

## ÍNDICE

Estado natural _____	pág. 2
Historia _____	pág. 3
Obtención _____	pág. 4
Propiedades físicas y químicas _____	pág. 5
Papel del fósforo en la planta _____	pág. 7
El fósforo en la ganadería _____	pág. 8
El ácido fosfórico _____	pág. 9

## APLICACIONES MÁS IMPORTANTES DEL FÓSFORO

Abonos fosfatados _____	pág. 17
Fósforos o cerillas _____	pág. 24

### Estado natural

El fósforo se encuentra en unos 200 minerales distintos, muchas veces en forma de fosfatos simples o mixtos. Sus principales menas son:

El fluorapatito,  $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaF}_2$ , que se encuentra en la península de Kola (URSS), África del Sur, Marruecos y al sur del lago Ontario (EE.UU.), es una variedad en la que parte del flúor está sustituida isomórficamente por cloro, se encuentra en Uganda, Noruega y Virginia (EE.UU.). La francolita,  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2 \cdot n\text{CaCO}_3$  se halla en EE.UU., Marruecos y la URSS; ofrece la particularidad de contener como impurezas otros metales. Un mineral parecido al anterior, el carbonato-hidróxil-fluórapatito,  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6-(\text{OH},\text{F})_2 \cdot x\text{CaCO}_3$ , se explota en Florida (EE.UU.) a cielo abierto. La wavellita, otra de las menas del fósforo,  $\text{Al}_3(\text{OH})_3(\text{PO}_4)_6 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , se encuentra en Angola, en Florida y en Tennessee (EE.UU.).

Otra fuente de fósforo es de origen animal, producido por excrementos de aves en las costas chilenas y peruanas.

Las reservas actuales de fosfatos con explotación rentable se calculan en 1.000 millones de tm. que se distribuyen del siguiente modo:

69–53% se explota en África del Norte (principalmente Marruecos), 29–12 % en EE.UU. y 1 % en la URSS; se prevé la existencia de otros depósitos en América del Sur y Asia. Otra fuente de fósforo es la de origen animal, producido por excrementos de aves. Respecto a la abundancia relativa del fósforo en el universo, algunos autores lo colocan en el 11º lugar en la corteza terrestre, el 13º en los meteoritos y el 24º en la atmósfera solar, aunque se supone una mayor proporción en su núcleo, dado que desempeña un papel importante en las reacciones nucleares de las estrellas. Así, en la nebulosa gaseosa NGC 7027 se encuentra en el 10º lugar.

El fósforo, en forma de fosfatos disueltos en el agua de los mares, es de gran importancia para la vida de los

seres que viven en ellos. Se calcula en una concentración media de 0,00007 g/litro. En la superficie es menor, y con la profundidad aumenta gradualmente, hasta estabilizarse. El océano Atlántico ofrece porcentajes más bajos.

Apatito, Kola \*Rusia\* Wavellita, Arkansas \*EE.UU.\*

## HISTORIA

El fósforo fue descubierto en 1669 por el alquimista Hennig Brand de Hamburgo, el primer hombre conocido que descubre un elemento. Buscando la piedra filosofal BRAND destiló una mezcla de arena y orina evaporada, y obtuvo un cuerpo que tenía la propiedad de lucir en la oscuridad. Se le llamó «*fósforo de Brand*», para distinguirlo de otros materiales luminosos denominados también fósforo.

Durante un siglo se vino obteniendo esta sustancia exclusivamente de la orina, hasta que en 1771 SCHEELE la produjo de huesos calcinados. Más tarde, la palabra «*fósforo*» se reservó para designar esta sustancia, cuando LAVOISIER demostró que era un elemento e investigó algunos de los productos formados al quemarlo en el aire.

Boyle, por su parte parece que también descubrió el fósforo y comunicó el hallazgo a un industrial alemán, G. Hatkwits, el cual industrializó su obtención en Londres.

## OBTENCIÓN

James B. Readman obtuvo (1888) en Edimburgo la primera patente para la obtención de fósforo, en la que se empleaba energía eléctrica. La mezcla de fosfato cálcico, carbón y sílice se introducía en la cámara de un horno; dos electrodos suministraban la energía para calentar los productos reaccionantes; el fósforo obtenido se desprendía y era recogido en otra cámara.

T. Parker y A. E. Robinson trabajaron poco tiempo después en un proceso parecido, y en 1890 se formó la Phosphorus Co., que producía fósforo por este método. Desde entonces se han ido incorporando modificaciones y perfeccionamientos. La ecuación química que rige en este proceso es la siguiente:



Los productos utilizados son objeto de purificación previa. El carbón es coque de alto contenido de carbono y bajo porcentaje de productos volátiles y de cenizas. La sílice debe ser de gran pureza, sin arcillas ni óxido de hierro. Como electrodo se emplea tanto carbón como grafito; este último ofrece una conductividad superior, pero resulta tres veces más caro, y dado que a lo largo del proceso se va consumiendo, su elección es un factor económico que se ha de considerar. Existen varios tipos de hornos; aunque normalmente los electrodos se encuentran situados en posición vertical, los primitivos solían colocarse horizontalmente.

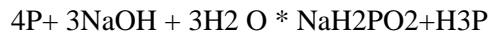
La temperatura de la masa fundida es de 1.500° C. La energía de un horno moderno oscila de 6.500 a 13.000 kW. El fósforo que se destila de un modo continuo contiene impurezas. Se purifica por fusión bajo agua caliente. También se puede redestilar. Se transporta sumergido en agua o bajo un gas inerte, y se toman especiales medidas en todas sus manipulaciones, debido a su toxicidad

## PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL FÓSFORO

En condiciones normales el fósforo se presenta en estado sólido y ofrece tres formas alotrópicas, que son la blanca, la roja (o violeta) y la negra.

El **fósforo blanco** es, en realidad, incoloro y transparente si se purifica adecuadamente y se conserva en la

oscuridad. Se inflama en contacto con el aire a 50° C, y es soluble en disolventes orgánicos. Se guarda bajo agua para protegerlo del aire. De todas sus formas alotrópicas, es la más reaccionable. Ofrece un carácter tóxico; su dosis mortal es de 0,1 g para una persona. Con el oxígeno reacciona dando el pentóxido de fósforo, y en menor proporción óxidos inferiores, como los tetraóxidos y trióxidos. Con los halógenos da los haluros correspondientes, al igual que con el azufre da sulfuros. Con los hidróxidos da fosfina, en caliente:



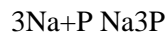
Calentado en recipiente cerrado, a una temperatura de 400° C, se transforma en la variedad roja; el proceso se acelera en presencia de trazas de ciertos catalizadores, tales como azufre y yodo.

El **fósforo rojo** aún da lugar a criterios discrepantes respecto de su constitución y propiedades, pues éstas varían según el modo como se ha preparado.

Así, su punto de fusión oscila entre 600° C y 585° C; igualmente la temperatura de sublimación, 416° C a 1 atm. de presión, difiere según los autores. Se suponía que la forma roja era una mezcla de una forma violeta pura y otras; esto no se ha confirmado. En cambio sí se ha podido observar que el líquido y el vapor en equilibrio con esta forma roja son los mismos que para el fósforo blanco. Su reactividad química es menor que la del fósforo blanco, aunque, al igual que aquel, reacciona con los halógenos según:



Con los metales da fosfuro; así, reacciona con sodio, en caliente, y atmósfera no oxidante:



Al contrario del fósforo blanco, no ofrece carácter tóxico. El fósforo rojo técnico es un producto vítreo y más inestable que su forma pura.

El **fósforo negro** fue preparado por vez primera por P. W. Bridgman al tratar el fósforo blanco a elevadas presiones (13.000 kg/cm<sup>3</sup>) a 200° C. Es la forma más estable; es conductor de la electricidad. El fósforo en estado de vapor presenta moléculas tetraatómicas P<sub>4</sub>, con una estructura tetraédrica.

Por encima de 1.000° C se encuentra ya parcialmente dissociado en moléculas diatómicas P. El fósforo en estado líquido se obtiene tanto como por condensación del vapor como por fusión de cualquiera de sus formas sólidas.

## PAPEL DEL FÓSFORO EN LA PLANTA

El fósforo es un componente esencial de los vegetales, cuya riqueza media en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> es del orden del 0,5 al 1 % de la materia seca. Se encuentra, en parte, en estado mineral, pero principalmente formando complejos orgánicos fosforados con lípidos, proteínas y glúcidos, como la lecitina, las nucleoproteínas (componentes del núcleo celular) y la fitina (órganos de reproducción).

El fósforo interviene activamente en la mayor parte de las reacciones bioquímicas complejas de la planta que son la base de la vida: respiración, síntesis y descomposición de glúcidos, síntesis de proteínas, actividad de las diastasas, etc.

El papel fundamental del fósforo en las transferencias de energía ha sido bien comprobado. Los iones fosfóricos son capaces de recibir energía luminosa captada por la clorofila y transportarla a través de la planta. También tiene una gran importancia en el metabolismo de diversas sustancias bioquímicas.

El ácido fosfórico es uno de los elementos fertilizantes más importantes para el agricultor. Como el nitrógeno, el ácido fosfórico es un *factor de crecimiento* muy importante, debiendo señalarse la fuerte interacción que existe entre este elemento y el nitrógeno, sobre todo durante la primera fase del crecimiento. El desarrollo radicular, en particular, se ve favorecido por una buena alimentación de fósforo al principio del ciclo vegetativo (interesa localizar una pequeña cantidad de P205, con la semilla, especialmente en suelos pobres).

El ácido fosfórico es un *factor de precocidad*, ya que activa el desarrollo inicial y tiende a acortar el ciclo vegetativo, favoreciendo la maduración. Resulta, pues, importante para los cultivos tempranos y los que se hallan en el límite septentrional de su área geográfica (maíz). Aumenta la resistencia de la planta al frío y a las **enfermedades**, al igual que la potasa.

En términos generales, puede decirse que es un elemento regulador de la vegetación y, por tanto, un *factor de calidad*. Favorece precisamente los periodos de vegetación que son críticos para el rendimiento del cultivo: fecundación, maduración y movimiento de las reservas.

Una *alimentación insuficiente en fósforo* se manifestará en el análisis de la planta por un contenido menor de fósforo en los órganos verdes y en el grano. Para el agricultor supondrá un retraso del crecimiento, fecundación defectuosa, movimiento anormal de las reservas y retraso de la maduración, lo que determina en conjunto una reducción más o menos pronunciada de la cosecha y menor calidad de la misma.

Las carencias de P205 se ponen de manifiesto por un follaje de color verde oscuro, casi azulado, y por el amarilleamiento y secado de la punta de las hojas. Estas presentan una ondulación característica, mostrando, a veces, manchas púrpuras.

## **EL FÓSFORO EN LA GANADERÍA**

En la cría y alimentación del ganado se tiene la costumbre de referirse al fósforo más que al ácido fosfórico. El organismo animal tiene un contenido de fósforo del 0,8 al 1% de su materia seca, del cual las tres cuartas partes se hallan localizadas en el esqueleto, en forma de fosfato tricálcico (hidroxiapatita) principalmente, que sirve de reserva de fósforo y de calcio al animal.

### **• Importancia de las necesidades:**

Dada la importancia del fósforo en el metabolismo animal, una absorción escasa de fósforo tiene como consecuencia numerosos problemas: enfermedades óseas, esterilidad, fiebre puerperal, etc. Deben distinguirse especialmente dos clases de animales: los jóvenes, en período de crecimiento (raquitismo) y las vacas lecheras de gran producción, que exportan cantidades importantes de fósforo. Las necesidades diarias de una vaca de 600 kg que produzca 20 litros de leche, son aproximadamente de 100 gr de calcio y 80 gr de fósforo, lo que cubre el mantenimiento, la gestación y la lactación (un litro de leche contiene un gramo de fósforo, aproximadamente).

### **• Relación fosfocálcica de la ración:**

Antiguamente se atribuía una importancia muy grande a la relación Ca/P, mal llamada relación fosfocálcica. Sin embargo, se admite ahora que la relación Ca/P puede variar, sin peligro, entre límites bastante amplios, desde 0,6 a 6, con la condición de que se cubran las exigencias mínimas del animal en P y Ca por medio de la ración y no se produzca carencia de vitamina D (vitamina que se sintetiza durante el pastoreo en el organismo animal). En los rumiantes, el riesgo de una carencia de P es mayor que en las demás especies. Al final de la gestación, la relación Ca/P no debería ser superior a 2, pues el exceso de Ca predispone a la fiebre.

### **• La riqueza en fósforo de la hierba y el heno:**

Si los rumiantes encuentran normalmente en su ración todo el calcio que necesitan, no ocurre lo mismo con el fósforo, ya que un suelo pobre en este elemento produce hierba igualmente pobre en él. Se considera que una riqueza del 0,2% de fósforo en la materia seca es el límite del que no se debería bajar. Muchos heno cortados demasiado tarde tienen riquezas de P muy inferiores. Debido a la importancia de la riqueza de la hierba en fósforo para la salud del ganado, se ha tratado de enriquecerla en este elemento mediante el aporte de abonos fosfatados. Si el suelo es pobre en este elemento, se obtienen resultados positivos. Es muy frecuente que en algunos años se aumente la riqueza en fósforo del 0,13 al 0,25% por medio de abonados completos. Si el suelo tiene ya una riqueza satisfactoria en P205, el enriquecimiento de la hierba es más difícil, pero entonces se puede proceder eficazmente de dos formas:

- *Fraccionando el abono fosfatado.* El aporte de invierno se complementa con 30–50 unidades de P205 soluble, en febrero, junto con la primera aplicación de nitrógeno. De esta forma se puede elevar en un 10%, como media, la riqueza en P de la hierba y bajar ventajosamente la relación Ca/P.
- *Utilizando para el consumo hierba joven.* La riqueza en P de la hierba joven propia para el pastoreo es mucho más elevada que la de la hierba madura propia para segar. La hierba pastada al principio de la campaña contiene 0,30,4% de fósforo, que desciende a 0,2–0,25 en la época de siega y menos aún en las siegas tardías. Si, además, se tiene en cuenta que la digestibilidad baja también notablemente con el tiempo, se comprende que la alimentación en fósforo sea satisfactoria durante el primer pastoreo, llegando a ser insuficiente en los pastoreos tardíos y cuando los animales reciben el heno. En estos casos convendrá complementarlos con concentrados minerales.

Con los rendimientos, cada vez más elevados, del ganado y la indeterminación de la riqueza de los forrajes en elementos minerales, conviene vigilar de cerca la riqueza en P de la ración y actuar, a la vez, mediante un abonado fosfatado correcto y un complemento mineral que permitirla además resolver, al mismo tiempo, la cuestión de los microelementos (Cu, Zn, Mg, etc.).

## EL ÁCIDO FOSFORICO

### FORMAS DE ACÍDO FOSFÓRICO EN EL SUELO

- **El ácido fosfórico total:**

La riqueza del suelo en P205 total varía con la naturaleza de la roca madre y sólo tiene un interés relativo para el agrónomo. Comprende el conjunto de las formas en que se encuentra el P205 en el suelo. Aunque se podría hacer un análisis más detallado, distinguiremos aquí cinco formas principales, desde el P205 que existe en la roca madre y que es prácticamente inaccesible para la planta a corto plazo, hasta el P205 disuelto en las soluciones del suelo, del que las plantas toman los iones fosfóricos disponibles.

En los suelos de origen volcánico o cristalino, la riqueza en P205 total puede alcanzar del 3 al 10%; los suelos de origen sedimentario son notablemente más pobres, de 0,5 a 3% de la masa total.

Un cálculo muy simple muestra la considerable cantidad de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> que existe en el suelo, incluso en los considerados pobres. Según L. GACHON, un suelo profundo de 50 cm y de densidad 1,2, con una riqueza media del 4 por 1.000 de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, contiene 24 tm/ha de P205 capaz de cubrir las necesidades de los cultivos durante quinientos años. Aún considerando un suelo menos profundo y más pobre, con 30 cm. y 3 por 1.000 de P205 tendrá 11 tm/ha de P205

El P205 se encuentra en el suelo, en su mayoría, en estado mineral (ortofosfatos), pero también combinado en estado orgánico. Los iones fosfóricos se hallan en el suelo en tres formas diferentes:

– Disueltos en la solución del suelo.

- Absorbidos sobre diferentes componentes minerales y orgánicos del suelo.
- Fijados mediante enlaces moleculares relativamente estables.

En orden creciente de asimilabilidad para las plantas, se tratarán cinco formas de P205 en el suelo:

### **1. Ácido fosfórico Insoluble de la roca madre o retrogradado**

**Representa** la gran mayoría del P205total del suelo, que resulta prácticamente inútil para la planta. Sin embargo, es la *reserva general* a partir de la cual, tras muchas y lentas transformaciones físico-químicas o biológicas, una pequeña parte de aquél pasa a la solución del suelo al final del proceso.

Los minerales fosfatados insolubles en el suelo son esencialmente fosfatos tricálcicos (apatita), fosfatos magnésicos y fosfatos de hierro y de aluminio.

### **2. Ácido fosfórico precipitado o formando compuestos poco solubles**

En los suelos ácidos es muy posible la precipitación de los fosfatos de hierro y aluminio, y en los suelos muy calizos, la precipitación de fosfato de cal. Sin embargo, no se trata de formas insolubles indefinidamente. Las variaciones del pH, la acción de la materia orgánica, la actividad microbiana o la capacidad de algunas especies de absorberlos directamente, pueden hacer que los fosfatos, temporalmente insolubles, intervengan en la alimentación fosfatada de las plantas.

Se puede incluir en esta categoría de fosfatos a los iones fosfóricos, que temporalmente se hallan «bloqueados» en el interior de las arcillas y que pueden volver a la forma cambiante mediante el efecto de la secuencia de humectaciones y desecación.

### **3. Ácido fosfórico orgánico.**

En la materia orgánica, la relación N/P205 es del orden de 4, esto es, en un suelo con un contenido de nitrógeno orgánico del 1 por 1.000, la riqueza de P205 combinado con la materia orgánica será del orden de 0,25 por 1.000. Una hectárea de tierra que libere por mineralización 60 kg/ha y año de nitrógeno, liberará también unos 15 kg de P205.

El P205 orgánico representa una parte variable, pero importante del total. En un suelo con un 1 por 1.000 de nitrógeno orgánico en una capa de 30 cm de profundidad, hay unos 1.000 kg de P205 orgánico. Aunque esto es relativamente poco con relación al total, esta fracción juega un papel importante en el suelo. Se trata de una reserva que se moviliza fácilmente por mineralización del humus que libera P205 en forma mineral.

Como en el caso del nitrógeno, tiene lugar también una «reorganización» del P205 por acción microbiana, es decir, una inmovilización provisional que corresponde a una protección contra la fijación demasiado enérgica por el suelo.

La materia orgánica del suelo realiza, pues, una acción muy favorable sobre la nutrición fosfatada de la planta. Por combinación del humus y del ácido fosfórico, hay formación de humofosfatos que protegen a los iones P04 de la fijación más o menos irreversible por el suelo, manteniéndolos en una forma fácilmente recuperable por la planta. En relación con el ácido fosfórico, el humus juega el doble papel de crear reservas fácilmente movilizables y de protegerlas. La buena conservación del humus del suelo es una condición esencial para la alimentación fosfórica normal de la planta. Como en el caso del nitrógeno, la actividad microbiana desempeña un papel importante en el conjunto de los fenómenos que determinan la dinámica del fósforo en el suelo.

#### **4. Ácido fosfórico fijado en las arcillas y los óxidos de hierro y aluminio**

Los iones fosfóricos pueden fijarse al complejo arcillosohúmico y, en particular, sobre las arcillas, por medio del calcio (puente de calcio, ver esquema capítulo 111). Mediante el mecanismo expuesto en el capítulo III, el suelo deja en reserva una parte del P2 O5 de los abonos y lo devuelve después a la solución del suelo a medida que la planta va agotando esta solución por la absorción de una parte de dichos iones. Los iones PO4 fijados en la arcilla cálcica son fácilmente recuperables. La cantidad de P2 O5 absorbido depende del contenido de arcilla, de su capacidad de cambio y del pH, es decir, de la cantidad de iones Ca presentes.

Existen también en el suelo *hidróxidos de hierro y aluminio*, especialmente en los suelos ácidos, que se comportan como *coloides electropositivos* y pueden fijar iones PO4, que pasarán después a la solución del suelo, pero más lentamente que los que se fijan sobre la arcilla: se dice que son menos cambiables.

Aunque el P2 O5, absorbido no supone más que una parte pequeña del P2O5 total, constituye, por el contrario, *la mayor parte del P2 O5 asimilable o cambiabile*, que dependiendo de los suelos, puede alcanzar de 500 a 3.000 kg/ha.

#### **5. Ácido fosfórico en la solución del suelo**

Al final de las transformaciones y cambios continuos que se efectúan en el suelo, se tiene *la fracción menor y más importante del P2 O5 para la planta*, dado que son estos iones fosfóricos disueltos los que absorbe la planta principalmente.

La concentración de las soluciones en P2 O5 es muy pequeña: 0,2 a 0,5 mg/litro, es decir, que para una tierra con 30 cm de profundidad, ello supondría de 200 a 500 g de P2 O5 por hectárea. En los suelos ricos se puede alcanzar y sobrepasar un miligramo por litro, mientras que en los suelos pobres la riqueza puede bajar hasta 0,1 mg/litro.

Resulta interesante comparar estos 0,2 a 0,5 kg. de P2 O5 por hectárea disueltos en la solución del suelo, con los 500 a 3.000 kg. P2O5 fijados y las 10 a 25 tm. de P2 O5 que puede haber en total.

El P2 O5 que forma parte de estas dos últimas categorías, el de las soluciones del suelo y el absorbido en el complejo, representa lo que se denomina «*fondo alimenticio*». Existe un estado de equilibrio permanente y rápido entre los iones disueltos en la solución del suelo y aquellos absorbidos que constituyen el conjunto de los *iones isotópicamente cambiables*. Representan la fracción del P2 O5 total considerado como la reserva alimenticia que corresponde al *ácido fosfórico asimilable o cambiabile*, indicado por los análisis clásicos.

En el esquema se resume la *dinámica del ácido fosfórico en el suelo*. Existe un equilibrio entre las diferentes formas del P2 O5 en el suelo, con cambios continuos entre unas y otras, cada vez más lentos, de derecha a izquierda. Por el contrario, el P2O5 es tanto más asimilable cuanto más evoluciona de izquierda a derecha.

##### **• Evolución del ácido fosfórico en el suelo: retrogradación y cambio de iones:**

Esta es una cuestión todavía mal conocida, a pesar de los numerosos trabajos realizados y de la utilización del isótopo radiactivo p31, que permite seguir los desplazamientos del fósforo en el suelo y en la planta.

Para el agricultor, lo importante es saber en qué medida el abono fosfatado añadido al suelo, en forma más o menos soluble, conserva su actividad, es decir, su aptitud para suministrar el fósforo a la planta.

Se ha creído durante mucho tiempo que una parte importante de los fosfatos incorporados al suelo sufría una «*retrogradación*» que correspondía a una pérdida de solubilidad definitiva o temporal.

Los *estudios* realizados utilizando el isótopo  $p^{32}$  permiten afirmar que se habla exagerado mucho este fenómeno de la fijación irreversible del ácido fosfórico y que casi *todo el ácido fosfórico incorporado al suelo permanece móvil, y tarde o temprano es utilizado por la planta*, gracias al cambio continuo de los iones fosfóricos que han sufrido la retrogradación con los que no la han sufrido. Esto ocurre, sobre todo, en los suelos medianamente ácidos y neutros.

En los suelos muy calizos, con una proporción elevada de caliza activa, puede producirse una fijación lenta e irreversible de una parte del ácido fosfórico en forma de fosfatos tricálcicos no recuperables. También en los suelos muy ácidos, ricos en hierro y aluminio, puede haber bloqueo de una parte del  $P_2O_5$  en forma de fosfatos de hierro y aluminio, que pueden recuperarse parcialmente añadiendo cal.

## ALIMENTACIÓN DE LA PLANTA EN ÁCIDO FOSFÓRICO

Las plantas pueden absorber pequeñas cantidades de  $P_2O_5$  por contacto directo de las raíces con los elementos sólidos, **pero la mayor parte del  $P_2O_5$  que necesitan lo toman de la solución del suelo, en forma de iones fosfato**. Estos iones se desplazan desde las raíces hasta las hojas por medio de la corriente que crea la transpiración de la planta. La absorción es muy activa durante el período de máximo crecimiento y se reduce a partir de la floración. El  $P_2O_5$  se acumula, en primer lugar, en los tejidos jóvenes, luego se diluye en la masa durante envejecimiento de los órganos verdes, para concentrarse por último en los órganos de reproducción y en el grano. El grano de trigo es cinco veces más rico en fósforo que la paja. Cuando se da cita la riqueza en fósforo de un vegetal, es necesario indicar el estado vegetativo correspondiente.

Se ha visto que la riqueza de la solución del suelo en ácido fosfórico es siempre muy pequeña y representa 0,2 a 0,5 kg. de  $P_2O_5$  por hectárea. La planta puede absorber varios cientos de gramos de  $P_2O_5$  por día en los periodos críticos de la vegetación. Teniendo en cuenta que las raíces sólo exploran una parte del volumen total del suelo, resulta evidente que la solución del suelo, en algunas épocas del año, debe renovarse varias veces al día.

¿Qué pasa en el suelo cuando la planta absorbe iones fosfato? **La concentración de la solución en  $P_2O_5$  tiende a permanecer constante, lo que quiere decir que a medida que la planta baja esta concentración, absorbiendo iones fosfato, los coloides del suelo ceden a la solución una parte de los iones fijados en su superficie, para restablecer el equilibrio roto**. Este equilibrio se establece entre dos movimientos opuestos: el paso a la solución del suelo y la fijación por el complejo de iones fosfato.

¿En qué proporción se realiza la alimentación fosfórica a expensas de las reservas del suelo o de los abonos aportados recientemente? La respuesta es difícil y depende, sobre todo, del nivel de reservas que tenga el suelo. Cuanto más pobre sea éste, tanto más se alimentará la planta a partir del abono (grado de utilización del abono, 25 a 40%). Por el contrario, en suelos bien provistos, solamente del 5 al 10% del fósforo absorbido procede del abono y del 90 al 95% de las reservas del suelo. El abono no absorbido va a enriquecer dichas reservas y en poco tiempo no se puede distinguir el fósforo procedente del abono, del existente en el suelo.

Independientemente de su misión de mantener o aumentar el poder nutritivo del suelo, la fertilización cumple la finalidad de **facilitar la alimentación de la planta, gracias a las concentraciones locales de  $P_2O_5$  que se forman alrededor de los gránulos de abono**.

Es necesario saber que el fósforo es muy poco móvil en el suelo y que los iones fosfato no pueden ser extraídos por una raíz cuando están separados por una distancia de más de 2 mm, mientras que el nitrógeno, e incluso la potasa, se mueve más fácilmente en el suelo. Así, pues, una parte del volumen del suelo no se utilizará en el curso de un año agrícola. Por lo tanto, teniendo en cuenta esta escasa movilidad del  $P_2O_5$  en el suelo y la importancia de las extracciones en ciertos periodos, se comprende que se recomiende el practicar la localización del abono y utilizar dosis de abonado desproporcionadas, en relación con las extracciones



anuales, para asegurar a la planta el ácido fosfórico indispensable para su desarrollo en los períodos punta de mayor absorción.

## **ASIMILABILIDAD Y SOLUBILIDAD DEL ÁCIDO FOSFORÍCO**

### **– El ácido fosfórico asimilable**

El conocimiento de la riqueza en P<sub>205</sub> total de un suelo no tiene interés, ya que la mayor parte no es utilizable por la planta a corto plazo. Por el contrario, conviene conocer la cantidad de ácido fosfórico susceptible de participar en la alimentación de la planta y conservar la concentración de la solución del suelo en iones fosfato. A éste se le llama ácido fosfórico asimilable o cambiante, según los términos empleados en los boletines de análisis de tierras. Para realizar estos análisis se admite que el P<sub>205</sub> asimilable es aquél que se extrae con la ayuda de determinados reactivos de concentración bien definidos y cuya naturaleza cambia en función del tipo de suelo considerado.

Aunque es interesante conocer la riqueza de la solución en P<sub>205</sub> en un determinado momento, también es importante saber en qué medida las reservas del suelo pueden renovar los iones P<sub>205</sub> de la solución, según son absorbidos. Los estudios realizados con elementos radiactivos han permitido determinar lo que se llama ácido fosfórico isotópicamente cambiante, es decir, aquél que pasa sucesivamente de las reservas del suelo a la solución y viceversa, concepto ligeramente diferente al del ácido fosfórico asimilable, que da una indicación sobre la movilidad de los iones P<sub>04</sub> en el suelo.

### **– Solubilidad de los abonos fosfatados**

Las condiciones de utilización de abonos fosfatados dependen de su solubilidad en diferentes reactivos, de acuerdo con el tipo de abono. La nueva legislación comunitaria no ha simplificado este tema.

Se consideran 6 solubilidades diferentes del ácido fosfórico, que deben figurar en las etiquetas, envases y facturas.

- *Soluble en agua*: es la solubilidad ideal que corresponde a la mayor parte del P<sub>205</sub>, del fosfato monocálcico, que debe ser soluble además en citrato amónico.
- *Soluble en citrato amónico neutro*: (superfosfato simple, triple, abonos complejos).
- *Soluble en citrato amónico alcalino de Petermann* (fosfato bicálcico, fosfato calcinado).
- *Soluble en citrato amónico de Joulie* (Phospal).
- *Soluble en ácido cítrico al 2%* (escorias Thomas).
- *Soluble en ácido fórmico al 2%* (fosfatos naturales molidos).

Un aspecto importante a considerar es que no hay P<sub>205</sub> **insoluble**. Todo abono fosfatado es soluble en un determinado reactivo. Por el contrario, la indicación P<sub>205</sub> *total* se mantiene para ciertos productos: ésta corresponde a la extracción con ácidos fuertes lo que supera todas las posibilidades de, absorción por las plantas.

La antigua clasificación de los abonos fosfatados en *solubles* (superfosfatos, fosfatos amónicos), *hiposolubles* (bicálcico, phospal, escorias) e *insolubles* (fosfatos naturales molidos) ya no se utiliza. Conserva, no obstante, cierto valor pedagógico.

Partiendo del principio de que el abonado fosfatado pretende aumentar la concentración de las soluciones del suelo en iones fósforicos y considerando que el nivel de 1 mg/l es un valor óptimo apropiado, se había considerado que el abono debería tener una solubilidad superior a ésta para poder elevar rápidamente la concentración del suelo en iones fosfóricos. De este modo se consideraba abonos *solubles* aquellos cuya solubilidad en la solución del suelo sobrepasaba varias decenas de g/l; como *hiposolubles* los que tenían una solubilidad de algunos mg/l y como *insolubles* aquellos cuya solubilidad es extremadamente débil, siendo inferior a la concentración de la solución del suelo.

Refiriéndonos a la lista nueva de solubilidades, se ve que los abonos solubles se corresponden con la solubilidad al agua y al citrato amónico neutro, los hiposolubles con la solubilidad en el citrato amónico alcalino de Joulie o de Petermann y en el ácido cítrico al 2% y, por último, los insolubles con la solubilidad en el ácido fórmico al 2%.

## APLICACIONES MÁS

### IMPORTANTES DEL

### FÓSFORO

## ABONOS FOSFATADOS

Tiene un doble origen:

- *La industria siderúrgica:* Los minerales de hierro de Lorena y Normandía contienen, entre otras impurezas, pequeñas cantidades de fósforo que hay que eliminar durante la operación de refinado o de conversión en los altos hornos, para obtener un acero de buena calidad. Las impurezas citadas se combinan a alta temperatura con la cal afiadida, a la masa fundida y es este lecho básico, mezcla de cal, fosfatos y silicatos de cal, lo que constituye la base de las *escorias de desfosforación o escorias Thomas* que reciben el nombre del ingeniero inglés que perfeccionó los convertidores.
- *Los yacimientos de fosfatos naturales*, con riqueza variable, que se encuentran en Africa del Norte (Marruecos, Túnez), Estados Unidos (Florida), U.R.S.S. (Kola), Africa Central (Senegal, Togo), Oceania, etc.

Con la excepción de los fosfatos alumino-cálcicos de Thiés (Senegal), son *fosfatos tricálcicos sedimentarios o, en particular, cristalizados* (Kola), con cierta proporción de fluoruro cálcico.

La riqueza de los mismos es del orden del 65 al 77% de fosfato tricálcico, que equivale a un 30–33% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 48–52% de CaO.

### Tratamiento de los fosfatos naturales

Los productos que se ofrecen al agricultor han sido sometidos a diversos tratamientos para mejorar su presentación y solubilidad:

- *Tratamientos físicos:* Selección y molienda más o menos fina de los fosfatos naturales, llegándose a los *fosfatos molidos*.
- *Tratamientos térmicos:* Molienda y calcinación de los fosfatos de cal o aluminio-cálcicos, con o sin adición de silicatos, obteniéndose los *fosfatos calcinados y el phospal*.
- *Tratamientos químicos:* Ataque de los fosfatos naturales con uno o varios ácidos, bien para *solubilizar el fosfato tricálcico*, pasándolo al estado bicálcico o monocálcico, bien para *producir ácido fosfórico*.

#### a) Solubilización P205 de los fosfatos naturales

Al principio, el ácido sulfúrico se utilizaba solo, siendo después mezclado con otro ácido (nítrico o fosfórico). Los ácidos clorhídrico y fosfórico se utilizan también solos. Los productos que se obtienen son los siguientes:

Ataque sulfúrico \_\_\_\_\_ Superfosfato corriente

Ataque sulfofosfórico \_\_\_\_\_ Superfosfato

enriquecido

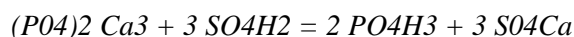
Ataque fosfórico \_\_\_\_\_ Superfosfato

concentrado

Ataque nítrico, nitrofosfórico o sulfoní-trico \_\_\_\_\_ Nitrofosfatos

#### b) Ácidos fosfóricos industriales varios

Llevando hasta el fin el ataque sulfúrico de los fosfatos naturales para extraer todo el calcio, se obtiene el **ácido fosfórico ordinario**, es decir, el **ortofosfórico** ( $POH_3$ ), que contiene 54% de P20, y yeso (sulfato de cal).



*fosfato tricálcico ácido sulfúrico ácido ortofosfórico yeso*

Este ácido ortofosfórico se ha convertido en una materia prima muy importante en la industria de los abonos. Obtenido por vía seca, llega a tener el 62% de P205 en comparación con el 54% del de vía húmeda. Se utiliza para la fabricación de superfosfatos enriquecidos o concentrados, fosfatos amónicos, nitrofosfatos y muchos de los complejos.

Para obtener un ácido más concentrado que el ácido ortofosfórico hay que deshidratar parcialmente este producto, lo que produce una serie de ácidos tales como los pirofosfóricos, tri, tetra y pentapolifosfóricos y metafosfóricos, todos ellos muy concentrados. Se denomina ácido superfosfórico a una mezcla de estos ácidos con un contenido en P205 del 72 al 83% en función de los componentes. El más corriente es un ácido superfosfórico con una riqueza del 70 al 80% de P205, que contiene tanto más ácido no-ortofosfórico cuanto más concentrado es. Para 76% de P205 la proporción de ácido no-ortofosfórico es aproximadamente la mitad. El ácido superfosfórico es menos corrosivo que el ortofosfórico.

Neutralizando el ácido superfosfórico con amoníaco, se obtienen los **polifosfatos amónicos**, productos muy concentrados que sirven de base para la fabricación de los abonos líquidos binarios (solución tipo: 14-48-0) y ternarios.

Los polifosfatos amónicos tienen *propiedades secuestrantes o de captación* respecto de las impurezas del ácido fosfórico obtenido por vía húmeda, lo que permite añadirle microelementos (Zn, Mn, Cu).

Desde el punto de vista de su eficacia, hay que tener en cuenta que los polifosfatos deben hidrolizarse en el suelo y pasar al estado de ácido ortofosfórico para poder ser utilizados por la planta. En los suelos calizos se han mostrado frecuentemente más eficaces que el ortofosfato.

En el presente capítulo no se tratarán más que los abonos fosfatados simples, puesto que en el capítulo XII se verán los abonos compuestos y en el XIII los abonos fluidos, por lo que el lector encontrará en ellos lo

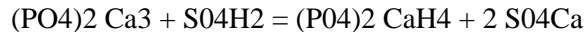
concerniente a –los abonos compuestos conteniendo P205.

### **Superfosfatos de cal**

Los superfosfatos minerales (en oposición a los superfosfatos en huesos, cuyo uso es ya muy raro) se obtienen atacando los fosfatos naturales con ácidos sulfúrico y fosfórico. La cantidad de ácido se dosifica para que la casi totalidad del fosfato tricálcico se transforme en monocalcico soluble en agua.

En el mercado se encuentran tres tipos principales de superfosfatos:

- Superfósforo simple. Es el resultado del ataque de los fosfatos naturales con el ácido sulfúrico, que se combina con la cal, dando sulfato de cal, según la fórmula:



fosf. tricálcico ácido sulfúrico fosf. monocalcico sulfato de cal

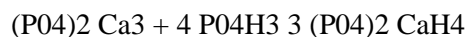
El superfosfato simple es una mezcla de fosfato monocalcico (16 a 24% de P205 soluble en agua y citrato, siendo al menos el 90% soluble en agua) y de sulfato de cal o yeso, aproximadamente, al 50% en peso.

Por otro lado, contiene de un 9 a un 12% *de azufre* y el 28% de CaO, así como pequeñas cantidades de microelementos (Fe, Zn, Mn, B, Mo). El *superfosfato, de 18% P205 es el más corriente*.

Se observará que la riqueza del superfosfato simple depende de la calidad del fosfato natural utilizado (no se puede obtener una riqueza de P205 superior a la cuarta parte del contenido de fosfato tricálcico en el fosfato roca natural).

*b) Superfósforo enriquecido. Se obtiene* atacando los fosfatos naturales con una mezcla, en proporciones variables, de ácidos sulfúrico y fosfórico, por lo que cabe obtener una gama de productos cuya riqueza va de 25 a 35% *de ácido fosfórico*, soluble en agua y citrato. También contiene una proporción importante de sulfato de cal, que corresponde a una riqueza de 5 a 9% *de azufre* (siendo los más concentrados los que poseen la menor cantidad de azufre).

*c) Superfósforo triple. Es un producto obtenido mediante el ataque con ácido fosfórico de los fosfatos naturales; posee de 38 a 48% de P205 soluble en agua y citrato, y no contiene casi nada de azufre (1 a 5%). Debido a su alta concentración, resulta muy útil en la preparación de mezclas muy concentradas. Los productos con el 45% de P205 son los más corrientes.*



fosfato natural ácido ortofosfórico fosfato monocalcico

Los superfosfatos normales, enriquecidos o concentrados, Pueden aplicarse a todos los cultivos y no solamente en los *abonados de fondo*, como los restantes abonos fosfóricos, sino también *en cobertura y localizados*, con el fin de asegurar la alimentación fosfatada de las plantas en momentos críticos.

Los superfosfatos están particularmente indicados *en todas las tierras provistas normalmente de cal*. Se les ha acusado, equivocadamente, de ser responsables de la acidificación de los suelos cultivados; sin embargo, experiencias de larga duración han demostrado que, incluso con dosis fuertes, el superfosfato no tiene influencia sobre el pH del suelo.

Los superfosfatos son los *abonos fosfatados por excelencia de las tierras neutras y calizas*, y, junto con el

fosfato amónico, *el que utiliza la planta más rápidamente.*

Cuando se habla de superfosfato, sobre todo, suele mencionarse la *retrogradación*, fenómeno que tiende a disminuir la actividad de los iones P04 y que es debido al enriquecimiento en calcio del fosfato monocálcico, que pasa al estado bicálcico, y después al tricálcico. Este hecho es indiscutible en los suelos calizos, pero también es cierto que los iones P04 que hayan sufrido esta «retrogradación» no se pierden para la planta, encontrándose en una situación que les permite volver, en su mayor parte, a la solución del suelo.

Los superfosfatos pueden presentarse en forma *pulverulenta o granulados*; esta última forma es la más frecuente.

#### Fosfato bicálcico o precipitado

Este producto (de fórmula P04CaH) contiene de 38 a 42% de *ácido fosfórico soluble en el citrato amónico*, alcalino de Petermann.

El fosfato bicálcico se emplea, sobre todo, en alimentación animal, en los complementos minerales o en el ensilado de maíz, mezclado con la urea, en dosis de 2–3 kg/tm de forraje.

#### **Phospal**

Con esta denominación genérica se conoce un abono producido partiendo de fosfatos aluminio–cálcicos extraídos del Senegal (región de Thiés) que se solubilizan mediante tratamiento térmico a 600°C y después son molidos.

Este abono contiene una riqueza del 34% de *ácido fosfórico, del que un 75% es soluble en el citrato amónico alcalino de Joulie*. Además su finura de molido ha de ser tal que pase el 90% por el tamiz de 0,16 mm. Desde este punto de vista, su acción es comparable a la de las escorias, siendo más lenta que la del superfosfato. Conviene enterrarlo pronto, algunas semanas antes de la siembra. Es eficaz en suelo con pH variados y especialmente en suelos neutros y calizos; su acción será máxima en los suelos con abundantes coloides arcilloso–húmicos; debe evitarse su aplicación en suelos muy ácidos o demasiado arenosos.

Para su empleo directo en los cultivos se ha propuesto una fórmula con un contenido del 32% de P205 obtenida por humidificación con una solución magnésica, la cual está menos sujeta a pérdidas. Por otra parte, se utiliza mucho, y cada vez más, en forma de binario PK granulado, denominado superphospal potásico al mezclarse con superfosfato.

El pliospal simple es muy apreciado por los fabricantes de abonos compuestos, debido a que es un producto neutro concentrado, no higroscópico, que asegura una buena conservación del producto.

Estas cualidades físicas y químicas dan a los granulados de superpliospal potásico una gran facilidad de almacenaje y manipulación a granel.

#### **Escorias de desfosforación o escorias Thomas**

Se ha visto anteriormente su origen siderúrgico. Saliendo de los convertidores las escorias son almacenadas, después molidas y envasadas. Las operaciones de conversión de fundiciones con fósforo se ven forzadas, para obtener aceros de mejores calidades, la dilución del fósforo presente en los minerales de hierro en un volumen importante en el lecho básico. De aquí la tendencia al descenso en la riqueza media de las escorias Thomas y, en consecuencia, el interés actual por su mezcla con otros abonos fosfatados más ricos. Para elevar el contenido de los binarios P–K.

La disponibilidad de las escorias depende de la actividad siderúrgica y del origen de los minerales de hierro utilizados. Desde 1973 a 1977 se han entregado a la agricultura francesa del orden de 2,5 millones de toneladas al año, lo que ha representado el 20–25% del P205 total.

Las escorias Thomas se presentan en forma de *un polvo negro muy pesado (100 kg. ocupan solamente 50 litros) que contienen del 12 al 20% de ácido fosfórico, oscilando las riquezas más corrientes entre el 15 y el 17%. El ácido fosfórico se encuentra en las escorias bajo una forma especial (combinaciones complejas de fosfatos y de silicofosfatos) insoluble en el agua, pero soluble en gran parte en los ácidos débiles, principalmente en el reactivo de Wagner*, que, legalmente, debe disolver por lo menos el 75% del ácido fosfórico en las escorias y la finura debe ser como mínimo tal que pase el 75% por el tamiz de 0,16 mm.

Por debajo del 12% de P205 los productos no pueden denominarse escorias Thomas. Entran entonces en el grupo de *fertilizantes mixtos* que comprenden especialmente las *enmiendas calizas fósfatadas siderúrgicas* (ver capítulo V)

*Cien kilogramos de escorias contienen, además, de 45 a 55 kg. de cal total, de los cuales el 80% es cal activa. Esta gran riqueza en cal activa hace que las escorias sean un abonado fosfatado muy adecuado para el abonado de las tierras ácidas y de las praderas, en las que se han utilizado casi exclusivamente durante mucho tiempo.*

El precio, netamente más ventajoso, de la unidad P205 de las escorias ha favorecido la utilización de este abono en todos los cultivos y en todas las regiones, incluso en terrenos calizos, aunque en ellos su eficacia inmediata es un poco inferior a la de los superfosfatos. *Se deben enterrar con bastante anticipación mediante una labor, y tanto más pronto cuanto más elevado sea el pH.*

Las escorias contienen *cantidades importantes de microelementos o de elementos secundarios*. Aproximadamente y por tonelada de producto:

- 500 kg. de cal 25–80 g de zinc.
- 20–30 kg. de magnesio 10–60 g de cobre.
- 25–40 kg. de manganeso 2–5 g de cobalto.
- 3–16 g de molibdeno.

Además del orden de un 6% de sílice y óxidos de hierro.

El reparto de las escorias en polvo es una operación poco atractiva para quien la realiza, debido a las polvaredas que se forman. Se ha tratado de resolver esta situación:

- Granulando o compactando las escorias.
- Humedeciendo la masa en el momento de la distribución, para evitar las polvaredas. Para ello se utiliza un distribuidor centrífugo de brazos oscilantes, en cuya tolva se vierte, al centro durante el llenado, 2–3 litros de agua por saco.

### **Fosfatos naturales molidos**

Son fosfatos naturales finamente molidos que contienen del 60 al 77% de fosfato tricálcico, siendo el resto carbonato de cal y fluoruro cálcico principalmente.

El valor de estos fosfatos, para su empleo directo, depende fundamentalmente de:

– *Su blandura*, variable con el origen geológico: los fosfatos del norte de Africa (Túnez, Marruecos) son muy blandos; los de Florida y, sobre todo, los de Kola (fosfato apatítico cristalizado) lo son mucho menos y, por lo tanto, menos indicados para su empleo directo.

– *La finura de molienda*. Con el fosfato finamente dividido se logra una mejor distribución del P<sub>205</sub> en el suelo, se multiplica el contacto entre las raíces y las partículas de abono, se facilita el ataque por los microorganismos y el paso progresivo de los iones P<sub>04</sub> a la solución del suelo.

De acuerdo con la nueva legislación comunitaria, sólo deben existir en el mercado para empleo directo, fosfatos naturales molidos que cumplan las siguientes condiciones:

– *Finura*: 90% debe pasar por el tamiz de 0,063 mm de abertura de malla.

– *Solubilidad*: al menos 55% en el ácido fórmico al 2%.

Los fosfatos naturales tienen riquezas variables según su origen: 26–33% de P<sub>205</sub> total, del cual al menos 55% debe ser soluble en el reactivo de ácido fórmico.

Su presentación, que antes era en polvo, está cambiando cada vez más a la fórmula granulada para facilitar su distribución. Los gránulos se deshacen en el suelo por efecto de la humedad.

Se ha discutido mucho acerca del valor agrícola de los fosfatos molidos, a causa de su insolubilidad en agua y citrato, y durante mucho tiempo no se les ha concedido importancia más que en los suelos francamente ácidos, las plantaciones forestales y algunos cultivos especiales. Después de numerosos estudios, *se considera ahora que las posibilidades de empleo de los fosfatos molidos son mucho más amplias de lo que se creía antes*. A este respecto, se tendrá en cuenta que:

– Los microorganismos del suelo son capaces de solubilizar parcialmente los fosfatos naturales blandos, por lo que una intensa actividad microbiana en el suelo resulta muy favorable para la utilización de estos productos por la planta. En suelos neutros o limosos, ligeramente alcalinos, la Estación Agronómica de Laori ha demostrado que el P<sub>205</sub> de los fosfatos molidos contribuía a la alimentación de los cultivos en la misma proporción que las demás formas solubles.

– Los cultivos forrajeros, las leguminosas y las crucíferas parecen capaces de utilizar con más eficacia que otros cultivos los fosfatos molidos blandos, por la acción directa de sus raíces.

Los fosfatos molidos pueden tener su puesto en el abonado fosfatado, *con la condición de ser enterrados con antelación*. Se excluirán, en todo caso, de los suelos claramente calizos, en los que el paso de los iones PO<sub>4</sub> del abono a la solución del suelo es difícil.

### **Fosfatos «condensados»**

El polifosfato amónico es ya un fosfato condensado, siendo el único que se utiliza en la práctica agrícola. Elevando la concentración de los ácidos fosfóricos se obtiene el ácido metafosfórico, del que se estudian dos sales por su utilización ocasional como abono, sin que se hayan considerado de interés real hasta ahora.

Debe señalarse la utilización en riego fertilizante del *fosfato monopotásico* con 51 % de P<sub>205</sub> y cerca de 34% de K<sub>20</sub>, lo que supone un total de 85 % de elementos fertilizantes primarios.

## **FÓSFOROS O CERILLAS**

Nadie recuerda hoy las primeras cerillas, unas sencillas astillas bañadas en azufre fundido a las que había que poner en contacto con un cuerpo ya en ignición para que se inflamasen. Las cerillas, o fósforos llamados "químicos, no hicieron su aparición hasta comienzos del pasado siglo. Su empleo era peligroso porque sólo se encendían cuando se sumergían en vitriolo. Más tarde se presentaron otras complicaciones al utilizarse el fósforo blanco, (tóxico). Progresando paulatinamente, se llegó a los procedimientos actuales.

Entre los millones de personas que las utilizan cada día, ¿cuántos saben exactamente lo que contiene la "cabeza" de esas briznas de madera blanca, en forma de paralelepípedo, llamadas cerillas, y que se inflaman por fricción sobre un frotador *ad hoc*? A decir verdad, se trata de una combinación bastante compleja. La *cabeza* de una cerilla, depositada sobre su extremo previamente parafinado, no contiene menos de cinco productos diferentes: clorato de potasio, bióxido de manganeso, bicromato de potasio, sulfuro de antimonio y vidrio en polvo.

Estas cerillas "de seguridad" no pueden inflamarse si se las frota sobre una superficie rugosa cualquiera, como ocurre con las cerillas normales, de tronco azufrado. Con ellas, es necesario recurrir a un frotador especial –el de la caja en la cual son vendidas–, que está compuesto de fósforo amorfo y de un abrasivo, aglomerados mediante goma.

Como se ve, se necesitan muchos ingredientes para que nuestras cerillas funcionen bien y cuando es preciso.

22

**Proceso de obtención del fósforo por el método del horno eléctrico.**

## **CONSTANTES FISICAS Y QUIMICAS DEL FOSFORO PURO**

**Peso atómico 30,9738 uma.**

**Configuración electrónica 1s<sup>2</sup>2s<sup>2</sup>2p<sup>6</sup>3s<sup>2</sup>3p<sup>3</sup>**

**Punto de fusión (forma roja) 590° C**

**Punto de ebullición (forma blanca) 280° C**

**Densidad del sólido (forma blanca) 1,82 g/cm<sup>3</sup>**

**Estados de oxidación más estables ±3, ±5, +4**

Estructura del cristal (forma blanca) cúbica

Radio covalente 1,10 Å

Radio atómico 1,28 Å

Radio iónico (–3) 2,12 Å

Radio iónico (+5) 0,34 Å

Volumen atómico (p. at. /densidad) 17,0

Electronegatividad (Pauling) 2,06



Calor de vaporización 2,97 Kcal/mol

Calor de fusión 0,15 Kcal/mol

Conductancia eléctrica 10–17 m–1

Calor específico 0,177 cal/g.° C

Primera energía de ionización 254 Kcal/mol

Segunda energía de ionización 453 Kcal/mol

Potencial normal, E°298, en voltios:

$\text{PH}_3 = \text{P}^\circ(\text{blanco}) + 3\text{H}^+ + 3\text{e}^- - 0,063$