



ABONOS FOSFATADOS ⁽¹⁾

FIJACIÓN Y ASIMILACIÓN

SOLUBILIZACIÓN

DEL $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ POR EL NaHSO_4 . ACCIÓN DE CIERTAS SALES CÁLCICAS Y MAGNÉSICAS SOBRE DICHO SISTEMA QUÍMICO

CICLO BIOQUÍMICO DEL FÓSFORO

La siguiente sinopsis resume el plan desarrollado en la presente monografía :

Capítulo I. — *Nutrición vegetal.*

- a) Conceptos generales sobre nutrición vegetal;
- b) Correctivos y abonos;
- c) Caracteres generales de los abonos;
- d) Clasificación de los abonos.

Capítulo II. — *Estado natural del fósforo.*

- a) En el reino animal;
- b) En el reino vegetal;
- c) En el reino mineral.

Capítulo III. — *Abonos fosfatados.*

- | | | | |
|--------------|---|--|----------------------|
| Naturales | { | A. Composición química definida. | |
| | | B. Rocas y conglomerados. | |
| | | C. Sedimentos y residuos de la época actual. | |
| Artificiales | { | a) Base científica; | |
| | | b) Descripción y preparación | D. Abonos de huesos. |
| | | | E. Superfosfatos. |
| | | | F. Termofosfatos. |
| G. Escorias. | | | |

(1) Trabajo presentado a la Facultad de agronomía y veterinaria para optar a la suplencia de la cátedra de química inorgánica.

Capítulo IV. — *Solubilidad de las sales fosfatadas y abonos fosfatados en agua y en soluciones acuosas diversas.*

Capítulo V. — *Acción disolvente y disgregante del NaHSO_4 sobre el $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$.*

Capítulo VI. — *Acción de ciertas sales sobre el sistema $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + 4\text{NaHSO}_4$.*

Capítulo VII. — *Fijación de los abonos fosfatados.*

- a) Ideas generales;
- b) Fenómenos de intercambio químico;
- c) Influencia de ciertos factores (agua, sales, sustancias minerales, sustancias coloidales, etc.).

Capítulo VIII. — *Asimilación de los abonos fosfatados.*

- a) Conceptos generales;
- b) Máximo de asimilación y mínimo de toxicidad;
- c) Influencia de factores físicos, químicos y bioquímicos;
- d) Asimilación relativa de cada abono fosfatado.

Capítulo IX. — *Ciclo bioquímico del fósforo.*

CAPÍTULO I

Nutrición vegetal. Correctivos. Abonos. Su clasificación

a) CONCEPTOS GENERALES SOBRE NUTRICIÓN VEGETAL

Las plantas, como todos los seres vivientes, necesitan alimentarse para poder vivir, desarrollarse y multiplicarse; necesitan que retiren del medio ambiente en que viven, *aire y tierra*, los elementos nutritivos para su desarrollo, los que en el organismo complejo de los vegetales sufren complicadas transformaciones bioquímicas que las rinden aptas para ser asimiladas y para servir de base a la formación y crecimiento de los diferentes órganos y partes constituyentes de los vegetales.

Una parte de estas sustancias, bajo la acción de la clorófila celular y de la luz solar, sufre transformaciones de orden bioquímico que van a formar la *substancia orgánica o combustible* de los vegetales; y la otra parte, esencialmente mineral, es absorbida para constituir en su mayor parte la *substancia inorgánica o mineral e incombustible*; aunque también estas mismas sustancias entran a formar parte de

la molécula compleja orgánica (proteídos, fosfatidos, nucleoproteídos, fitina, etc.).

Es necesario ayudar y provocar estas transformaciones de la materia prima extraída del aire y de la tierra, poniendo u ofreciendo en las mejores condiciones estas sustancias para que sean fácilmente aprovechadas o asimiladas.

La preparación y elección del terreno, las enmiendas o correctivos del mismo, los abonos adecuados, las buenas semillas y el cuidado de los vegetales en su crecimiento y desarrollo, constituyen la base del aprovechamiento racional y productivo de los elementos que nos suministran la tierra y el aire con respecto al crecimiento de las plantas.

Para poder obtener un rendimiento mayor y selectivo de los materiales naturales que nos ofrece el aire y el terreno, y para que la producción sea intensiva y económica, es necesario e indispensable tener en cuenta las siguientes condiciones :

- a) Conocer las necesidades de los vegetales cultivados;
- b) Conocer las necesidades de la tierra con relación a las plantas, con respecto a su alimentación y crecimiento;
- c) Satisfacer en un todo a estas dos condiciones del modo más completo y económico.

Las sustancias que los vegetales toman del aire y de la tierra para alimentarse son las mismas que constituyen sus tejidos y sus órganos, son las que la química analítica nos ha sabido aislar y reconocer.

Los elementos que constituyen la sustancia orgánica del suelo (carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno) son absorbidos o asimilados directamente o indirectamente de la atmósfera, *aire*, son los llamados *elementos orgánicos* o *aéreos* y los que constituyen la sustancia mineral o cenizas de los vegetales son retirados exclusivamente de la tierra y son los llamados *elementos inorgánicos* o *telúricos*.

Entre estos elementos es indispensable considerar que no todos son necesarios al crecimiento de los vegetales, y por esta razón, se los ha clasificado en *fundamentales* y *accidentales*.

Son considerados fundamentales los siguientes :

1° *Elementos aéreos u orgánicos* : carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, que son extraídos directamente o indirectamente de la atmósfera, constituyen la parte orgánica de los vegetales o combustible, más del 90 por ciento;

2° *Elementos inorgánicos o telúricos* : nitrógeno, azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, sodio, manganeso, aluminio, clo-

ro, silicio, que son extraídos directamente de la tierra, quedan como residuo de la combustión y constituyen las cenizas.

Son considerados accidentales : el bromo, iodo, fluor, boro, selenio, telurio, arsénico, litio, zinc, estaño, cobre, cobalto, níquel, plomo, plata, mercurio, etc.

No solamente en las cenizas se encuentran los elementos inorgánicos citados, sino también carbono y oxígeno provenientes de la combustión de la substancia orgánica (carbonatos) o sino del residuo de ciertas substancias inorgánicas calcinadas (óxidos).

Hemos colocado el nitrógeno en las dos clases de elementos porque ciertas plantas, como las leguminosas, extraen el nitrógeno no solamente del aire sino también del suelo, gracias a ciertos tubérculos radicales en los que se encuentran determinados microorganismos dotados de la propiedad de fijar el nitrógeno atmosférico (intersticial del terreno) para cederlo a la planta; mientras que las otras plantas como también los cereales parecen no estar dotados de tal propiedad y el nitrógeno que absorben por las raíces se encuentra bajo la forma de combinación inorgánica (nitratos, nitritos, amoníaco), u orgánica (aminoácidos). También puede ser absorbido el nitrógeno al estado de carbonato de amonio, pero en pequeñas cantidades por las hojas y por las raíces.

No todas las substancias enumeradas son esencialmente necesarias para el crecimiento de las plantas; las experiencias han demostrado que los vegetales pueden vivir sin cloro, silicio, sodio y manganeso, pero la presencia de estos elementos contribuyen en un cierto grado a la vida vegetal; de igual modo, la ciencia ha constatado que la falta de cualquiera de los otros elementos retarda o destruye la vida de las mismas.

No solamente cada una de estas substancias fundamentales son indispensables, sino también son *importantes* para la producción vegetal, porque la falta o disminución en la cantidad de una de ellas impide la absorción de las otras en igual grado y, por consiguiente, el desarrollo no se hace normalmente y la planta se debilita o muere.

Lo que se quiere decir con esto es que en los vegetales, para que su producción aumente, es necesario que aumente la absorción no de una sola substancia nutritiva indispensable sino también de todas las otras en la proporción que requiere la vida general vegetativa. Resulta, por consiguiente, que *la producción total depende de la naturaleza de la substancia nutritiva que se encuentra en cantidad menor en la tierra y es proporcional a ésta*, — es la llamada *ley del mínimo de Liebig*, enunciada por la primera vez por este químico y

la cual no debe ser tomada en consideración de un modo absoluto.

Los vegetales retiran del aire y de la tierra los elementos indispensables para su nutrición, en cantidad suficientemente necesaria para poder cumplir con las diferentes fases de su vida y poder suministrarlos los productos elaborados.

Existe una distinción bien marcada entre los dos medios de que se valen las plantas para retirar los materiales nutritivos, no solamente bajo el punto de vista físico y químico, sino también en la capacidad de suministrar por un tiempo más o menos largo los elementos necesarios.

El aire es capaz de suministrar sus materiales nutritivos por un número infinito de años, pero no así la tierra, que se empobrece en substancias nutritivas y se pone estéril o improductiva.

El agricultor no debe preocuparse del ambiente o medio agrícola *aire*, pues si una planta absorbe una pequeña o determinada cantidad de CO_2 del aire que la rodea, nuevas cantidades de la misma substancia se acercan o vienen de su vecindad y la composición del aire queda casi siempre constante por la propiedad que tienen los gases de difundirse fácilmente.

De igual modo podemos hablar de los otros dos elementos (hidrógeno y oxígeno) que constituyen el agua. Si consideramos la circulación de los jugos internos de las plantas y su transpiración, el agua puede encontrarse a menudo en cantidad insuficiente para cumplir con estas dos funciones vegetativas (períodos de sequedad); pero si consideramos, solamente la nutrición por el hidrógeno y el oxígeno que nos puede suministrar el agua, ésta se encuentra casi siempre en cantidad superior a sus necesidades.

Respecto al nitrógeno no es necesario pensar en la falta de él, pues existe siempre en cantidad abundante y constante en el aire, de tal modo, que los cuatro elementos que el aire suministra a los vegetales, el agricultor no debe pensar en ellos, sino debe preocuparse de la fertilidad del terreno, manteniéndola con correctivos y abonos.

Como la tierra no se renueva y como con el andar del tiempo y con sucesivos cultivos el material nutritivo de reserva disminuye por su absorción por parte de las plantas, la tierra se debilita, se pone estéril y el agricultor debe restituírle los elementos necesarios retirados por los vegetales.

No es indispensable que se restituya a la tierra todos los elementos extraídos por las plantas, porque algunos de éstos se encuentran en cantidades relativamente grandes para poder suplir por muchos años las necesidades de los vegetales.

No sucede así con otros elementos que se encuentran en cantidades relativamente pequeñas, como el fósforo, el potasio y nitrógeno y en ciertos casos el calcio, que después de varias cosechas son extraídos casi totalmente por las plantas o quedan en cantidad tal que son insuficientes para la vida vegetal.

Hemos expuesto que no es solamente necesario conocer las exigencias de los vegetales y las condiciones del terreno para la vida vegetativa sino también establecer las condiciones las más apropiadas para cumplir con estas dos condiciones del modo más económico y productivo.

La tierra, para que produzca con provecho, debe contener no solamente todos los elementos necesarios, sino también deben éstos encontrarse en cantidades tales que puedan suministrar o dar el rendimiento requerido. El empobrecimiento más o menos grande de la tierra de uno de los tres elementos indispensables, o de los tres simultáneos (fósforo, nitrógeno y potasio) dará lugar a un rendimiento escaso, porque son los elementos que más escasean en la tierra y de los cuales es necesario suministrarlos en las mejores condiciones para que las plantas los puedan absorber y asimilar fácilmente.

Las diferentes plantas, no solamente de un género a otro, sino de una especie a otra, requieren elementos nutritivos diferentes: algunas tienen necesidad de mucho ácido fosfórico, otras de nitrógeno (bajo tal o cual combinación) y otras de potasio o de cualquiera de estos tres elementos combinados de a dos o de los tres simultáneamente; por consiguiente, es necesario establecer las fórmulas de abonos, tener en cuenta las exigencias de la tierra y de las plantas que se cultivan.

En ciertos casos, las exigencias de la tierra y de las plantas con las sustancias nutritivas pueden ser mayores de las cantidades que los vegetales absorben para su nutrición, y esto porque la tierra debe alcanzar un *cierto grado de saturación* de tal o cual sustancia nutritiva para que los vegetales puedan extraer el alimento necesario; prácticamente esto sucede con el ácido fosfórico y con el potasio que se suministra a la tierra, elementos que deben ser agregados repetidas veces para que sus efectos puedan ser apreciados en el crecimiento vegetativo.

¿Cómo podemos fijar las exigencias de los vegetales respecto a sus necesidades vegetativas? El análisis químico de las plantas y la composición físico-química de las tierras nos servirán de base para establecer las necesidades vegetativas de las mismas, con respecto a la falta de tal o cual elemento en la tierra.

Las exigencias de la tierra dependen esencialmente de varias cau-

sas, ya sea de orden físico, químico o bioquímico, que hacen que una tierra sea fértil, medianamente fértil o estéril.

La esterilidad de la tierra depende :

1° De la ausencia o existencia en pequeña cantidad de los elementos nutritivos indispensables para el crecimiento de las plantas, causa que puede provenir no solamente de la calidad natural del terreno sino ser provocada por los cultivos continuos sin que se restituya los elementos retirados por los plantas;

2° Estado poco asimilable de los diferentes elementos indispensables;

3° Poca profundidad del estrato cultivable;

4° Excesiva sequedad o humedad;

5ª Presencia de sustancias nocivas a la vegetación, por ejemplo : sustancias ávidas de oxígeno (S_2Fe , SO_4Fe , etc.) o exceso de ciertas sustancias minerales ($NaCl$) u orgánicas ácidas (tierras turbosas);

6° Exceso de un ingrediente terroso, por ejemplo : exceso de arcilla suministra un terreno duro, compacto impermeable e inadecuado a los cultivos ordinarios.

En resumen, el agricultor debe mantener la fertilidad de la tierra en el grado determinado por cada cultivo para que pueda suministrar abundantes productos y en las mejores condiciones.

Para que el agricultor pueda obtener del suelo el máximo de rendimiento debe recurrir al uso de abonos apropiados, en cantidades tales que se obtenga la fertilidad requerida.

Se puede modificar la fertilidad del terreno, no solamente con medios químicos, sino también se debe recurrir en ciertos casos a medios físicos; la siguiente sinopsis resume los procesos de fertilización :

I. Medios directos que tienden a modificar la fertilidad física de la tierra :

1 ^{er} grupo	{	Trabajos	{	Superficiales
				Profundos.
		Drenaje.		
2 ^o grupo	{	Irrigación.		
		Correctivos	{	Silíceos
				Calcáreos
				Arcillosos
				Humíferos.

II. Medios directos que tienden a modificar la fertilidad química de la tierra :

Abonos	{	Nitrogenados
		Potásicos
		Fosfatados
		Mixtos.

Antes de pasar a considerar los abonos y correctivos, debemos fijar la atención sobre las propiedades generales del suelo desde el punto de vista de la producción y del aprovechamiento económico de los abonos.

Las propiedades físicas, químicas y bioquímicas ejercen una influencia muy notable en el empleo de los abonos, pues determinan las condiciones las más favorables para que las raíces puedan absorber los elementos nutritivos que le ofrece el terreno.

Muy conveniente es conocer las propiedades o condiciones que debe tener un suelo agrícola para obtener buenos resultados de él con el uso de abonos apropiados y no tan sólo de éstos, sino conocer la influencia que ejercen muchas sales o correctivos en las propiedades físicas del suelo que nos servirán de norma para tomar en consideración el empleo de substancias fertilizantes.

Las condiciones que debe reunir un suelo son las siguientes :

1ª Debe ser medianamente tenaz para facilitar la ejecución de los trabajos agrícolas y mantener el estado de mullimiento en que lo puso el laboreo;

2ª Es preciso que sea suficientemente permeable al aire, agua y a las raíces;

3ª Que conserve en toda la estación la conveniente frescura, sin humedad sobreabundante;

4ª Que tenga buen poder absorbente o fijador de abonos para que las lluvias no los arrastren;

5ª Que tenga una composición adecuada de arcilla, caliza y mantillo capaz de preparar los abonos para la asimilación. Si la tenacidad no responde a las necesidades del cultivo (20 a 30 % de arcilla) se le agrega mantillo en cantidad apreciable.

Para mantener la plasticidad de la arcilla para proveer a las constantes exigencias de la alimentación de las plantas en cal y para fijar los abonos y ofrecerlos a las raíces en las mejores condiciones de asimilación, se le agrega al suelo de 1 a 5 por ciento de caliza, según la riqueza en arcilla.

El mantillo debe estar en la proporción de 1,50 a 3 por ciento.

b) CORRECTIVOS Y ABONOS

Si la tierra no posee las propiedades enunciadas anteriormente, es necesario *corregirla* en todo lo posible por medios adecuados; así, se

irriga o se draga, según sea el suelo demasiado seco o demasiado húmedo; se modifica su composición físico-química para procurarle propiedades apropiadas para el crecimiento de los vegetales, es decir, se la enmienda con sustancias convenientes; de esto resulta lo que se entiende por *enmiendas* o *correctivos*, que son los medios de que se vale el agricultor para modificar las propiedades físicas, químicas o fisiológicas del suelo.

Los *abonos* son los alimentos, son las sustancias que se agregan a la tierra para restituir o aumentar la fertilidad de la misma. Son las sustancias las más útiles para las plantas, son las que se encuentran generalmente en menor cantidad en el suelo, las que los vegetales extraen por absorción de sus raíces, o las que, sin ser directamente asimilables, modifican favorablemente la actividad de la tierra.

Sin embargo, con estas dos definiciones no nos es posible establecer una verdadera diferencia entre *correctivos* y *abonos*, porque prácticamente sucede que los correctivos empleados, además de su acción peculiar, ejercen la acción de los abonos, suministrando al mismo tiempo una o varias sustancias nutritivas, y viceversa sucede con los abonos que, además de actuar como fertilizantes, modifican sensiblemente las propiedades físicas y químicas del suelo y aun las bioquímicas, así como sucede con el estiércol y el nitrato de sodio.

¿Cómo modifican las propiedades físico-químicas del suelo?

La acción física de las sales en el terreno es muy marcada y no solamente física sino también química, porque modifican esencialmente las propiedades de reaccionar con los abonos, fijándolos o transformándolos en productos fácil o difícilmente asimilables por las raíces, de modo que es muy interesante considerar estas propiedades antes que pasemos a tratar de los abonos.

La acción de las sales de calcio es la de favorecer el deslizamiento del agua, y por consiguiente la de disminuir la compacticidad de la tierra (cloruro, nitrato, sulfato, superfosfato, bicarbonato cálcico).

El prolongado y abundante empleo del yeso y de los superfosfatos (ricos en CaSO_4) mejoran las propiedades físicas del suelo y los agricultores no tienen necesidad de recurrir al *encalado* o *enmargado* para modificar sus terrenos (con el uso de los superfosfatos).

No solamente las sales de calcio están dotadas de la propiedad de dejar mullida la tierra, sino también las sales de magnesio, las de potasio y de amonio, influyen notablemente en la permeabilidad, aunque cada una en diverso grado.

Así el fosfato potásico modifica apenas la velocidad de deslizamiento

del agua, el cloruro de potasio al 2 por mil la eleva al 1,70; el sulfato y nitrato de potasio en igual concentración a 1,33 y el sulfato de amonio a 1,27.

Mientras que la acción de las sales de sodio es muy distinta, modifican la tierra hasta hacerla algunas veces impermeable.

El Na_2CO_3 al 2 por mil disminuye la velocidad de deslizamiento de 4,600 por ciento con relación al agua destilada, descuaja enérgicamente aun en presencia de sales cálcicas y de la caliza.

Las sales sódicas, al atravesar el suelo, dan por doble descomposición carbonato de sodio a expensas de la caliza y por consiguiente la tierra pierde mucho de su mullido. Una solución de NaNO_3 al 2 por mil disminuye la permeabilidad en un 80 por ciento, una de sulfato de sodio en un 70 por ciento, una de fosfato de sodio en un 82 por ciento y una de sal común la suprime completamente.

Si el NaNO_3 perjudica de tal modo una de las propiedades físicas que debe tener un suelo agrícola, tiende por el contrario, como casi todas las sales, a aumentar la potencia de ascensión capilar del agua, facilitando de este modo la ascensión capilar del agua de las capas profundas.

Puede contrariarse esta influencia en los terrenos arcillosos, sometiendo el suelo a un apisonamiento metódico que disminuye considerablemente la velocidad del transporte del líquido.

c) CARACTERES GENERALES DE LOS ABONOS

Es muy necesario y de suma importancia conocer algunos caracteres generales de los abonos antes que pasemos a describirlos y aconsejar su empleo en el terreno agrario.

El volumen, el grado de humedad, el estado de pulverización y su título o valor en elementos fertilizantes constituyen los caracteres esenciales de todos los abonos.

Volumen. — En los orgánicos el volumen es mayor que los inorgánicos y el abono es más diluido, es decir, que en igualdad de volumen contiene menor cantidad de substancias o elementos útiles para los vegetales. Estos abonos son los constituidos por materias de rechazo o residuos (excrementos, aguas servidas, residuos de industria, de vegetales, etc.), son los menos adaptables para el transporte, deben ser utilizados en el lugar de su producción y además sufren compli-

eadas transformaciones de índole física y bioquímica que en la mayoría de los casos los empobrecen en su valor fertilizante.

Estos abonos voluminosos, ricos en agua y materia orgánica, sirven para constituir la reserva fertilizante del suelo y son utilizados para formar el humus o enriquecer el terreno de esta substancia orgánica compleja (residuos de vegetales).

Para el comercio es conveniente que el volumen de los abonos sea lo más pequeño posible, pues de este modo reduce los gastos de transporte. Existen igualmente abonos orgánicos más concentrados que los húmedos (guanos, sangre, etc.), pero es necesario diluirlos o mezclarlos con otros abonos minerales, pues están desprovisto de estas substancias o las poseen en cantidades pequeñas.

Siempre se aconseja que los abonos tengan el menor volumen posible, porque de este modo los fletes son menores y siempre el agricultor podrá fácilmente distribuirlos en el terreno con menor gasto.

Distribución. — Cuanto más está subdividido el abono en el suelo, tanto mayor será su asimilación por parte de las plantas, porque lo podrán encontrar en cualquier punto del terreno.

Solubilidad. — Cuanto más soluble es el material fertilizante, tanto mayor será su difusión en todos los estratos del terreno agrícola y se obtendrá de este modo una uniformidad en la fertilización.

Pulverización. — El grado de pulverización y la solubilidad constituyen las dos más importantes propiedades de todos los abonos. Si el abono es insoluble, pero finamente pulverizado, se podrá siempre distribuirlo uniformemente, lo que compensará en parte la pérdida o retardo en la asimilación por insolubilidad. Si el abono es soluble, el grado de pulverización activa la asimilación impidiendo que se acumulen en granos gruesos o grumos que son dañinos a la vegetación porque pueden formar soluciones demasiado concentradas.

Modo y época de distribución. — Depende esencialmente de la naturaleza del suelo, de la calidad del abono y de los cultivos que se piensa hacer. No nos corresponde tratar este punto, pues es de índole esencialmente agrológica, y pasaremos ahora a considerar el valor químico o título de un abono, punto muy importante para establecer el valor fertilizante de un abono, sea orgánico o inorgánico, natural o artificial.

Valor de un análisis químico. — Para obtener todo el efecto útil que nos puede ofrecer un abono bajo el punto de vista económico, no nos basta conocer su grado de pulverización, su volumen, su solubilidad, la posibilidad de repartirlo en el suelo, sino que es necesario e impres-

indudable conocer su título en principios fertilizantes, y aun más, no nos es suficiente conocer el total, sino conocer con precisión el estado químico de ellos, bajo cuál combinación se encuentra y cuál es su solubilidad en agua y en otros reactivos aconsejados en cada caso por la química agrícola; porque solamente siguiendo todas estas normas se puede llegar a establecer el verdadero valor de un abono, de lo contrario se tropezará con serios inconvenientes prácticos y pecuniarios.

Así, con un abono nitrogenado debemos efectuar el dosaje del N total y de todos los N al estado de combinación orgánica e inorgánica posible de determinar por vía química, porque cada una de estas combinaciones son asimiladas en diferentes grados o no lo son por los vegetales, como lo ha demostrado la ciencia agrícola con sus experiencias.

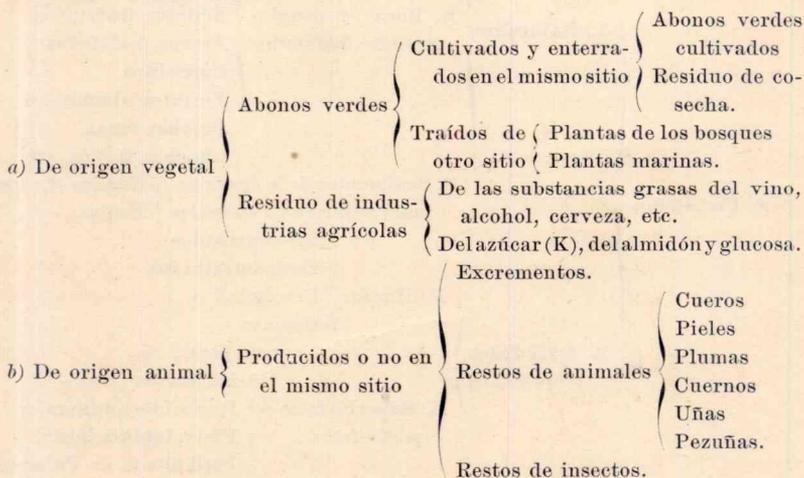
De igual modo podemos hablar de los abonos fosfatados o potásicos, y en los primeros, los fosfatados, es de suma importancia conocer la parte soluble en agua y en soluciones de ácidos orgánicos, etc.

d) CLASIFICACIÓN DE LOS ABONOS

Los abonos pueden ser clasificados en dos grandes ramas según la proveniencia u origen, así se los dividen en *naturales* o *fundamentales* y en *comerciales* o *complementarios*. Cada una de estas dos divisiones admiten subdivisiones de acuerdo con su origen como composición o uso.

La sinopsis siguiente resume de un modo lo más completo y sencillo todas las clases de abonos utilizados en la práctica agrícola.

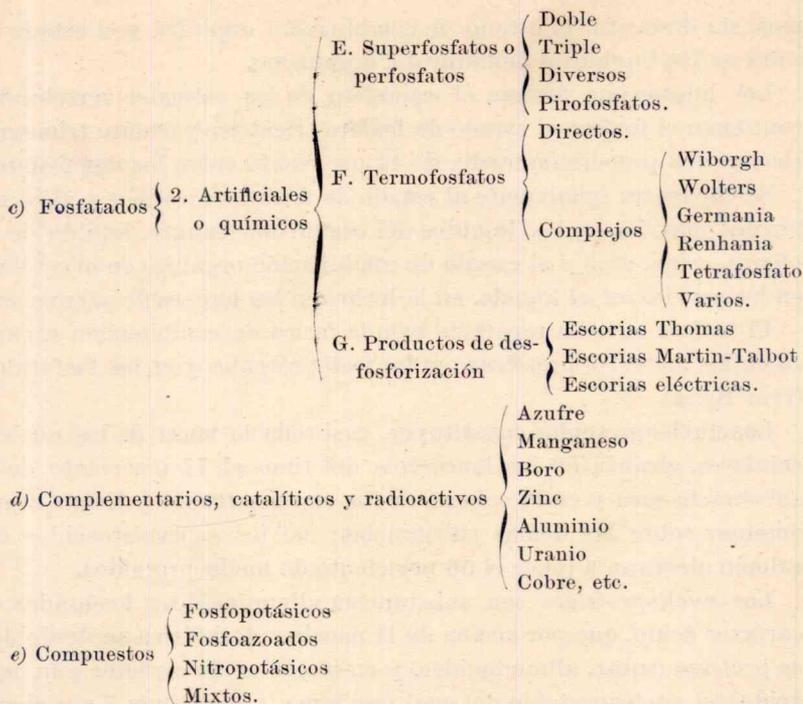
I. Naturales o fundamentales :



- c) De origen mixto {
- | | | |
|------------------------------|---|-------------------------------------|
| Producidos en el mismo sitio | { | Compuestos |
| | | Estiércol |
| | | Yácigas |
| | | Légamos de estanques, lagunas, etc. |
| Traídos de otro sitio | { | Basuras o detritus de ciudades |
| | | Aguas de servicio |
| | | Guanos. |

II. Comerciales o complementarios :

- a) Potásicos {
- Cloruro potasio
 - Sulfato potasio
 - Nitrato potasio
 - Carbonato potasio
 - Sulfocarbonato potasio
 - Kainita
 - Carnalita
 - Rocas y minerales potásicos
 - Cenizas vegetales.
- b) Azoados o nitrogenados {
- | | | |
|----------------------|---|--|
| De origen orgánico | { | Sangre |
| | | Carne desecada |
| De origen inorgánico | { | Substancias albuminóideas. |
| | | Nitratos (Na, K, Ca, NH ₄) |
| | | Sales amoniacaes |
| | | Sal Brukheiser |
| | | Calciocianamida |
| | { | Nitruros. |
- c) Fosfatados {
- | | | | |
|--------------------------------|---|------------------------|-------------------------|
| 1. Naturales | A. Composición química definida y estructura cristalina | { | Apatitas. |
| | | | |
| | B. Rocas y conglomerados fosfatados | { | Fosforitas |
| | | | Fosfatos concrecionados |
| | | | Fosfatos aglomerados |
| | | | Cretas fosfatadas |
| | | | Nódulos fosfatados |
| | | | Arenas fosfatadas |
| | C. Sedimentos de la época actual y residuos de animales | { | Coprolitos |
| | | | Fosfatos aluminicos |
| | | Brechas óseas | |
| | | Conchas fósiles, etc. | |
| 2. Artificiales o químicos | D. Huesos | { | Guanos diversos |
| | | | Huesos. |
| | E. Superfosfatos o perfosfatos | { | Desengrasados |
| | | | Desgelatinizados |
| | | | Precipitados |
| E. Superfosfatos o perfosfatos | { | Cenizas | |
| | | Negro animal, etc. | |
| | | De huesos | |
| | { | De fosfatos minerales | |
| | | Precipitado mineral | |
| | | Precipitado de Palmaer | |



CAPÍTULO II

Estado natural del fósforo

a) EN EL REINO ANIMAL

Siendo el fósforo muy ávido de oxígeno, no puede encontrarse en la naturaleza al estado metaloídico sino solamente se lo encuentra bajo forma de combinaciones inorgánicas al estado de fosfatos alcalinotérreos y de fosfatos metálicos diversos e igualmente bajo la forma de combinaciones orgánicas de composición química aún en parte mal conocidas (lecitinas, fosfatidos, fitinas, proteídos, etc.).

El fósforo se halla repartido en mayor cantidad en el reino mineral (fosfatos) y en menor cantidad en los reinos animal y vegetal.

Tiene mucha importancia en el reino animal, especialmente en los vertebrados, porque constituye la base del esqueleto óseo de los mis-

mos, sin descontar el estado de combinación orgánica y el estado de sales en los líquidos o humores del organismo.

Los huesos que forman el esqueleto de los animales vertebrados contienen el fósforo al estado de fosfato tricálcico y fosfato trimagnésico en una proporción media de 44 por ciento entre los dos fosfatos.

Se encuentra igualmente al estado de fosfatos alcalinos y alcalino-térreos solubles en los líquidos del organismo (sangre, líquido de la pleura, orina, etc.) y al estado de combinación orgánica en el cerebro, en los nervios, en el hígado, en la leche, en los huevos de pájaros, etc.

El fósforo se halla repartido bajo la forma de combinación orgánica en las materias protéicas, en los fosfoproteídos y en los fosfatidos. (Ivar Bang).

Los nucleoproteídos constituyen casi toda la masa de los núcleos celulares, alcanza en los leucocitos del timo el 77 por ciento de la substancia seca y en la cabeza de los espermatozoides llegan a predominar sobre las demás substancias; así los espermatozoides del salmón alcanzan a tener el 96 por ciento de nucleoproteídos.

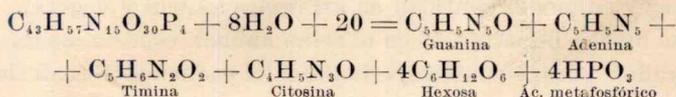
Los *nucleoproteídos* son substancias albuminoideas fosforadas de carácter ácido, que por acción de la pepsina clorhídrica se desdoblán en *proteína* (subst. albuminoidea) y en *nucleína* de carácter aún más ácido del nucleoproteído del cual provienen y contienen 5 por ciento de P_2O_5 bajo la forma de combinación orgánica.

A su vez, la *nucleína* por la acción de los álcalis sufre igualmente un desdoblamiento ulterior en dos productos, *proteína* y *ácidos nucleínicos*, que son los que contienen todo el fósforo de la materia orgánica de origen (8-10 % P_2O_5).

Su composición química es aún mal conocida, Steudel le atribuye la siguiente fórmula: $C_{43}H_{57}N_{15}O_{30}P_4$ y Schmiedeberg $C_{40}H_{56}N_{14}O_{26}P_4$, es decir, que para cuatro átomos de P les corresponden 40-43 de C y 14-15 de N.

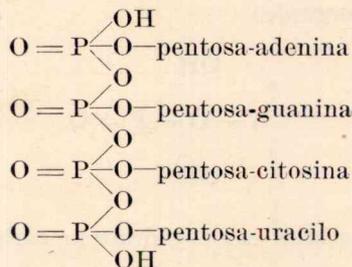
Como no se han podido aislar los ácidos nucleínicos al estado puro y cristalino, el análisis elemental no nos puede dar nunca su composición exacta, ni su constitución, para lo cual se ha recurrido al desdoblamiento hidrolítico de éstos en presencia de ácidos o bases.

Según Steudel, el ácido nucleínico se descompone por hidrólisis en una molécula de guanina, una de adenina, una de timina, una de citosina, cuatro de hexosa y cuatro de ácido metafosfórico.



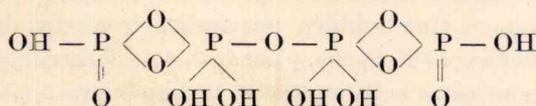
Ivar Bang ha criticado este desdoblamiento, basándose que la hidrólisis da solamente tres de hexosa, pero investigaciones posteriores de Jones y de Steudel comprobaron que se forman cuatro moléculas de substancia reductora.

Levene y Jacobs suponen que la constitución de la molécula del ácido nucleínico de la levadura que da por hidrólisis una molécula de guanina, una de adenina, una de citosina, una de uracilo, cuatro de pentosa y cuatro de ácido metafosfórico, es la que resulta de la unión de cuatro *mononucleótidos* :

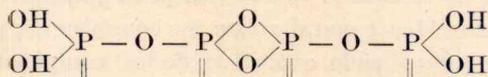


o algunas de sus formas isómeras.

Se supone que en la molécula del ácido nucleínico los cuatro átomos de fósforo se hallan unidos de tal modo que forman un ácido fosfórico condensado del carácter del ácido tetrafosfórico.



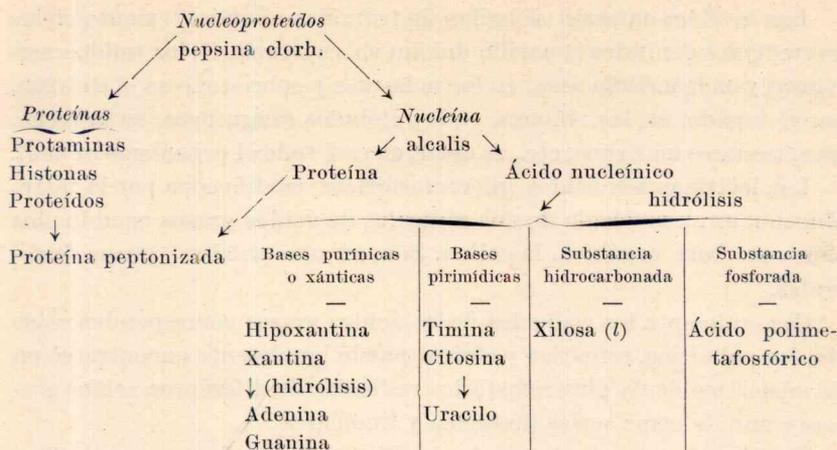
o que se agrupan según la siguiente disposición :



pero todo esto son meras suposiciones, hipótesis más o menos aceptadas sin comprobación alguna.

La unión de las bases purínicas o pirimídicas con el núcleo central es muy lábil, porque los ácidos minerales las extraen en frío mientras dejan el núcleo fosforado intacto.

El carácter netamente ácido de los ácidos nucleínicos demuestra que una parte de los oxhidrilos o todos del ácido fosfórico complejo se hallan libres, lo que les comunica reacción francamente ácida.



A estos productos orgánicos fosforados debemos agregar los *fosfo-proteídos*, conjunto de sustancias albuminóideas que se las denominó impropriamente nucleoalbúminas, paranucleoproteídos, que no tienen nada que ver con las nucleocelulares. Son representadas por la caseína, caseogeno y la vitelina, productos que sometidos a la hidrólisis, no dan bases purínicas, ni pirimídicas, ni tampoco sustancias hidrocarbonadas, solamente que contienen fósforo al estado de combinación orgánica.

La caseína es el producto albuminoideo extraído de las diferentes leches y la vitelina es extraída de la yema de los huevos. Estas sustancias no tienen nada de común con los nucleoproteídos, solamente que ambas tienen los mismos elementos constitutivos esenciales (C, H, O, N y P).

Entre las sustancias grasas del organismo o entre las sustancias que se disuelven en éter, cloroformo, acetona o en otros disolventes orgánicos, se encuentran los llamados *fosfatidos*, nombre dado por Ivar Bang a las *lecitinas* aisladas por la primera vez por Cogley y a los verdaderos *fosfatidos*, que son productos grasos nitrogenados y fosforados análogos a las lecitinas, pero que se diferencian de éstas porque dan por hidrólisis, además de los productos comunes (glicerina, ácidos grasos, ácido fosfórico y colina), una sustancia hidrocarbonada de poder reductor.

De modo que para Ivar Bang las lecitinas serían un caso especial de los fosfatidos y de éstos se han aislado últimamente clases muy variadas y de composición química aún desconocida, solamente se conocen los productos de hidrólisis.

Las *lecitinas animales* se hallan distribuídas abundantemente en las secreciones genitales (amarillo del huevo, esperma), en los tejidos nerviosos y en la médula ósea, en los músculos y sobre todo en el corazón, en el hígado, en los riñones, en los glóbulos sanguíneos, en la leche, pus, tumores malignos, etc., es decir, en casi todo el organismo animal.

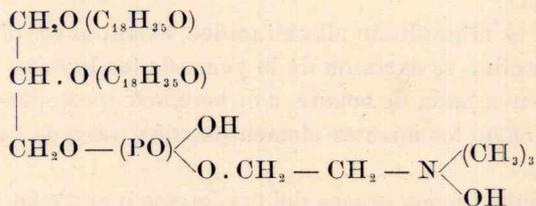
Las lecitinas son ácidos glicerofosfóricos modificados por la introducción en su molécula de dos radicales de ácidos grasos combinados con una base orgánica, la colina. Son, en una palabra, grasas fosforadas.

Generalmente los radicales de los ácidos grasos corresponden a los ácidos palmítico, esteárico y oléico; puede igualmente encontrarse en la misma molécula glicerofosfórica radicales de diferentes ácidos grasos y aun de otras series (linoléica y linolénica).

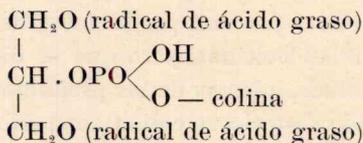
Heubner ha observado que las lecitinas son productos que se descomponen fácilmente y que la lecitina obtenida por precipitación con CdCl_2 , no es lecitina sino un producto de descomposición.

No solamente se han observado estos hechos sino otros, como el que la cantidad de colina obtenida por hidrólisis no es la total y que a su vez ésta sufre una descomposición parcial al ser separada por acción hidrolítica (von Fürth).

Se atribuye a las lecitinas una fórmula química de constitución asimétrica



porque por desdoblamiento hidrolítico se ha obtenido un ácido fosfoglicérico ópticamente activo, mientras que la forma simétrica



no contiene ningún carbono asimétrico.

La unión del ácido con la base no se efectúa por medio del (OH) básico del amonio, sino por el (OH) de la agrupación $(\text{C}_2\text{H}_4\text{OH})$ de la colina, la que nos da un *éter* y no una *sal*.

Generalmente se encuentra en los tejidos y líquidos del organismo animal al estado libre o también asociada con otras sustancias formando cuerpos de constitución compleja aún mal definidos.

Se admite igualmente que existan en el organismo otras clases de lecitinas en las que el P y el N se encuentran en proporción diferente de las lecitinas conocidas (un átomo de P por uno de N) y que se las denominó *fosfatidos* (Thudichunn).

La *cefalina* es uno de los productos clasificados entre los fosfatidos cerebrales y representa un tipo especial de sustancia orgánica fosforada, como también se han encontrado algunos fosfatidos en la bilis, amarillo del huevo y en los músculos, que se diferencian de las lecitinas por el contenido en P y en N. Como por ejemplo :

Las *Jecorinas*, en las que la relación entre el nitrógeno y el fósforo es $N_2 : P$, y que contienen azúcar;

Los *fosfatidos de los músculos*, estudiados por Erlandsen, que contienen el N y el P en la proporción de uno del primero por dos del segundo;

El *fosfatido* ($N_2 : P$) de la yema del huevo y del páncreas del caballo;

La *neotina* es un fosfatido en el que la relación N a P es de 3 a 1;

La *carnanbona*, fosfatido análogo al anterior por la relación del N con el P, pero que se extrajo de los riñones, y otros más que todavía no han sido bien estudiados.

Se admitió en un principio que los compuestos hidrocarbonados se encontraban adsorbidos por las lecitinas y no combinados químicamente.

En resumen, el fósforo en el organismo animal se encuentra al estado de combinación inorgánica y orgánica.

Forma inorgánica	{	$Ca_3(PO_4)_2$ $Mg_3(PO_4)_2$ Fosfatos alcalinos diversos.
Forma orgánica..	{	Nucleoproteídos Fosfoproteídos Substancias grasas fosforadas y nitrogenadas (Lecitinas y Fosfatidos).

b) EN EL REINO VEGETAL

En el reino vegetal se encuentra igualmente repartido como en el animal, pero no constituye esqueleto alguno, sino que se encuentra distribuido en los líquidos vegetales al estado de fosfatos solubles y

al estado de combinación orgánica en un todo análogo a la de los animales, solamente que ciertos productos de hidrólisis o de descomposición son algo diferentes, como lo veremos a continuación.

Los fosfatos tricálcico y trimagnésico no se encuentran en los vegetales, pero sí los fosfatos alcalinos o alcalinotérreos solubles que circulan en la savia, absorbidos por las raíces de alguna de las combinaciones inorgánicas u orgánicas del suelo.

Este fósforo es el que por transformaciones bioquímicas se modifica en las células vegetales en toda la serie de productos orgánicos fosforados de las plantas, análogos a los de los animales.

Entre las combinaciones orgánicas del fósforo podemos citar los *nucleoproteídos*, productos que por acción de la pepsina, álcalis e hidrólisis ácidas dan sustancias análogas e iguales a los nucleoproteídos animales, diferenciándose solamente en los productos finales de hidrólisis; los que nos han servido de base para poder explicar la formación de ciertos principios alcalóidicos o glucósidos. Así, por ejemplo, las bases purínicas o xánticas están representadas por la Guanina ($C_5H_5N_5O$) y la *adenina* ($C_5H_5N_5$) que se supone (porque se ha demostrado con exactitud) se transforman en *xantina* ($C_5H_4N_4O_2$) e *hipoxantina* ($C_5H_4N_4O$), base de ciertos principios alcalóidicos que derivan de estos dos últimos productos, como la *cafeína* ($C_8H_{10}N_4O_2$) o trimetilxantina, la *teofilina* y *teobromina* ($C_7H_8N_4O_2$) o dimetilxantina.

Esta es la única diferencia constatada en la composición química de estos nucleoproteídos, dan igualmente por hidrólisis ácido fosfórico.

A los *fosfoproteídos* se relacionan las nucleoalbúminas vegetales, las fitovitelinas o fitoglobulinas y las fitocaseínas, productos todos que contienen el fósforo al estado de combinación orgánica.

Pero todavía no podemos asegurar que el fósforo forme parte de la molécula proteica o que constituya el material de impurezas de las mismas sustancias extraídas.

Al grupo de las fitovitelinas o fitoglobulinas pertenecen la *gliadina* y la *glutina*.

Parece que los estudios encaminados con el fin de establecer la constitución química de estos compuestos están bien orientados porque se ha podido aislar productos y caracterizarlos perfectamente, que permitirán establecer una base nueva de clasificación de las sustancias albuminoideas vegetales. Así, por ejemplo, la leucina, la arginina, el ácido glutámico han sido aislados y se ha demostrado que forman parte de la molécula proteica vegetal.

Si estas substancias vegetales fosforadas tienen importancia bajo el punto de vista químico y biológico, también lo tienen las lecitinas, las fosfatidos y la fitina, productos estudiados en estos últimos años con mucho suceso científico.

Las lecitinas vegetales como las de origen animal son idénticas en su composición, son substancias parecidas a las substancias grasas por su comportamiento pero que se diferencian de éstas por contener nitrógeno y fósforo en su molécula.

La fórmula de constitución es análoga a la de las lecitinas animales, pueden diferenciarse solamente por contener radicales de ácidos grasos de composición diversa.

Las lecitinas se descomponen por la acción de los ácidos y álcalis diluidos en ácidos grasos, en ácido glicerofosfórico y en colina. Análogamente se descomponen en presencia de una enzima o fermento soluble, la *lecitinasa*, descomposición análoga a la saponificación de las substancias grasas con fijación de tres moléculas de agua.

Las semillas vegetales contienen hasta el 2 por ciento de lecitina. Wingten y Keller determinaron la proporción de N y P de las lecitinas extraídas de los vegetales (semillas de Soja) y los resultados fueron los siguientes :

	N	P
Lecitina de huevo	2,50	3,69
Lecitina de soja (oscura)	1,90	2,96
Lecitina de soja (negra)	1,84	2,51

Parece que no existe ninguna relación entre la cantidad de substancias grasas de las semillas y la lecitina, pero se ha observado que el embrión contiene generalmente el doble que el endosperma.

En la maduración de las semillas aumenta la proporción de lecitina presente, de 0,5 por ciento a 1,23 por ciento, e igualmente aumenta en el período germinativo, pero si se hace la germinización en la obscuridad, la cantidad de lecitina disminuye.

Se encuentra igualmente lecitina en los otros órganos de los vegetales, raíces, hojas, etc.

E. Allaire demostró que el fósforo extraído de los microorganismos, de los bacterios o de los fermentos está ligado a substancias grasas; solamente en el bacilo del cólera vulgar no ha encontrado fósforo, y aunque contenga mayor cantidad de substancias grasas que los demás bacterios estudiados, este microbio contiene clorófila.

Allaire operó sobre cultivos jóvenes compuestos únicamente por

los cuerpos microbianos y reduciendo en lo más mínimo la autólisis (método Nicolle).

Según el autor el fósforo se encuentra al estado de lecitina, y la cantidad de fósforo que contienen las substancias grasas extraídas con acetona y purificadas con cloroformo, son las siguientes :

	PO ₂ H ₂
Bacilo del muermo	8,0 %
Bacilo del cólera de las gallinas . .	7,5
Vibrión del cólera	7,5
Bacilos de Shiga	5,0
<i>Proteus vulgaris</i>	5,0
Bacilo tífico	3,5
— carbunco	3,0
— pseudotuberculoso	2,5
— Friedländer	2,5
— coli	2,5
Levaduras altas	2,0
Bacilo prodigiosus	1,5
— de la Psitacosis	1,5
— de Koch	1,0
— de Löffler	0,5
— <i>Pyocianicus</i>	0,5
— de la Lymphagitis	0,5
— del cólera vulgar	0,0

Parece que la formación de lecitina está íntimamente relacionada con la función clorofiliana.

Hoppe Seyler supuso que la misma clorófila era una lecitina, pero investigaciones recientes han demostrado todo lo contrario.

De los vegetales frescos se extrae una substancia verde oscura soluble en alcohol, éter y benzol, que contiene 3,37 por ciento de fósforo y que se la denominó *clorolecitina*, la que por hidrólisis suministra colina, ácido fosfoglicérico y algunos grupos clorofillicos.

Los *fosfatidos* vegetales constituyen toda una serie de productos grasos fosforados que han sido aislados y caracterizados por E. Schulze y que se diferencian de las lecitinas por la propiedad que poseen de descomponerse por hidrólisis ácida en los productos normales de descomposición de las lecitinas y en substancias azucaradas reductoras (hexosas y pentosas).

Si se extraen las semillas vegetales con éter hasta agotamiento completo de las substancias grasas, pasa en solución una parte de las lecitinas acompañada de otras substancias de carácter graso, que-

dando todavía sin disolver otros productos grasos que son solubles en alcohol y que parecen estar en combinación con alguna otra sustancia albuminoidea.

Estos productos solubles en alcohol hirviendo constituyen los llamados « Fosfatidos », palabra que nos sirve para diferenciar estas sustancias de las verdaderas lecitinas.

Thudichunn fué el primero que los denominó de esta manera y el mismo W. Koch acepta esta denominación, aunque los había llamado con el nombre de *lecitanas* (extraídas del cerebro).

Los fosfatidos extraídos con alcohol y éter parecen ser sustancias de composición más compleja de lo que se creía, se supone sean mezclas de diferentes combinaciones en las que, además de darnos los productos normales de las lecitinas, nos suministran azúcares reductores diversos y otras combinaciones nitrogenadas orgánicas básicas diferentes o parecidas a la colina.

Tampoco se ha podido constatar hasta el presente que sean productos inalterables y tampoco se ha demostrado el estado de estos productos en los tejidos y órganos vegetales y animales.

Winterstein y Stegmann extrajeron de las semillas del *lupinus albus* un fosfatido de composición química siguiente : P = 3,62 %, N = 0,98 % e hidratos carbono 16,61 % (dextrosa), mientras que otros fosfatidos extraídos de las semillas del trigo dieron al análisis químico el siguiente resultado (según Smolenski):

	1	2	3
Fósforo.....	1,88 %	1,57 %	1,57 %
Nitrógeno.....	1,13	3,7	1,0
H. Carbono.....	18,20	9,65	16,6

Bernardini y Chiarulli estudiaron la proporción y relación de la lecitina libre y de la combinada en las semillas de trigo puestas a germinar a la luz y a la obscuridad sin sustancias nutritivas. Los resultados que obtuvieron los resumimos a continuación : 1° En las semillas de trigo la cantidad de lecitina combinada es casi el doble de la lecitina libre ; 2° En la germinación a la luz se obtiene producción de lecitinas y de fosfatidos y la proporción de ambas aumenta según una relación constante igual a las cantidades existentes en las semillas ; 3° La germinación en la obscuridad consume lecitina libre y combinada, de la primera más que de la segunda, de tal modo que la relación entre las dos aumenta cuanto más desarrollado se en-

cuentre el proceso germinativo; 4° La neoformación empieza cuando aparece en el germen la clorófila.

Los fosfatidos pueden ser extraídos con éter del residuo de la evaporación de la solución alcohólica — la evaporación y purificación previa de la solución etérea nos puede suministrar la combinación orgánica fosforada en un estado de mayor o menor pureza.

Según Smolenski, el alcohol disuelve una mezcla de fosfatidos con colessterina y sus esteres libres de ácidos grasos con una pequeña cantidad de otras substancias desconocidas. Si se efectúa la extracción de substancias grasas y lecitinas con acetona y luego se somete el residuo a una extracción con alcohol caliente, éste disuelve los fosfatidos y separa colina, amoníaco, otras bases y probablemente *trigonelina*.

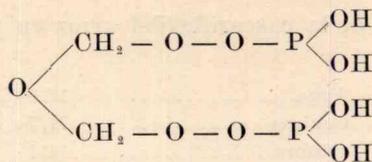
Ulteriores investigaciones del mismo Smolenski sobre los fosfatidos de los gérmenes del trigo aconseja seguir la siguiente marcha de extracción y separación de fosfatidos :

Extracción de substancias grasas con acetona					
Residuo	Extracto acetónico				
Se extrae dos veces con alcohol y esta solución evaporada da una masa aceitosa que es extraída con acetona.	<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center; border-bottom: 1px solid black;">Cristales</td> <td style="text-align: center; border-bottom: 1px solid black;">Aceite</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">P . F = 60° — 62°</td> </tr> </table>	Cristales	Aceite	P . F = 60° — 62°	
Cristales	Aceite				
P . F = 60° — 62°					
Parte soluble da fosfatidos sólidos	Parte insoluble da fosfatidos líquidos				
Por evaporación da productos cristalizados que se tratan con acetona, alcohol y éter.	<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center; border-bottom: 1px solid black;">Cristales : fosfatidos (N° 3)</td> <td style="text-align: center; border-bottom: 1px solid black;">Aceite espeso (N° 4)</td> </tr> </table>	Cristales : fosfatidos (N° 3)	Aceite espeso (N° 4)		
Cristales : fosfatidos (N° 3)	Aceite espeso (N° 4)				
Residuo : fosfatidos (N° 1)	Solución				
<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center; border-bottom: 1px solid black;">Cristales : fosfatidos (N° 2)</td> <td style="text-align: center; border-bottom: 1px solid black;">Solución madre aceitosa</td> </tr> </table>		Cristales : fosfatidos (N° 2)	Solución madre aceitosa		
Cristales : fosfatidos (N° 2)	Solución madre aceitosa				

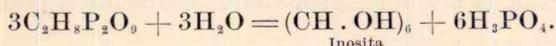
Los fosfatidos número 1 y número 2 obtenidos según el proceso extractivo anterior son iguales y tienen un punto de fusión = 60° — 61°, con un porcentaje de 6,90 por ciento de P y de 2,1 por ciento de substancias reductoras (dextrosa).

El fosfatido número 3 funde a 82-83° y contiene 5,48 por ciento de P y el número 4 contiene solamente pequeñas cantidades de N y de P.

Existe todavía en los vegetales otra substancia orgánica fosforada, la *fitina*, que Posternak creyó que era una sal cálcico-magnésica del ácido anhídrido-oximetilendifosfórico, cuya fórmula bruta sería $C_2H_8P_2O_9$, siendo la de la estructura la siguiente :



Este compuesto fosforado fué encontrado por la primera vez por Pfeffer en el año 1872 y aislado más tarde por Palladin (1894) de las semillas de la *Brassica nigra*. Schulzé y Winterstein, estudiaron el producto aislado por Palladin y constataron que bajo la acción del HCl y en caliente (130-140°) se desdoblaba en ácido fosfórico y en inosita. Posternak no aceptó que la inosita se encontraba preformada y que la formación de este producto no era solamente una simple saponificación de un éter (fitina) sino que, además de la hidrólisis, se producía una condensación de 6(CH . OH) suministrados por tres moléculas de ácido fosfoorgánico de acuerdo con la siguiente ecuación :



Schimper observó que, bajo la influencia de la luz y de la clorófila, los fosfatos minerales absorbidos por las plantas sufren en las hojas, en el período de asimilación clorofiliana, una transformación independiente en moléculas orgánicas sin que participen en nada en la síntesis proteica. Lo que confirmaría los puntos de vista de Baeyer sobre el papel de CH₂O, como estado intermediario de la reducción del CO₂ en el proceso clorofiliano.

Según Posternak, el ácido fosfoorgánico tendría su origen en la reducción clorofiliana, de tal modo que el (CH . OH) que se formaría en las hojas sería utilizado en el mismo momento de su producción por los cloroplastos para efectuar la síntesis de los azúcares, hidratos de carbonos, del ácido anhidro-oximetilendifosfórico y de los albuminoideos y que si en un momento dado, por cualquier causa, este fenómeno no tiene lugar se formaría inosita.

Pero estos conceptos vertidos por Posternak sobre el origen de este compuesto fosforado no tuvieron aceptación en el mundo científico y aun más fueron recientemente considerados como erróneos por las últimas investigaciones de Soave y especialmente de Contardi, quien demostró que la fitina es un éter hexafosfórico de la inosita, resultado de acuerdo con las ideas vertidas anteriormente por Winterstein.

Contardi extrajo de la cascarilla del arroz un producto fosforado que contenía :

Agua.....	16,9 %
Cenizas	71,7
Fósforo.....	14,4

el cual redissuelto en HCl y precipitado con óxido de magnesio tenía la siguiente composición :

Agua.....	12,5 %
Cenizas	66,1
Fósforo	21,8
Calcio.....	13,8
Magnesio.....	8,97

Si se hidrolizan 100 gramos de este producto con SO_4H_2 al 10 por ciento se obtiene 18 gramos de inosita ($P.F = 221^\circ$), mientras que con álcalis, la hidrólisis suministra solamente 4 gramos de inosita.

Descomponiendo la sal básica, correspondiente al producto fosforado de origen, por ácido sulfúrico diluido obtuvo el ácido respectivo ($\text{C}_6\text{H}_{18}\text{P}_6\text{O}_{24}$), que corresponde al éter hexafosfórico de la inosita.

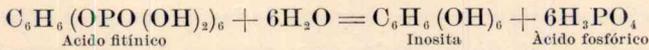
No estando conforme con estas investigaciones, efectuó la síntesis de la fitina calentando en un recipiente adecuado, a $160-165^\circ$ durante ocho horas, una mezcla de 25 gramos de inosita y de 120 gramos de ácido fosfórico ($D = 1,7$).

Extrajo después de diferentes manipulaciones un ácido fosfoorgánico cuyas propiedades físicas y químicas están de acuerdo con el extraído del arroz; lo mismo la sal doble cálcico-magnésica que corresponde en todos sus caracteres al producto extraído. Por consiguiente, no cabe duda que la fitina es un éter hexafosfórico de la inosita.



Suzuki y Joshimura (1907) demostraron que el 85 por ciento del fósforo existente en la cascarilla del arroz se encuentra al estado de fitina y, además, pudieron aislar de una maceración acuosa de arroz

una enzima (fitasa) que tiene la propiedad de desdoblar la fitina en ácido fosfórico e inosita.



K. Geys (1910) aisló igualmente de la cebada un producto fosforado con todas las reacciones de la fitina.

E. B. Hart y W. E. Tottingham (1912) comprobaron que la fitina es muy difundida en la naturaleza y particularmente en las semillas como material de reserva.

Según los mismos autores el 38-48 por ciento del fósforo total se encuentra al estado de combinación fitínica (trigo, avena, cebada, etc.), mientras que en la alfalfa y en la rutabaga no se encuentra fitina, sino que el 17-24 por ciento del fósforo total se encuentra bajo la forma de una combinación orgánica de composición aún desconocida. Lo restante del fósforo se encuentra al estado de sal mineral.

La lecitina no puede desempeñar papel alguno, ni tener relación con el proceso de formación de la fitina, dada la cantidad tan pequeña que existe en las semillas (1-7% P₂O₅ total, según Cöpler, Schulze, Steiger).

En resumen, el fósforo en los tejidos vegetales se encuentra al estado inorgánico y orgánico, predominando en este último estado bajo la forma de combinaciones más o menos químicamente definidas.

La forma de combinación mineral es la de fosfatos alcalinos y alcalinotérreos solubles, asimilados directamente por las raíces o favorecida su absorción por los productos ácidos que secretan. Así tenemos:

Forma inorgánica	{	Fosfatos alcalinos Fosfatos alcalinotérreos.
Forma orgánica..	{	Nucleoproteídos vegetales Fosfoproteídos vegetales Lecitinas vegetales Fosfatidos vegetales Fitina.

e) EN EL REINO MINERAL

Habiendo ya tratado sumariamente el estado del fósforo en las diferentes combinaciones de origen animal y vegetal, nos toca ahora

exponer las múltiples combinaciones de este mismo elemento en el reino mineral.

Las combinaciones minerales del fósforo se hallan repartidas en proporciones variables en la mayoría de las rocas, pero existen en la tierra yacimientos de minerales muy ricos en fosfatos representados por toda una serie de elementos mineralógicos bien estudiados y definidos, en los cuales la riqueza en fosfato alcanza en ciertos ejemplares hasta el 90-98 por ciento (calculado como $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$).

El fósforo, como todos los otros elementos conocidos, existe en la tierra bajo la forma de combinaciones muy diversas. Las rocas eruptivas y primitivas contienen este elemento en pequeña cantidad, así por ejemplo :

Granito	0,1 a 0,2 %
Pórfidos.....	0,05
Esquistos y basaltos	0,5 a 1,0
Gneiss	0,20
Traquitas	0,50
Lavas.....	1,00
Oolitos.....	0,80
Calcáreo jurásico.....	0,90
Calcáreo cretáceo	0,04
Calcáreo metamórfico	0,46

La mayoría de los fosfatos minerales de origen plutónico son constituidos por apatita y algunas veces por vivianita y fluorofosfato de aluminio. Se acepta como teoría la más cierta sobre la formación de estos yacimientos fosfatados, la que se basa sobre la formación de las escorias fosfatadas obtenidas en la desfosforización del hierro por substancias alcalinotérreas.

El fósforo necesario para la vida de los primeros vegetales debe haber sido suministrado por las rocas. En los terrenos correspondientes a la desagregación de las rocas primitivas se encuentra el fósforo en un estado tal de subdivisión que puede ser fácilmente asimilable por las plantas; solamente en los terrenos de la época cámbrica se encuentran los primeros restos de animales, siendo la composición de los terrenos sedimentarios cada vez más compleja.

En las épocas sucesivas, silúrica y devónica, se encuentran los primeros vertebrados y peces; en la carbonífera los anfibios y en la pérmica los reptiles y pájaros. En la época triásica, aparecen los grandes reptiles vertebrados que se desarrollaron mayormente en las épocas o períodos jurásico y cretáceo y es en estos terrenos que se han encontrado los grandes yacimientos de fosfato de cal.

Las deyecciones y los cadáveres de estos animales constituyeron verdaderas montañas de guano que se encuentran ahora en diferentes partes del globo terrestre; estos depósitos de guano han sufrido múltiples transformaciones físico-químicas por la acción del agua (pluvial o subterránea) saturada de CO_2 o conteniendo sales en disolución.

El mayor desarrollo de la vida animal fué alcanzado en la era secundaria — mientras que los ammonitas, braquiópodos, cefalópodos, etc., formaron con sus restos las rocas calcáreas — los sauros, dinosaurios, reptiles y pájaros cubrían los terrenos secundarios con huesos y deyecciones.

Los fenómenos telúricos de la época terciaria en el período eoceno, la disminución de la superficie terrestre por la acción de las aguas y los cambios de temperatura produjeron posiblemente verdaderas emigraciones colosales de los animales marinos y desaparición de éstos por enormes hecatombes desconocidas.

Los restos y deyecciones de estos animales que se depositaron en los lugares donde habitaban o que fueron transportados por las aguas sufrieron modificaciones esenciales por la acción de agentes meteorológicos, se fosilificaron y constituyeron los depósitos fosfatados.

La gran reproducción de los grandes mamíferos en la época terciaria que predominaron en la tierra, debía haber traído consigo un gran desarrollo de los vegetales para permitir su vida, mientras que en los mares, los cefalópodos, los braquiópodos y ammonitas desaparecían para dar lugar a los lamelibranquios y gasterópodos.

Terminó la época terciaria con la desaparición lenta de los grandes mamíferos herbívoros, la que no pudo producir, por consiguiente, fuertes depósitos fosfatados.

La época cuaternaria se caracteriza por la formación de grandes extensiones glaciales producida por la acción de agentes meteorológicos, la que originó cambios bruscos en las condiciones climatéricas de vida que obligaron a los grandes animales a emigrar hacia el sur (hemisferio norte) y a los que debemos los grandes yacimientos encontrados en Carolina, Florida, Tennessee, etc. (E. U. de A.).

En la misma época vivió el hombre primitivo y su contemporáneo el *Ursus spelocus* que habitaban en las cavernas y cuyos restos óseos y los de los animales que cazaban se amontonaron y se empastaron con el limo para formar lo que denominamos hoy con el nombre de *brechas óseas o fosfatadas*.

En la época actual se constata la formación de inmensos depósitos

de guano formados por deyecciones y restos de animales (pájaros ictiófagos) que vivían a orillas de las islas peruvianas.

Estas mismas deyecciones, ricas en nitrógeno y fósforo, sufrieron la acción del agua pluvial y constituyeron los *guanos de roca* cuando se encontraron en presencia de rocas calcáreas — cuando el terreno sobre el cual descansaban era impermeable, los compuestos nitrogenados desaparecían por descomposición reductora al estado de gas nitrógeno, quedando entonces lo que se entiende por *guano fosfatado*, mientras que si el guano no sufrió la acción meteorológica, no experimentó alteración muy profunda, constituyó lo que se denomina ahora con el nombre *guano azoado* o *nitrogenado*.

En resumen, los yacimientos fosfatados se encuentran en las diferentes épocas geológicas y en muchos de ellos se han encontrado impresiones de animales y vegetales y también fósiles con las que se ha podido caracterizar su origen o proveniencia.

Era arcáica	{	Época primitiva : Apatita en formas diferentes. — cámbrica.
Era paleozoica	{	Época silúrica : Fosforitas de Logrosan y de Turjillo en España. Fosforitas de Podolia (Rusia). — devónica : Fosforitas de Lahus. — carbonífera : Yacimientos de Westfalia en Alemania y de Wales en Inglaterra. — pérmica : Coprolitos naturales.
Era mesozoica	{	Época triásica : Brechas óseas en Württemberg, en Suiza y en Lancashire. — jurásica : Fosfatos de Lot, coprolitos de Inglaterra, fosforitas de Baviera y de Alsacia Lorena. — cretácea : Fosfatos de Francia, Bélgica y Palestina. Fosforitas de la Pomerania y de Meklemburgo, de Bedford y de Cambridge y de Cáceres.
Era cenozoica	{	Época terciaria : Coprolitos y fosforitas de Argelia, Florida, Carolina y Tennessee. — cuaternaria : En el <i>Alluvium</i> , guano, cenizas de huesos y huesos. En el <i>Dilluvium</i> , coprolitos y huesos de Redonda, Sombrero, Curaçao, Aruba, Los Rocques, Navassa.

Los fosfatos correspondientes a las cuatro primeras épocas son de origen esencialmente mineral, mientras que los sucesivos, desde la época carbonífera hasta la presente, han sido formados por restos de animales y de vegetales que han vivido en dichas épocas en la superficie de la tierra.

La desagregación de las rocas primitivas y eruptivas por la acción

de los agentes atmosféricos nos ha suministrado una tierra de labranza bastante rica en ácido fosfórico o en fosfatos, cantidad que decrece con los cultivos sucesivos si no se repone la que los vegetales extraen con sus raíces.

Muchos de los yacimientos provienen del transporte mecánico de la apatita de las rocas desagregadas; a menudo substancias orgánicas acompañan a estos depósitos, pero en definitiva el fosfato de cal tiene su origen en las rocas primitivas, porque aunque se hayan encontrado restos de animales que pueden haberlos formado en parte o totalmente, lo han quitado del agua de los mares o de los vegetales, los que a su vez lo han extraído de las capas contemporáneas provenientes de la desagregación de capas más viejas.

Las aguas acidulas por oxidación de las piritas y las aguas cargadas de sales alcalinas, deben haber contribuído grandemente a la formación de estos yacimientos.

La precipitación de los fosfatos disueltos en agua puede efectuarse cuando el CO_2 se desprende, puede igualmente producirse alrededor de ciertos cuerpos: arenas fosfatadas, fosforitas, etc. (Rusia), como también en contacto de carbonato de cal o de sesquióxido de hierro y de aluminio (fosfato de hierro, de aluminio y fosfatos mixtos).

Entre los ejemplares mineralógicos de mayor importancia técnica y agrícola se encuentran los constituídos por fosfato tricálcico más o menos puro (sílice, sulfatos, carbonatos, hierro, aluminio, etc.), le siguen, por orden de valor industrial, los fosfatos de hierro y de aluminio acompañados o no por algún fosfato alcalino o alcalino-térreo.

La *apatita*, de origen esencialmente mineral, se presenta bajo tres variedades bien características (fluo, cloro y mangano-apatita) de suma importancia y valor comercial, como lo son también los fosfatos de origen orgánico constituídos por fosfato tricálcico amorfo, las llamadas *fosforitas*, que generalmente no se componen solamente de la sal tricálcica fosfatada, sino que contienen otros productos minerales, como carbonato calcio, sílice, óxidos de hierro y de aluminio, fluoruros, sales alcalinas y magnésicas, etc.

Entre esta serie de compuestos fosforados se agrupan los *nódulos*, *coprolitos*, los *fosfatos concrecionados* y *aglomerados*, las *cretas* y *arenas fosfatadas*, las *brechas óseas* y las *conchas fósiles*.

La industria química de los abonos transforma todos estos productos en fosfatos asimilables, denominados con el nombre genérico de *superfosfatos* o *perfosfatos*, de fácil asimilación por los vegetales.

A esta serie de compuestos fosforados utilizables por las plantas debemos agregar ciertos ejemplares mineralógicos, que pueden tener aplicación como medios fertilizantes (fosfatos de aluminio, vivianita, vavelita, monacita, etc.), y por último no debemos olvidar los *huesos* ricos en fosfato tricálcico y trimagnésico y los *guanos*, especialmente los fosforados.

CAPÍTULO III

Abonos fosfatados

1. NATURALES

De acuerdo con la clasificación de los abonos fosfatados consideraremos en primer lugar los fosfatos naturales y luego los artificiales o químicos.

Habíamos dividido los fosfatos naturales en tres grandes grupos, los de :

- A. Composición química definida y de estructura cristalina;
- B. Rocas y conglomerados fosfatados;
- C. Sedimentos de la época actual y residuos de animales.

A. Composición química definida y cristalizados

La *apatita* y sus variedades constituye el único ejemplar mineralógico fosfatado que se presenta perfectamente cristalizado en prismas hexagonales con abundantes caras generalmente prismáticas y en forma de tablas, se encuentran también en masas estalactíticas concrecionadas o terrosas, el color varía del blanco grisáceo al gris amarillento. Los cristales son translúcidos, incoloros o de color blanco, azul, gris o violeta, verde claro, amarillo o pardo.

Considerado bajo el punto de vista químico es un fosfato tricálcico acompañado generalmente de fluoruro cálcico (fluoro-apatita o franco-lita) o de cloruro cálcico (cloroapatita) o de manganeso (manganoapatita).

La apatita y los fosfuros metálicos son las dos formas bajo las cuales se encuentra el fósforo en las piedras meteóricas. Contiene 39-41 por ciento de P_2O_5 y 52-54 por ciento de CaO, las cantidades de fluo-

ruros, cloruros, de óxido de hierro y de aluminio, de sílice, etc. varía de un ejemplar a otro, calculando el P_2O_5 en fosfato tricálcico corresponde a una riqueza de 85, 87 y 89 por ciento.

En la naturaleza es considerado como un componente accesorio de las rocas primitivas (sistema Lauréntico) y como sedimento de origen fontingénito de formación la más reciente.

Por analogía con la desfosforización en la industria siderúrgica, se acepta como muy probable que el fósforo se encontrase en el mundo, en tiempo muy remoto, al estado de fosfuro de hierro como mineral originario de las rocas que sirvieron de base a las apatitas y que por acción de la oxidación de estos fosfuros durante los fenómenos eruptivos o por metamorfosis de los mismos, se formaron las apatitas en la costra terrestre aún no solidificada, tal cual sucede en el proceso de desfosforización de la fundición.

Se acepta también como muy probable la acción de las aguas termales provenientes de las profundidades de la tierra que arrastraban consigo el fosfato de calcio y lo depositaban en las grietas de las rocas, ya sea por efecto de la evaporación o de la transformación del fosfato monocálcico en tricálcico (con pérdida de CO_2 de las aguas).

Existen las variedades estalactíticas de apatitas que representan el término de pasaje de los fosfatos minerales a la otra categoría y se presentan generalmente en masas cristalinas en forma de conos o de estratos que presentan planos de clivaje brillantes.

Las apatitas representan el compuesto natural del fósforo más próximo al mineral original de fósforo.

Según Carnot la composición química de ciertas clases de apatitas es la siguiente:

	Otegarden	Canadá	Pensilvania	España (Junilla)	Tirol
$Ca_3(PO_4)_2 \dots$	88,75	88,30	89,74	91,10	90,96
$Mg_3(PO_4)_2 \dots$	0,37	»	»	»	»
$Fe_3(PO_4)_2 \dots$	0,36	2,15	1,14	vest.	0,79
$Fe_2(PO_4)_2 \dots$	»	0,44	»	»	»
$CaF_2 \dots \dots$	1,74	2,59	4,00	7,27	7,41
$CaCl_2 \dots \dots$	8,24	0,52	1,57	0,73	0,06
$Fe_2O_3 \dots \dots$	0,56	»	0,04	»	»
$SiO_2 \dots \dots$	0,14	0,30	0,25	»	0,80
$CaCO_3 \dots \dots$	»	5,23	3,22	»	»

B. Rocas y conglomerados fosfatados

Fosforitas. — Con este nombre se agrupa un cierto número de minerales fosfatados de origen diverso; técnicamente se consideran con este nombre los yacimientos fosfatados que no presentan la forma cristalina y característica de las apatitas, ni la de los coprolitos, de las arenas o guanos.

Esta definición no satisface las exigencias científicas y con este objeto Lacroix (C. R., 1910) propuso el nombre de *colofanita* a los compuestos isótropos de fosfato y de carbonato de calcio y con el de *quercita* (Quercy, región francesa), los que se hallan constituidos por una mezcla íntima de colofanita y de un mineral de composición análoga.

Lo más aceptable es considerar bajo la palabra *fosforitas* los minerales fosfatados de naturaleza sedimentaria y de origen biológico que conservan la estructura originaria.

(Continuará.)

ORSINI F. F. NICOLA.