

cambios de amoniaco entre la atmósfera y la tierra vegetal, resulta que el suelo no cede á la atmósfera el amoniaco que ha fijado. La tierra vegetal toma el amoniaco y no lo cede. Esta absorción del amoniaco del aire por el suelo es originada por las diferencias de tensión amoniacal entre las tierras y la atmósfera. El estudio de estas relaciones de tensión entre estos dos medios ha permitido á Schloësing, por experiencias decisivas, fijar el sentido general de los cambios de amoniaco y demostrar que van del aire á la tierra y no de la tierra al aire.

En esta absorción de amoniaco aéreo por el suelo hay que establecer una distinción entre la tierra seca y la tierra húmeda. La primera pierde absolutamente la propiedad de nitrificarse; el amoniaco que absorbe no se transforma. Debido á esto, la absorción de amoniaco aéreo por una tierra seca preservada de la lluvia está necesariamente limitada por el equilibrio de tensión. No sucede lo mismo en las tierras húmedas, cuando ofrecen además las condiciones requeridas para la nitrificación. El amoniaco es incesantemente transformado en nitratos; el equilibrio de tensión no puede establecerse y la tierra permanece en estado de absorber constantemente el amoniaco del aire. La absorción está, por consiguiente, subordinada á la rapidez de la nitrificación. Los nitratos pueden, por lo demás, acumularse en una tierra sin dificultar la continuación del fenómeno.

Resulta de lo expuesto que la tierra vegetal absorbe el amoniaco del aire y no lo cede. La exhalación de amoniaco durante la sequía es, pues, un error. La facultad que las tierras tienen de absorber el amoniaco varía con sus propiedades físico-químicas.

*Circulación del amoniaco en la superficie del globo.*—Sabemos ya: 1.º, que el amoniaco del aire es absorbido directamente por el suelo; 2.º, que el amoniaco existente en la atmósfera, así como el ácido nítrico, es arrastrado al suelo por los meteoros acuosos, y 3.º, que el suelo posee gran facultad absorbente para el amoniaco. El amoniaco retenido por el suelo, bien lo haya éste absorbido directamente del aire ó le haya sido llevado por los meteoros acuosos, así como el que procede de la descomposición de las materias orgánicas nitrogenadas, puede ser absorbido por las plantas; pero si persiste en el suelo en esa forma, es al poco tiempo transformado en ácido nítrico y nitratos, es decir, se nitrifica.

El suelo, que posee gran propiedad absorbente para el amoniaco, no la tiene para los nitratos; éstos, si no son absorbidos en seguida por las plantas, son arrastrados por las aguas y conducidos al mar. Los nitratos acarreados al mar son, según Schloësing, reducidos en este medio tan poco oxigenado, y transformados parcialmente en amoniaco que, evaporándose con el agua, pasa á la atmósfera y es transportado por los vientos para ser fijado directamente por las plantas ó por el suelo, ó indirectamente por éste arrastrado por los meteoros acuosos. El paso del amoniaco de los mares á la atmósfera se verifica, como el del aire al suelo, en virtud de la diferencia de tensión del amoniaco en estos dos medios.

Estas consideraciones permiten admitir, según Schloësing, *una circulación de ácido nítrico y de nitratos de los continentes á los mares, y otra de amoniaco de los mares a los continentes.*

La idea de que el mar sea una fuente permanente de amoniaco la ha emitido Schloësing para explicar la persistencia del amoniaco en el seno de la atmósfera á pesar del consumo que de este cuerpo se hace en los continentes, consumo debido, según Schloësing, á la absorción verificada por las plantas y por el suelo.

Para Berthelot, esta teoría de Schloësing sobre la circulación del amoniaco en la superficie del globo, si es hipótesis ingeniosísima, no pasa de la categoría de bella conjetura.

Sea lo que quiera de dicha teoría, dice Schloësing hijo, es indudable que el mar contiene una cantidad considerable de amoniaco que no puede dejar de intervenir en la que se encuentra en el seno de la atmósfera.

*El nitrógeno del suelo.*—La tierra vegetal contiene varias fuentes de nitrógeno de donde toman este elemento los vegetales: los nitratos, las sales amoniacales y la materia orgánica nitrogenada. El nitrógeno se halla, por consiguiente, en el suelo en tres estados diversos: al estado de ácido nítrico (en los nitratos), al estado de amoniaco (en las sales amoniacales) y al estado de nitrógeno orgánico (en las materias orgánicas nitrogenadas).

El nitrógeno nítrico, y por consiguiente los nitratos, pueden ser absorbidos directamente por las raíces.

El nitrógeno amoniacal, y por tanto las sales amoniacales, pueden igualmente ser utilizados directamente por las plantas.

El nitrógeno orgánico, que entra en la constitución de las ma-

terias orgánicas nitrogenadas, no es absorbido directamente, tiene que transformarse antes en nitrógeno amoniacal ó en nitrógeno nítrico.

Examinaremos sucesivamente estas tres diferentes formas del nitrógeno.

*El nitrógeno orgánico.*—La mayor parte del nitrógeno combinado del suelo (próximamente los 98/100) se halla al estado de combinación orgánica, es decir, formando parte de las materias orgánicas nitrogenadas. Este nitrógeno que entra en la constitución de las materias orgánicas, no es, como hemos dicho, asimilado directamente. La materia orgánica tiene antes que descomponerse y transformarse su nitrógeno en amoniaco. El amoniaco así producido es utilizado directamente por la planta ó transformado en nitratos, forma la más perfecta para la alimentación nitrogenada de los vegetales.

La materia orgánica nitrogenada del suelo es, según se acaba de ver, una fuente lenta de nitrógeno para las plantas. A esta circunstancia se debe las propiedades altamente fertilizantes del estiércol.

Si la transformación de la materia nitrogenada es muy lenta, el nitrógeno suministrado á los cultivos será insuficiente y la tierra será poco fértil. Si la transformación es rápida, los alimentos nitrogenados serán abundantes, pero se podrá temer un agotamiento rápido de la riqueza nitrogenada del suelo.

*El nitrógeno amoniacal.*—El amoniaco del suelo procede de tres orígenes distintos: la atmósfera, la materia orgánica y los abonos amoniacales.

Hemos visto que el amoniaco atmosférico es arrastrado al suelo por los meteoros acuosos, y que el suelo absorbe directamente el amoniaco del aire. También sabemos que el amoniaco es uno de los productos de la descomposición que sufre la materia orgánica nitrogenada. El amoniaco procedente de estos dos orígenes se une al ácido carbónico para formar carbonato de amoniaco, que permanece fijado por el suelo en virtud del poder absorbente que la tierra posee para el amoniaco. El amoniaco retenido por el suelo puede ser absorbido directamente por las plantas; pero si persiste en el suelo, parece que al poco tiempo es transformado en ácido nítrico y nitratos.

Las sales amoniacales son también absorbidas directamente ó, de lo contrario, transformadas en nitratos.

Puesto que el amoniaco se transforma rápidamente en nitratos, algunos agrónomos han creído que las sales amoniacales no son utilizadas por las plantas hasta que se convierten en nitratos, ó lo que es igual, que la eficacia de los abonos amoniacales no se debe al amoniaco que contienen, sino á los nitratos á que éste da origen. Las experiencias de Müntz han demostrado que el amoniaco es directamente utilizado por los vegetales y que las sales amoniacales producen, á dosis igual de nitrógeno, con poca diferencia los mismos efectos que los nitratos.

*El nitrógeno nítrico.*—Desde hace mucho tiempo se sabe que el suelo contiene con frecuencia nitratos. En ciertas comarcas la producción de los nitratos se verifica con una intensidad excepcional: en la India, en la América del Sur y en España, el nitrato de potasa se produce en abundancia en la superficie de los campos en forma de eflorescencias blancas cristalinas; en el Perú existen inmensos yacimientos de nitrato de sosa. En las fosas, en las grutas, en los muros húmedos y en los establos se ve también aparecer las eflorescencias nitrosas. El agua de los pozos contiene á veces nitratos.

En el seno de la tierra vegetal, la nitrificación se verifica habitualmente con bastante menos intensidad que en las circunstancias extraordinarias antes citadas, pero tiene lugar de una manera casi permanente, dando origen á nitratos de cal y de sosa que por ser delicuescentes no pueden hacerse visibles en forma de eflorescencias.

Hasta hace poco tiempo no se daba ninguna importancia á los nitratos del suelo. Al comienzo de este siglo se creía, y Liebig profesó largo tiempo esta doctrina, que sólo el amoniaco es capaz de proporcionar el nitrógeno á las plantas. Pero las experiencias de Ville, Cloëz, Prouts, Pusey, Kuhlmann y sobre todo las de Boussingault, han demostrado de la manera más palmaria que se puede asegurar la nutrición nitrogenada de los vegetales con el empleo exclusivo de los nitratos (sin intervención de la materia orgánica ó del amoniaco). Es más, el nitrato es la forma más perfecta para la asimilación del nitrógeno. En una larga é importante serie de experiencias Hellriegel y Wilfarth, cultivando gramíneas en la arena adicionada de dosis variadas de nitrato de cal, han obtenido cosechas en que los pesos eran sensiblemente proporcionales á las cantidades de nitratos empleadas.

*Producción de los nitratos.—La nitrificación natural.*—Durante algún tiempo se creyó que los nitratos existentes en el suelo eran el resultado de la combinación directa del nitrógeno gaseoso del aire con el oxígeno, bajo la influencia de los álcalis y de la humedad del suelo. Las investigaciones de Boussingault y de Schloësing han demostrado la inexactitud de esta opinión.

Trabajos más recientes debidos á Schloësing, Müntz, Warrington, Deherain y Maquenne han establecido con toda precisión las diversas condiciones de la producción de los nitratos en el suelo. Los nitratos se producen en el suelo á expensas del amoníaco ó de las sales amoniacales, por una oxidación especial de estas materias que transforma el amoníaco en ácido nítrico, el cual se combina con las bases del suelo para formar nitratos.

La conversión del amoníaco en ácido nítrico se verifica por la acción de un microbio especial (el *Micrococcus nitrificans*) que ha recibido el nombre de *fermento nítrico*. Este fermento se encuentra siempre en la tierra vegetal y es muy semejante al fermento que produce el vinagre (el *Mycoderma aceti*). El fermento nítrico, colocado en un medio nutritivo conveniente, fija el oxígeno del aire sobre el amoníaco, originando ácido nítrico, que forma nitratos con los álcalis del suelo. Por un mecanismo análogo el fermento acético ó del vinagre fija el oxígeno sobre el alcohol, produciendo el ácido acético.

A la transformación del amoníaco en ácido nítrico y nitratos se da el nombre de *nitrificación*. El *Micrococcus nitrificans* es, pues, el agente de la nitrificación de los suelos.

La nitrificación no es, según acabamos de ver, un fenómeno químico, una simple oxidación del nitrógeno; es un acto fisiológico ligado á la presencia de organismos inferiores.

El amoníaco necesario para que la nitrificación tenga lugar puede proceder: del absorbido directamente del aire por el suelo, del que ha sido llevado al suelo por los meteoros acuosos, de los abonos amoniacales y, principalmente, de la descomposición de las materias orgánicas nitrogenadas del suelo.

*Condiciones de la nitrificación.*—Para que la nitrificación se verifique, ó lo que es igual, para que los nitratos se formen á expensas del amoníaco del suelo, es necesario:

1.º Que la tierra arable sea rica en sustancias nitrificables, es decir, en amoníaco, ó por lo menos en materias orgánicas nitro-

genadas capaces de suministrar amoníaco por su transformación.

2.º Presencia del oxígeno. El oxígeno es manifiestamente necesario para la nitrificación, que es una verdadera combustión del nitrógeno combinado. Por eso es preciso, para que la nitrificación tenga lugar, que el aire penetre bien á través del suelo, lo que exige que éste sea muy permeable y esté bien mullido. En las tierras ligeras, donde el aire circula fácilmente, la nitrificación es rápida, los estiércoles se consumen muy pronto. En los suelos arcillosos, mucho menos permeables, el fenómeno se produce con lentitud.

3.º Ligera alcalinidad del medio. La nitrificación no se verifica en las tierras ácidas (tierras de brezo); solamente tiene lugar en un medio *ligeramente* alcalino. Los fermentos de la nitrificación, como otros fermentos, viven mal y su actividad se atenúa en un medio que contenga en cantidad sensible los productos que han formado. Para que la obra de los microbios de la nitrificación continúe con toda actividad es necesario, por lo mismo, que los ácidos originados por estos fermentos encuentren una base capaz de saturarlos á medida que se producen. Por eso la nitrificación no es abundante más que en las tierras que contienen cierta cantidad de caliza que satura los ácidos producidos. En cambio la nitrificación no se verifica en las tierras privadas de caliza, aunque sean muy ricas en materia orgánica; tal sucede en ciertos suelos graníticos, y en las tierras ácidas (tierras de brezo, tierras turbosas), que pueden contener á veces 10 por 100 de nitrógeno orgánico, rico capital que permanece casi improductivo. De aquí la gran utilidad de la adición de enmiendas calcáreas á estas tierras.

La nitrificación se suspende, sin embargo, inmediatamente después de la adición de la cal cáustica á las tierras; el agua de cal constituye un medio demasiado alcalino para que los fermentos nítricos prosperen en él; pero muy rápidamente la cal se une al ácido carbónico del aire, la causticidad desaparece, los nitratos se forman con regularidad y el suelo se hace fértil.

4.º Cierta dosis de humedad. Para una misma tierra, la intensidad de la nitrificación crece con el grado de humedad, á condición, por supuesto, de que la tierra no llegue á encharcarse y sea difícil la circulación del aire. Las tierras secas no se nitrifican.

5.º Una temperatura determinada. La nitrificación es casi nula á 5º, adquiere su máximum de intensidad á 37º y cesa á 55º. Hacia los 100º mueren los fermentes nitrificadores.

Durante el invierno, por consiguiente, el suelo se nitrifica muy poco; se puede, pues, sin gran inconveniente, proporcionar á las tierras antes del invierno los abonos orgánicos y lo mismo los amoniacales, porque como la nitrificación no tendrá lugar hasta la primavera, es decir, cuando comienza la actividad vegetativa, las lluvias invernales arrastrarán, cuando más, las pequeñas cantidades de nitratos que en esa época se producen, y las pérdidas de nitrógeno ocasionadas serán poco importantes.

6.º Es indispensable que la tierra contenga los fermentos de la nitrificación. Esta necesidad ha sido demostrada por las experiencias de Schloësing y Müntz. Estos sabios han observado que la tierra cesa de nitrificarse cuando los microbios son anestesiados por el cloroformo ó muertos por la calcinación del suelo, y que para restablecer el fenómeno basta introducir en el terreno una pequeña cantidad de tierra fresca que contenga el fermento.

*El fermento nitroso y el fermento nítrico.*—Según los trabajos más recientes, la nitrificación no es un fenómeno tan sencillo como se había creído. Parece fuera de duda por las experiencias de Warrington, Mr. Frankland y Mme. Frankland, Müntz y Winogradsky que la nitrificación comprende dos períodos, cada uno de los cuales es obra de un microbio distinto. En el primer período, el amoniaco se transforma en ácido nitroso y nitritos, por la influencia de un microbio que se puede llamar *fermento nitroso*. Los nitritos formados en este primer estado de la nitrificación son enseguida convertidos en nitratos, por la influencia de otro microbio que es el que merece verdaderamente el nombre de *fermento nítrico*.

*Reducción de los nitratos.*—En las tierras puede también tener lugar el fenómeno inverso de la nitrificación.

Si disminuyendo cada vez más la proporción de oxígeno que contiene la atmósfera confinada en el suelo, se llega á privarla completamente de este gas, el suelo, de oxidante que era, se convierte en un medio *reductor* que destruye los nitratos. Según las experiencias de Schloësing, por la influencia de esta atmósfera desoxigenada, los nitratos empleados como abonos y los procedentes de la nitrificación se reducen, dando lugar á la formación

de una débil cantidad de amoniaco, que es retenido por el suelo en virtud de su poder absorbente; el resto del nitrógeno del ácido nítrico pasa al estado gaseoso, se va á la atmósfera y no es, por tanto, utilizado por los vegetales.

De los recientes trabajos de Gayón y Dupetit resulta que esta desnitrificación ó reducción de los nitratos del suelo es un fenómeno fisiológico, la obra de un fermento, el *bacillus denitrificans*. Este microbio es *anaerobio*, no puede vivir, por consiguiente, en contacto del aire, y se apodera del oxígeno del ácido nítrico para quemar su carbono; las materias orgánicas del suelo bastan á la nutrición de este organismo microscópico. Los microbios de la nitrificación son, por el contrario, *aerobios*, viven en contacto del aire, de cuyo oxígeno se apoderan, como hemos visto, para oxidar el amoniaco y convertirlo en ácido nítrico.

Del conocimiento de las condiciones en que viven estos organismos microscópicos se desprende que, siendo anaerobio el fermento de la desnitrificación, la reducción de los nitratos empleados como abonos ó formados por la nitrificación no es de temer en una tierra bien cultivada, labrada con frecuencia, suelta y bien aireada, porque el oxígeno penetra bastante profundamente para impedir que estos microbios se desenvuelvan y ejerzan su perjudicial influencia reductora. Por el contrario, en un suelo de estas condiciones el microbio de la nitrificación, que es aerobio, se desarrollará perfectamente y la formación de los nitratos á expensas del amoniaco podrá tener lugar con facilidad.

Pero si la tierra está cubierta de agua ó simplemente impregnada de humedad, el aire no circula libremente, y los fenómenos de la reducción de los nitratos no tardan en verificarse, especialmente con la temperatura del verano. La naturaleza del suelo, su composición química, los gérmenes que contenga, influyen naturalmente en la rapidez y en la naturaleza de la reacción.

El conocimiento de estos hechos debe servir de guía al agricultor en el empleo de los nitratos como materias fertilizantes; teniendo en cuenta que estos abonos se descomponen en los medios no aireados, se evitará el inconveniente que resulta de aplicarlos en tierras muy húmedas ó muy compactas.

*Las fuentes del nitrógeno.*—Lo expuesto hasta aquí nos permite establecer de qué fuentes directas ó intermedias toman las plantas el nitrógeno necesario para la elaboración de sus principios in-

mediatos, que es el fin perseguido en la rápida exposición que acabamos de hacer acerca del origen y asimilación del nitrógeno de los vegetales.

Hemos visto que los vegetales toman el nitrógeno:

1.º Del nitrógeno libre, del amoníaco y del ácido nítrico de la atmósfera; directamente del amoníaco, y por intermedio del suelo de los tres.

2.º De los nitratos, de las sales amoniacales y de la materia orgánica nitrogenada que el suelo contiene. Los nitratos son absorbidos directamente por la planta; las sales amoniacales son también absorbidas directamente ó, de lo contrario, transformadas en nitratos; el nitrógeno de la materia orgánica no es absorbido directamente, tiene que transformarse antes en amoníaco ó en ácido nítrico.

Aunque los nitratos, las sales amoniacales y la materia orgánica del suelo pueden proporcionar, directa ó indirectamente, el nitrógeno á las plantas, no pueden considerarse como fuentes primeras, sino como fuentes intermedias de nitrógeno para la vegetación. Las fuentes primordiales del nitrógeno indispensable á la vida de las plantas son: el nitrógeno libre, el amoníaco y el ácido nítrico del aire.

*El nitrógeno de las cosechas.*—Los vegetales, hemos dicho, toman el nitrógeno del aire y del suelo. Conviene, sin embargo, tener en cuenta que en lo que se refiere á la asimilación del nitrógeno, las diferentes plantas cultivadas se conducen de muy distinta manera respecto de los dos medios de donde toman el alimento. Las leguminosas y otros vegetales de abundante follaje toman principalmente de la atmósfera el nitrógeno necesario para su desenvolvimiento y pueden prosperar en tierras desprovistas de este elemento. Los cereales y la mayor parte de las plantas cultivadas toman de preferencia el nitrógeno del suelo, y para dar cosechas abundantes necesitan encontrar en el terreno, además de los otros elementos nutritivos, notable proporción de materias nitrogenadas. Se sigue de aquí que el nitrógeno atmosférico no basta, por lo general, para satisfacer las exigencias de las plantas cultivadas, y que el agricultor debe, en la mayor parte de los casos, añadir al suelo el alimento nitrogenado, bien en forma de nitratos y de sales amoniacales para que sean absorbidos directamente por las raíces, bien al estado de materia orgánica para que al descompo-

nerse proporcione á las plantas el amoníaco y el ácido nítrico, que son formas asimilables del nitrógeno.

*Resumen y conclusiones.*—Del estudio que hemos hecho acerca del origen, fuentes y asimilación del nitrógeno de los vegetales, se deducen las siguientes conclusiones que resumen el estado de nuestros conocimientos sobre la cuestión.

Las plantas toman el nitrógeno de la atmósfera y del suelo. La atmósfera contiene cantidad inmensa de nitrógeno libre, además de pequeñas proporciones de amoníaco y de ácido nítrico.

El nitrógeno libre del aire no es absorbido directamente por los vegetales.

El suelo fija el nitrógeno libre del aire, gracias á la intervención de microbios especiales. Esta fijación tiene lugar así en las tierras cultivadas como en las desprovistas de vegetación. En el cultivo de las leguminosas la fijación del nitrógeno se verifica no solamente en el suelo, sino en las raíces mismas, por la influencia de microbios parásitos de estas raíces. Esta fijación es, en efecto, correlativa de la existencia en las raíces de las leguminosas de nudosidades especiales que contienen gran número de microbios.

Las aguas meteóricas arrastran al suelo el amoníaco y el ácido nítrico del aire, pero la cantidad de nitrógeno que llega al suelo por este medio es insuficiente para explicar la existencia de la vegetación espontánea.

El amoníaco del aire puede ser absorbido por las raíces y por las hojas; parte considerable del nitrógeno de las cosechas procede del amoníaco absorbido por las hojas.

El amoníaco aéreo es también fijado por el suelo. Aunque la absorción del amoníaco por las tierras no basta para suministrar todo el nitrógeno de las fuertes cosechas, constituye por lo menos una fuente no despreciable de dicho elemento nutritivo. El amoníaco aéreo fijado por el suelo ó el que proviene de la descomposición de las materias orgánicas no se marcha por volatilización: la tierra absorbe incesantemente amoníaco del aire, pero no lo restituye directamente á la atmósfera.

El amoníaco retenido por el suelo puede ser absorbido por las plantas; pero, si persiste en el suelo en esa forma, es al poco tiempo transformado en ácido nítrico y nitratos. El suelo, que posee gran propiedad absorbente para el amoníaco, no la tiene para los nitratos: éstos, si no son absorbidos en seguida por la

planta, son arrastrados por las aguas al mar; allí son reducidos y transformados parcialmente en amoniaco que, evaporándose con el agua, pasa á la atmósfera y es transportado por los vientos para ser fijado directamente por las plantas ó por el suelo, ó indirectamente por éste arrastrado por los meteoros acuosos. El paso del amoniaco de los mares á la atmósfera y del aire al suelo se verifica en virtud de la diferencia de tensión del amoniaco en estos diversos medios. La *circulación* del amoniaco en la superficie del globo se explica, pues, de una manera satisfactoria por las leyes fisico-químicas.

El suelo contiene varias fuentes de nitrógeno: los nitratos, las sales amoniacales y la materia orgánica nitrogenada.

Los nitratos pueden ser absorbidos directamente por las plantas.

Las sales amoniacales pueden igualmente ser utilizadas directamente ó, de lo contrario, transformadas en nitratos.

El nitrógeno de la materia orgánica no es absorbido directamente. La materia orgánica tiene antes que descomponerse, y transformarse su nitrógeno en amoniaco. El amoniaco así producido será absorbido directamente por la planta ó transformado en ácido nítrico y nitratos igualmente absorbibles.

La *nitrificación*, ó formación de los nitratos en el suelo, se verifica á expensas del amoniaco ó de las sales amoniacales por una oxidación especial de estas materias. El fenómeno comprende dos períodos, cada uno de los cuales es obra de un microbio distinto. En el primer período, el amoniaco se transforma en ácido nitroso y nitritos, por la influencia de un microbio denominado *fermento nitroso*. Los nitritos formados en este primer período son en seguida convertidos en nitratos por la influencia de otro microbio que ha merecido el nombre de *fermento nítrico*.

En el suelo puede tener también lugar el fenómeno inverso de la nitrificación. Los nitratos, en las tierras poco aireadas, pueden ser reducidos y transformados, en su mayor parte, en nitrógeno gaseoso que se va á la atmósfera y es perdido para la vegetación. Esta *desnitrificación* es producida por la acción de un microbio que se apodera del oxígeno de los nitratos. Del conocimiento de estos fenómenos se desprende que los nitratos no deben aplicarse á las tierras muy húmedas ó muy compactas, donde el aire circula difícilmente.

Las plantas toman el nitrógeno:

1.º Del nitrógeno libre, del amoniaco y del ácido nítrico de la atmósfera; directamente del amoniaco, y por el intermedio del suelo de los tres.

2.º De los nitratos, de las sales amoniacales y de la materia orgánica nitrogenada que el suelo contiene.

Los nitratos, las sales amoniacales y la materia orgánica del suelo deben considerarse como fuentes intermedias de nitrógeno para la vegetación. Las fuentes primordiales del nitrógeno asimilable capaz de entretener la vida de las plantas, y por consiguiente la de los animales, en la superficie del globo son: el nitrógeno libre, el amoniaco y el ácido nítrico del aire.

Las leguminosas y otros vegetales de abundante follaje toman principalmente el nitrógeno de la atmósfera, y prosperan en terrenos desprovistos de este elemento; los cereales y la mayoría de las plantas cultivadas toman de preferencia el nitrógeno del suelo, y para dar cosechas abundantes necesitan encontrar en el terreno notable proporción de materias nitrogenadas. El agricultor debe, pues, en la mayor parte de los casos añadir al suelo el alimento nitrogenado, bien en forma de nitratos, de sales amoniacales ó de materia orgánica.

**Origen y forma asimilable de los elementos fijos ó minerales.**—Las plantas toman exclusivamente del suelo los elementos nutritivos que se hallan en las cenizas. Los elementos nutritivos minerales son ordinariamente absorbidos en forma de sal, y aunque se dice que el fósforo es absorbido en forma de ácido fosfórico, el potasio al estado de potasa, el azufre al estado de ácido sulfúrico, es en realidad en forma de fosfato, de sulfato, etc., como estos elementos penetran en la raíz. Veamos cuál es el origen y la forma asimilable de cada uno de estos elementos.

**Fósforo.**—El fósforo es un alimento indispensable para la existencia y desarrollo de todo ser viviente, planta ó animal. Los animales no podrían proporcionárselo si no entrase en la composición de sus alimentos, encontrándolo especialmente acumulado en proporciones relativamente notables en las semillas de todas las plantas. La naturaleza vegetal está completamente penetrada de ácido fosfórico y de los vegetales toman el hombre y los animales el ácido fosfórico que entra en la composición de sus

órganos, principalmente en los huesos. Las plantas toman el fósforo del suelo, y la falta de esta sustancia en el terreno, más que la de ninguna otra, hace imposible el desarrollo de las especies vegetales.

El fósforo se halla constantemente asociado á las materias albuminoideas de la planta; su presencia, en notable cantidad, al lado del gluten en las semillas de los cereales, en la legumina de las legumbres, demuestra la importancia de este elemento. Según Mayer y Boussingault, existe constantemente una relación notable entre las materias albuminoideas y el ácido fosfórico que contienen las semillas. A un aumento en ácido fosfórico corresponde un aumento en materias albuminoideas.

El fósforo es asimilado bajo la forma de ácido fosfórico, cualquiera que sea la sal.

**Azufre.**—Es, como el fósforo, elemento constitutivo de las materias albuminoideas. Es asimilado en forma de ácido sulfúrico, cualquiera que sea la sal; si está en exceso, determina, como el fósforo, la acumulación del almidón en ciertas partes del vegetal, sin que éste pueda utilizarlo.

**Silicio.**—Existe en las plantas al estado de *silice* (ácido silícico). Aunque se halla abundante en las cenizas, parece que no es un elemento nutritivo, pues se ha cultivado maíz en un terreno desprovisto de sílice y floreció y fructificó normalmente.

Abunda la sílice en los tallos de las *colas de caballo* y en los tallos y en las hojas de los cereales, en las cañas del *bambú*, etc. Se creía que daba consistencia á las cañas de los cereales, impidiendo que fueran vencidas por el viento; experiencias directas han probado, por el contrario, que las cañas más ricas en sílice son las menos resistentes.

Según Wolff, la sílice favorece la maduración de los cereales y el completo desenvolvimiento del grano en una época conveniente. Este resultado se obtiene por la acumulación gradual de la sílice en las hojas, cuya vitalidad se detiene, lo que obliga á la savia á dirigirse al grano con más actividad, proporcionándole mayor suma de alimentos.

El silicio es asimilado bajo la forma de ácido silícico de un silicato soluble. Dice Wolff que al descomponerse los feldespatos existentes en el suelo se origina una mezcla de arcilla y de sílice; la sílice permanece mezclada á la arcilla ó se asocia á la

potasa del feldespato, suministrando combinaciones de un grado variable de solubilidad (silicato de potasa soluble).

**Cloro.**—El cloro no es alimento indispensable para la planta. Es asimilado al estado de cloruro.

**Potasio.**—El potasio, combinado al oxígeno para formar potasa (óxido de potasio) juega un gran papel en la nutrición vegetal. La potasa se encuentra en todas las plantas, y de ahí el nombre de *álcali vegetal* con que se la distingue; forma á menudo la mitad del peso de las cenizas de los vegetales.

La potasa es un elemento indispensable á la planta. Es importante para la formación de todas las partes de los vegetales; pero manifiesta, sobre todo en la media de las condiciones del suelo y explotación agrícola, una marcada influencia en la formación de las hojas y de los tallos.

Ya Liebig había emitido la opinión, que los trabajos modernos tienden á confirmar, de que la potasa es indispensable para la elaboración del azúcar en la remolacha.

Según Knop, la absorción absoluta de la potasa está en relación inmediata con la producción de la materia seca.

Parece cierto, dice Proost, que la potasa contribuye á desenvolver el tejido fibroso de las espigas de los cereales, que impide el que sean vencidas por el viento.

Las notables experiencias de Nobbe, Erdmann y Schroeder han demostrado: Que la potasa es necesaria para que se produzca el almidón en los granos de clorofila;—Que en las disoluciones desprovistas de potasa y que contienen todos los demás principios nutritivos, la planta vegeta como en el agua pura, es impotente para asimilar y no aumenta de peso, puesto que sin la intervención de la potasa no puede producirse almidón en los granos de clorofila;—Que el *isomorfismo fisiológico* no existe, es decir, que á pesar de las analogías que en sus propiedades químicas ofrecen los cuerpos llamados isomorfos, como la potasa y la sosa, ni la sosa ni la litina pueden sustituir fisiológicamente á la potasa; mientras que la sosa es simplemente inútil, la litina ejerce una acción perturbadora;—Que el cloruro de potasio es la combinación de potasa más favorable para el desarrollo del centeno y del alforjón y, según Grandeau, para la mayor parte de los vegetales del gran cultivo; sigue después el nitrato de potasa.

El potasio es asimilado bajo la forma de óxido (potasa) cual-

quiera que sea la sal, y también bajo la forma de cloruro; pero las formas principales bajo las cuales la planta recibe la potasa son: cloruro potásico, nitrato de potasa, sulfato de potasa y fosfato de potasa; otras de menos importancia son el carbonato de potasa y el sulfuro potásico.

**Sodio.**—El sodio no parece ser indispensable para la alimentación de la planta. Es asimilado en forma de óxido y de cloruro.

**Calcio.**—El calcio en forma de cal (óxido de calcio) es útil á las plantas indirectamente: sirve de soporte al ácido fosfórico y al sulfúrico, y de vehículo para introducirlos en la planta en forma de fosfato y de sulfato; neutraliza el ácido oxálico elaborado por los vegetales en notable cantidad, y que al estado libre obraría como veneno.

**Magnesio.**—Es asimilado en forma de óxido cualquiera que sea la sal. Se encuentra la magnesia (óxido de magnesio), en compañía del ácido fosfórico, localizada en las semillas maduras.

La presencia de la magnesia en los abonos parece favorecer, según Dubrunfaut, la fijación del amoníaco en forma de fosfato amónico-magnesiano, asimilable aunque insoluble. Otro químico, Pellet, sostiene que la magnesia puede contribuir á hacer penetrar en las plantas el ácido fosfórico necesario, en la misma forma de fosfato amónico-magnesiano ó de fosfato de magnesia solamente, como se encuentra en las cenizas de la remolacha.

**Hierro.**—Se ha creído por mucho tiempo, y de aquí la gran importancia que se concedía á este elemento nutritivo, que el hierro era indispensable para la formación de la *clorofila* ó materia verde de los vegetales. Efecto de esta creencia, se empleaba el hierro, para combatir la *clorosis* vegetal ó palidez de las hojas, en soluciones de vitriolo verde (sulfato de hierro); pero el color verde que las hojas adquirían por el empleo de esta substancia parece que es más bien químico que fisiológico, puesto que con el tanino de la hoja se forma un tannato de hierro. Por otra parte, se han cultivado en disoluciones salinas desprovistas de toda traza de hierro, vegetales que ofrecían intensa coloración verde. Está además probado que los árboles padecen la *clorosis* lo mismo en terrenos ricos en hierro que en los que apenas contienen este metal.

Sin embargo, Grandeau, Müntz y otros agrónomos sostienen la

antigua creencia de la necesidad del hierro para la producción de la *clorofila*.

El hierro lo toman las plantas en forma de óxidos.

**Manganeso.**—Este elemento es poco importante; las plantas lo asimilan al estado de óxido.

**Valor fisiológico y valor agrícola de los elementos nutritivos.**—Hemos visto cuáles son los cuerpos simples que constituyen el organismo vegetal y el papel fisiológico que cada uno de ellos desempeña en la alimentación de la planta: conocemos, por consiguiente, los elementos que constituyen el alimento completo que la planta necesita para recorrer todas las fases de su existencia, desde la germinación hasta la fructificación. Cada uno de estos elementos es indispensable á la vida vegetal, porque si uno solo falta, la nutrición y el crecimiento son imposibles; todos tienen, pues, el mismo *valor fisiológico*, es decir, que en lo que se refiere á la nutrición todos estos cuerpos son de un valor idéntico: la planta no puede prescindir ni del hierro, ni de la magnesia, ni del ácido fosfórico, ni del nitrógeno, etc. Pero no todos estos cuerpos tienen el mismo *valor agrícola*, porque mientras la mayor parte se encuentran en el aire ó en el suelo en cantidad suficiente para satisfacer las necesidades alimenticias del vegetal, otros se hallan en escasa cantidad y hay que añadirselos al suelo en forma de abonos. Los elementos que escasean en las tierras de cultivo y que deben contener los abonos para conservar y aumentar la fertilidad del suelo son: el *nitrógeno*, el *ácido fosfórico* y la *potasa*, en primer término, después la *cal*, y más raramente la *magnesia*; de los demás elementos no debe preocuparse el agricultor, porque el aire ó el suelo los contienen en cantidad suficiente.

## II.—La tierra arable.

Las plantas, como sabemos, toman sus alimentos del aire y del suelo. El agricultor es impotente para modificar la atmósfera; en cambio puede, por medio de los abonos, mejorar las condiciones de alimentación que las tierras de cultivo ofrecen para las plantas, con el fin de obtener cosechas abundantes. Pero para aplicar racionalmente los abonos á las tierras es necesario conocerlas. Debemos, por consiguiente, estudiar la tierra labrantía,