roca fosfórica el P es insoluble y lo que aparece en la etiqueta debe ser indicado como P total. Hay fertilizantes a base de roca fosfórica parcialmente acidulada, que contienen parte del P en forma soluble, aprovechable a las plantas, y otra parte insoluble, por lo que la etiqueta debe indicar el % de P total y el % de P soluble. Entonces, las etiquetas de los fertilizantes indican el % de P soluble, disponible, pero expresado en forma de  $P_2O_5$ .

En los análisis de fósforo de los fertilizantes, se aceptan para control de calidad métodos químicos que determinan P soluble en agua, P aprovechable y P total. El P soluble en agua más el P soluble en **citrate de amonio normal y neutro**  $\{C_6H_8O_7 \cdot xFe^{3+} \cdot yNH_3\}$ , constituye el P aprovechable de los fertilizantes y es el que aparece en las etiquetas, pero como ya hemos indicado, se expresa por Convenio Internacional como % de  $P_2O_5$ . Es decir, cada vez que se identifica el contenido de P de un fertilizante se expresa como  $P_2O_5$  y para transformarlo en fósforo puro o % de P, el valor de  $P_2O_5$  se debe dividir entre el factor 2.29. Este factor se deriva de la relación de los pesos de las moléculas  $P_2O_5 \div P_2$ , o sea:

$$\text{Peso atómico del P} = 31 \rightarrow P_2 = 31 * 2 = 62$$

$$\text{Peso atómico del O} = 16 \rightarrow O_5 = 16 * 5 = 80$$

$$\text{Peso de la molécula } P_2O_5 = 62 + 80 = 142$$

$$\text{Relación } P_2O_5 \div P_2 = 142 \div 62 = 2.29$$

Por lo tanto, si un fertilizante tiene expresado su contenido de fósforo en 24%, el contenido real de P será  $24 \div 2.29 = 10.48\%$  de P.

**Es decir, para transformar una unidad de P en una de  $P_2O_5$  debe multiplicarse por 2.29. A la inversa, si se quiere transformar un contenido de fósforo expresado como  $P_2O_5$  en el**

contenido como P elemento se debería dividir por 2.29, o lo que es igual, multiplicar por 0.436.

**En los fertilizantes potásicos**, las unidades del nutriente se expresan como  $K_2O$ , que se identifica con el término potasa. Esta expresión ha sido cuestionada por muchos autores, ya que el término **potasa** se utilizó originalmente para el **carbonato de potasio ( $K_2CO_3$ )** producido por el lavado de cenizas de madera. Además,  $K_2O$  es una unidad de medida desafortunada, ya que no ocurre en forma natural. Para transformar  $K_2O$  a K se utiliza la relación: 1% de K es equivalente a 1,2046% de  $K_2O$ . Este valor se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Peso atómico del } K^+ = 39.1 \rightarrow K_2 = 39.1 \times 2 = 78.2$$

$$\text{Peso atómico del O} = 16$$

$$\text{Peso de la molécula } K_2O = (39.1 \times 2) + 16 = 78.2 + 16 = 94.2$$

$$\text{Relación } K_2O \div K_2 = 94.2 \div 78.2 = 1.2046$$

Usando esta relación calculamos el contenido de nutriente  $K^+$  de un fertilizante; por ejemplo, si la etiqueta indica 12% de  $K_2O$ , su contenido real de K será  $12 \div 1.2046 = 9.96\%$  de K.

Es importante conocer estas expresiones y sus relaciones, porque en algunas oportunidades encontramos recomendaciones nutritivas basadas en los nutrientes P y K, y con este conocimiento, podemos transformar esos valores a  $P_2O_5$  y  $K_2O$  que es como vienen indicados en las etiquetas de los fertilizantes. **Esta situación es extensiva a otros elementos nutritivos como los casos de Ca, Mg y S, los cuales vienen expresados en los fertilizantes y enmiendas como CaO, MgO y  $SO_4^{2-}$ .**

**EJEMPLO 1. Determine el % de P y el % de  $O_2$  en  $P_2O_5$ .**

**Solución.** La fórmula indica las cantidades relativas (en mol) de P y  $O_2$ , por lo que 1 mol del compuesto contiene 2 mol de P y 5 mol de  $O_2$ .

## CONTENIDO DE FÓSFORO

$$\begin{aligned} \text{El \% de P es: } & 1 \text{ mol de } P_2O_5 \text{ tiene una masa de } [(2 \text{ mol P} \times 31 \text{ g/mol P} + 5 \text{ mol O}) \times (16.0 \text{ g/mol O})] \\ & = 142 \text{ g, y contiene 2 mol de P, que pesan } 2 \text{ mol P} \times 31.0 \text{ g/mol} = 62.0 \text{ g} \end{aligned}$$

Similarmente,

$$\%O = 100\% \times (5 \text{ mols O} \times 16 \text{ g/mol}) \div (2 \text{ mols P} \times 31 \text{ g/mol P} + 5 \text{ mols O} \times (16.0 \text{ g/mol O})) \% \text{ OR} = 56.3\%$$

## CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE FERTILIZANTES FOSFATADOS

**PENTÓXIDO DE FÓSFORO. Fórmula:  $P_2O_5$**

P	$31 \times 2 = 62$	O	$16 \times 5 = 80$
$\Sigma = 142$			

### RELACIÓN DE $P_2O_5$ A P

$$\begin{aligned} P_2O_5 \div P_2 &= 142 \div (31) (2) = 142 \div 62 = 2.29 \text{ de } P_2O_5 \\ 1 \div 2.29 &= 0.4366 \text{ factor por el cual se debe multiplicar} \end{aligned}$$

**SUPERFOSFATO DE CALCIO TRIPLE.** Fórmula:  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$

Ca	40	H	$1 * 2 * 2 = 4 + 2 = 6$
P	$31 * 2 = 62$	O	$16 * 4 * 2 = 128 + 16 = 144$
$\Sigma = 252$			



$252 = 100$

$142 \rightarrow 56.3492$

$\text{P}_2\text{O}_5 = (56.3492) * (2) * (0.4366) = \boxed{49.2041 \% \text{ P}_2\text{O}_5}$

**SUPERFOSFATO DE CALCIO SIMPLE:** Fórmula:  $3\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + 7\text{CaSO}_4$

$3\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$		$7\text{CaSO}_4$	
Ca	40	Ca	40
H	6	S	32
P	$31 * 2 = 64$	O	$16 * 4 = 64$
O	$16 * 9 = 144$		
$[3] \Sigma_1 254 = 762$		$[7] \Sigma_2 136 = 952$	
$\Sigma_1 + \Sigma_2 = 1,714$			



$[3] * [2]$

$1714 = 100$

$142 \rightarrow 8.2847$

$\text{P}_2\text{O}_5 = (8.2847) * (6) * (0.4366) = \boxed{21.7026 \% \text{ de P}_2\text{O}_5}$

**FOSFATO MONOAMÓNICO (MAP).** Fórmula:  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$

N	14	H	6
P	31	O	$16 * 4 = 64$
$[3] \Sigma_1 = 115$			

Nitrógeno

$115 = 100$

$14 \rightarrow \boxed{12.17\% \text{ de Nitrógeno}}$



$115 = 100$

$142 \rightarrow 123.4783$

$\rightarrow (123.4783) * (0.4366) = \boxed{53.9106 \% \text{ de P}_2\text{O}_5}$

**FOSFATO MONOAMÓNICO (MAP).** Fórmula:  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$

N	$14 * 2 = 28$	H	$1 * 4 * 2 + 1 = 9$
P	31	O	$16 * 4 = 64$
$[3] \Sigma_1 = 132$			

Nitrógeno

$132 = 100$

$28 \rightarrow \boxed{21.2121 \% \text{ de N}}$

$$\frac{P_2O_5}{132} = 100$$

$$142 \rightarrow (107) (0.4366) = \boxed{46.7162 \% P_2O_5}$$

## CONTENIDO DE POTASIO

**ÓXIDO DE POTASIO**, designación en la etiqueta del fertilizante que denota el porcentaje de potasio disponible reportado como  $K_2O$ . El **óxido de potasio** es un compuesto iónico formado al combinar  $K^+$  y  $O_2$ . Lleva la fórmula química  $K_2O$ . El  $K^+$  no se encuentra libre porque es muy reactivo. Tiene valencia +1 y se combina fácilmente con átomos de oxígeno formando  $K_2O$ . El óxido ( $K_2O$ ), se obtiene como una sustancia cristalina gris cuando se oxida el  $K^+$ . El  $K^+$  se quema en exceso de  $O_2$  para formar  $K_2O$ . El  $K_2O$  es un álcali fuertemente corrosivo cuando se disuelve en agua.

La porción de  $K^+$  soluble de un fertilizante se expresa como  $K_2O$ . Lo anterior debe usarse para determinar la cantidad de  $K^+$  real suministrada en una aplicación. La forma de  $K^+$  disponible para uso vegetal es el ion  $K^+$ , que se absorbe de la solución del suelo. Aunque hay otras formas, la mayoría no son disponibles para uso vegetal. El  $K^+$  no se retiene bien en suelos arenosos (suelos de baja CIC) y puede lixiviarse. Esto es un problema no siempre apreciado, sobre todo por los productores cuyo cultivo está sujeto a fuertes lluvias o riego. Los suelos con mucha arcilla retienen más  $K^+$ , ya que las partículas de arcilla lo retienen.

El  $K^+$  compite con el  $Ca^{2+}$  y el  $Mg^{2+}$  por el acceso de las plantas. Suelos con alto nivel de uno o ambos elementos exigen fertilización adicional con  $K^+$  para satisfacer las necesidades de las plantas. En suelos arenosos, o donde los restos de cosecha no se restituyen, se puede usar una proporción de 2:1 o 1:1 de N a  $K^+$  preciso para conservar un suministro correcto de  $K^+$ . Se deben considerar las proporciones con cada aplicación de N.

**El nivel de  $K^+$  de un fertilizante se expresa como si el compuesto de  $K^+$  fuera  $K_2O$ . Entonces, el "20" en la etiqueta significa 20% de  $K_2O$ , que es 17% de  $O_2$  y 83% de  $K^+$  elemental: Así, el verdadero % de  $K^+$  en el fertilizante es  $0.83 \times \% K_2O = 0.83 \times 20\% = 16.6 \% K^+$ .**

**Entonces, el fertilizante 18-51-20 en realidad contiene (en peso) 18 % N elemental, 22% de P elemental y 16.6% de  $K^+$  elemental.**

## CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE FERTILIZANTES POTÁSICOS

CLORURO DE POTASIO. Fórmula: KCl

K	39.0983	Cl	35.4521
$\Sigma = 75.4404$			

Potasio

$$75.4404 = 100$$

$$39.0983 \rightarrow 51.82674$$

K<sub>2</sub>O

K	39.0983 * 2 = 78.1966	O	16
$\Sigma = 94.1966$			

Relación K<sub>2</sub>O

$$K_2O \div K = 94.1966 \div 78.1966 = 1.204612477$$
$$(51.82674) * (1.204612477) = \boxed{62.43113763 \% \text{ de } K_2O}$$

SULFATO DE POTASIO. Fórmula: K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

K	39.0983 * 2 = 78.1966	S	32	O	16 * 4 = 64
$\Sigma = 174.1966$					

Potasio

$$174.1966 = 100$$
$$78.1966 \rightarrow 44.88985434$$

K<sub>2</sub>O

K	39.0983 * 2 = 78.1966	O	16
$\Sigma = 94.1966$			

Relación K<sub>2</sub>O

$$(44.8276) * (1.204612477) = \boxed{54.07487863 \% \text{ de } K_2O}$$

NITRATO DE POTASIO. Fórmula: KNO<sub>3</sub>

K	39.0983	N	14
O	16 * 3 = 48	$\Sigma = 101.0983$	

Potasio

$$101.0983 = 100$$
$$39.0983 \rightarrow (38.67354842) * (1.204612477) = \boxed{46.5297 \% \text{ de } K_2O}$$

Nitrógeno

$$101.0983 = 100$$
$$14 \rightarrow \boxed{13.8614 \% \text{ de } N}$$

**PROBLEMAS y CUESTIONARIO**

1. Realizar el cálculo de la composición nutrimental para los siguientes fertilizantes: (1) AMONIACO ANHIDRO; (2) NITRATO DE SODIO; (3) FOSFONITRATO; (4) FOSFATO MONOPOTÁSICO; (5) TIOSULFATO DE POTASIO.
2. ¿Cuál es la importancia de poder realizar los cálculos de composición nutrimental de los fertilizantes comerciales?
3. ¿Explicar por qué razón los resultados de los cálculos son a veces diferentes a los valores de composición indicado en los envases de los fertilizantes comerciales?