

TOMO XXXV

Nº 6

**ACADEMIA NACIONAL
DE AGRONOMIA Y VETERINARIA**

BUENOS AIRES

REPUBLICA ARGENTINA

FOSFORO EN SUELOS ARGENTINOS

Comunicación del

Académico de Número

Ing. Agr. ICHIRO MIZUNO



SESION ORDINARIA
del
12 de Agosto de 1981

**ACADEMIA NACIONAL
DE AGRONOMIA Y VETERINARIA**

Fundada el 16 de Octubre de 1909

Avenida Alvear 1711

Buenos Aires

República Argentina

MESA DIRECTIVA

Presidente	Dr. ANTONIO PIRES
Vicepresidente	Ing. Agr. EDUARDO POUS PEÑA
Secretario General	Dr. ENRIQUE GARCIA MATA
Secretario de Actas	Dr. ALFREDO MANZULLO
Tesorero	Ing. Agr. DIEGO JOAQUIN IBARBIA
Protosorero	Dr. JOSE MARIA R. QUEVEDO

ACADEMICOS DE NUMERO

Dr. HECTOR G. ARAMBURU	Dr. JOSE J. MONTEVERDE
Dr. ALEJANDRO BAUDOU	Dr. EMILIO G. MORINI
Ing. Agr. JUAN J. BURGOS	Dr. ANTONIO PIRES
Ing. Agr. EWALD A. FAVRET	Ing. Agr. EDUARDO POUS PEÑA
Dr. ENRIQUE GARCIA MATA	Dr. JOSE MARIA QUEVEDO
Dr. MAURICIO B. HELMAN	Ing. Agr. ARTURO E. RAGONESE
Ing. Agr. JUAN H. HUNZIKER	Dr. NORBERTO RAS
Ing. Agr. DIEGO J. IBARBIA	Ing. Agr. MANFREDO A. L. REICHART
Ing. Agr. WALTER F. KUGLER	Ing. Agr. ALBERTO SORIANO
Dr. ALFREDO MANZULLO	Ing. Agr. SANTOS SORIANO
Ing. Agr. ICHIRO MIZUNO	Dr. EZEQUIEL C. TAGLE

ACADEMICO HONORARIO

Ing. Agr. Dr. NORMAN BORLAUG

ACADEMICOS CORRESPONDIENTES

Dr. TELESFORO BONADONNA (Italia)
Dr. FELICE CINOTTI (Italia)
Ing. Agr. RUY BARBOSA P. (Chile)
Ing. Agr. GUILLERMO COVAS (Argentina)
Dr. CARLOS LUIS DE CUENCA (España)
Sir WILLIAM HENDERSON (Gran Bretaña)
Ing. Agr. ARMANDO T. HUNZIKER (Argentina)
Ing. Agr. ANTONIO KRAPOVICKAS (Argentina)
Dr. OSCAR LOMBARDEO (Argentina)
Ing. Agr. JORGE A. LUQUE (Argentina)
Ing. Agr. ANTONIO N. NASCA (Argentina)
Ing. Agr. LEON NIJENSOHN (Argentina)

FOSFORO EN SUELOS ARGENTINOS

INTRODUCCION

Los tres nutrimentos vegetales que han recibido las mayores atenciones cuali y cuantitativamente son: el nitrógeno, el fósforo y el potasio.

Con referencia a la producción agropecuaria del país, los que han merecido los mayores esfuerzos son el nitrógeno y el fósforo. Referente al potasio no se han detectado, en la típica zona agrícola, posibles problemas de deficiencias.

Más bien han preocupado las posibilidades de su exceso relativo en algunos cultivos (citrus) con posibles tendencias al desequilibrio potasio/magnesio. También en la composición mineral de las forrajeras referentes a posibles desequilibrios: potasio/calcio, potasio/magnesio, potasio/sodio.

Lo expuesto no asegura la presencia de buenos niveles de potasio en todos los suelos agropecuarios del país. En efecto, se detectan bajos niveles en algunos que de origen son pobres en todos los nutrimentos. Por ejemplo los suelos de la zona de Concordia (Entre Ríos), Bella Vista (Corrientes) y Saladas (Corrientes). La zona ganadera de Monte Caseros, Curuzú Cuatiá se caracteriza por los bajos valores de potasio en algunas áreas, en contraposición con los buenos de calcio y magnesio. Al primero se lo encuentra generalmente en va-

lores en torno a 0.1 m.e./100 g, o sea menos de la 1/10 parte de lo que se encuentra en la pradera pampeana, hecho que se traduce en la composición química de los vegetales.

La problemática del fósforo y del nitrógeno del suelo ofrece particularidades diferenciales. El segundo, dentro de un concepto de agricultura conservacionista puede mantener niveles aceptables por largo tiempo, reconociéndose prácticas que elevan sustancialmente el disponible en un ciclo para los cultivos. Tales los cultivos predecesores de leguminosas o prácticas como barbecho.

En cambio el fósforo es finito. No hay práctica, excepto la fertilización, que pueda mantener un nivel adecuado para los cultivos por largo tiempo. Asimismo la dinámica del fósforo del suelo presenta, en cierta medida, una problemática opuesta a la del nitrógeno.

En consecuencia, la base de las consideraciones acerca del fósforo debe partir de la premisa de que el mismo es finito.

PROBLEMATICA DEL FOSFORO DEL SUELO

El contenido actual de fósforo de un suelo como también la fracción del mismo disponible para los culti-

vos depende, como en la mayoría de los nutrimentos, de la interacción de los factores formadores de suelo.

La interacción entre la roca, clima y los organismos, modificados por el relieve y el tiempo transcurrido de la interacción, todo ello factible de modificaciones por acción antrópica; determinan los valores totales de fósforo del suelo, su distribución entre las distintas formas orgánicas e inorgánicas y el ambiente físico químico que regulan los factores de capacidad e intensidad o sea la disponibilidad para los cultivos.

El fósforo total del suelo se divide en dos grandes grupos: orgánico e inorgánico.

Dentro de lo orgánico y aún no caracterizados en forma totalmente satisfactoria intervienen: fitatos, fosfolípidos, ácido nucleico.

La fracción inorgánica comprende una serie de compuestos complejos cuyas composiciones se supeditan a la intensidad y al tiempo en que han interactuado los mencionados factores formadores.

Es así que puede admitirse que partiendo de fosfatos de calcio como apatita, debido a los procesos pedogenéticos pasan a compuestos menos complejos para posteriormente formar combinaciones con el aluminio y finalmente con el hierro. Ello se explicaría en base a la progresiva acidificación de los suelos que moviliza primero el aluminio y con mayor acidez al hierro.

Dentro de este complejo sistema de compuestos orgánicos e inorgánicos, la fracción aprovechable por los vegetales es sólo una mínima parte, generalmente del 1 al 2 %.

Cada suelo constituye un sistema definido en cuanto a composición

porcentual de las fracciones orgánicas e inorgánicas resultantes, como se expresó, de los procesos pedogenéticos, cuya tendencia queda definida fundamentalmente por las condiciones bioclimáticas del lugar.

Dicho sistema, de interés desde el punto de vista práctico, define la cantidad de fósforo aprovechable por los vegetales en base al porcentaje que corresponde a la fracción soluble, al débilmente adsorbido y al fácilmente soluble, como también los compuestos orgánicos que se van mineralizando por la acción de los microorganismos.

Dado que la suma de estas fracciones es ínfima y en ocasiones tan pequeña que sólo alcanzarían a cubrir las exigencias vegetales por algunas horas, el sistema debería renovar varias veces dicha suma.

Una visión simplificada del problema se encuentra en la fig. 1. La fracción denominada soluble, a la que se agrega parte de la adsorbida, es la que el vegetal puede aprovechar en forma inmediata.

En este esquema no se consideran los fenómenos a nivel de rizosfera, los que evidentemente deben crear un micromundo de características bioquímicas muy particulares y con efectos aunque muy limitados en el espacio, trascendentes en la dinámica del fósforo. Esencialmente el sistema de la fig. 1 presenta el contorno de dicho micromundo, el que en gran medida condiciona las características y actividad del mismo.

Dinámica del fósforo del suelo

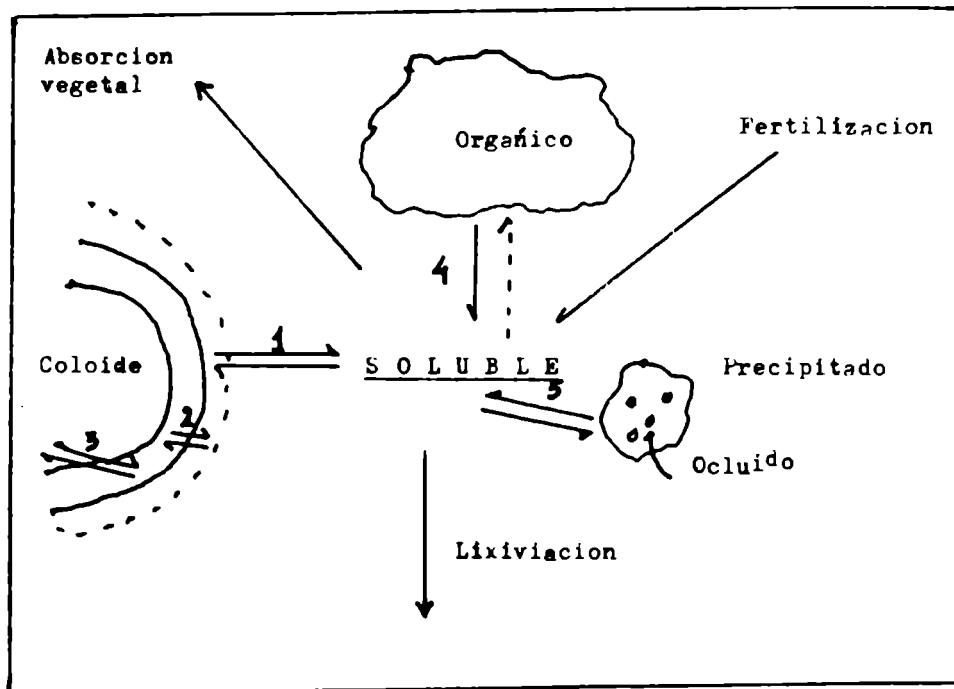
La misma puede simplificarse de la siguiente manera; con sus distintas formas, cada una de las cuales puede estar constituida por diferentes especies químicas.

a) Soluble, la que se encuentra en la solución del suelo y cuya concentración normalmente es muy baja.

mamente variables y complejos.

d) Orgánico. Se refiere tanto al que se encuentra constituyendo la

Figura 1



Formas de fósforo del suelo y vías de solubilización e insolubilización. Fuentes de ganancias y pérdidas.

b) Adsorbida, en procesos más complejos que los habituales en los cationes en virtud de que el proceso puede reconocer energías de retención superiores hasta llegar a una quimioadsorción.

c) Precipitado y ocluido, o sean compuestos prácticamente insolubles dentro de las características físico químicas del sistema. Cualquier variación en las mismas, que se traduce en los valores de rH y pH, puede influir significativamente en la solubilidad de dichos compuestos.

El proceso de la precipitación engloba compuestos a veces químicamente distintos a la matriz, los que constituyen la fracción ocluida.

Las especies químicas que pueden encontrarse en estos estados son su-

fracción de la llamada materia orgánica "bruta" o sea la que ha sufrido escasas alteraciones bioquímicas como aquellas que han completado el proceso de humificación.

Puede estimarse que los compuestos unidos a las distintas fracciones húmicas tendrán comportamientos acordes a dichas fracciones en cuanto se refiere a la mayor o menor facilidad en la mineralización. El producto final de este proceso biológico es el anión ortofosfato mono o diácido conforme al pH del medio en el que se solubilizará.

Adsorbido

Tanto los aniones como las especies químicas moleculares pueden ser retenidas por los complejos del suelo

a través de diversos mecanismos entre los cuales figura la atracción electrostática, fenómeno bien conocido en los cationes. Esta última es originada por cargas negativas que en parte se explican como permanente y en parte como adquiridas.

La protonación de los grupos SiOH y AlOH da origen a cargas positivas, proceso que requiere acentuada acidez para el grupo SiOH (pH 3.5 o menos). En el caso del aluminio, por su capacidad de formar polímeros y complejos, el fenómeno requiere menor acidez (pH 4 a 5).

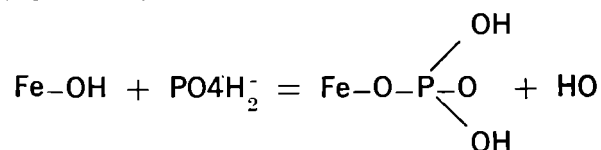
Así se explica como la caolinita presenta mayor capacidad de adsorción de fosfatos, puesto que su cara expuesta está compuesto por octaedros de aluminio contrariamente a la montmorillonita en la que las caras expuestas externamente se encuentran constituidas por tetraedros de silicio.

El material de óxido de hierro o de aluminio de comportamiento netamente anfótero, poseen puntos isoeléctricos que varían conforme a los compuestos, pudiendo estimarse valores medios para los suelos con predominio de estos materiales entre 4 y 5. Con valores de pH por debajo de dicho punto la carga es totalmente positiva aumentando conforme al descenso del pH.

Cuando se considera la capacidad de adsorción de aniones de estos materiales puede suceder que dicha capacidad en la práctica sea mayor que la resultante de las cargas del material o sea para llevarlo a la electroneutralidad.

En el caso de los iones ortofos-

fosfos, se explicaría por el siguiente mecanismo:



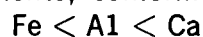
Vale decir que el anión ortofosfato en enlace de coordinación con el Fe, fenómeno que también puede llevarse a cabo con el Al; entra decididamente en la composición del complejo. En estas situaciones la energía de "adsorción" será considerablemente mayor que en el caso de la atracción electrostática.

Cuando se trata la situación de los minerales arcillosos silicatados, el anión atraído por las cargas positivas puede entrar en un proceso de difusión sólida y producirse la sustitución isomórfica P x Si. No obstante, en casos como el de la caolinita se estima que el fenómeno es de naturaleza química, produciéndose la combinación del ortofosfato con hidróxido de aluminio dando lugar al fosfato de aluminio (variscita).

Precipitado

Los aniones ortofosfatos tienden a formar compuestos insolubles con distintos cationes conforme al pH del medio. Así en muy fuertemente ácidos se forman complejos insolubles con hierro, en medios fuertemente ácidos con aluminio y en medio neutro a alcalino con calcio o magnesio. Cuando la reacción llega a fuertemente alcalina y con presencia de carbonatos se forman complejos de fosfatos y carbonatos de calcio, menos solubles que los complejos con calcio solamente.

La solubilidad de los complejos en general tienden a seguir el siguiente orden creciente, conforme al catión:



Soluble

La fracción directamente aprovechable por los vegetales es la soluble, constituida en parte mayoritaria por aniones ortofosfatos mono o diácidos conforme al pH del medio, reconociéndose también la presencia de compuestos solubles o pseudo solubles orgánicos.

La concentración de aniones ortofosfatos dependerá del equilibrio propio de cada sistema pero en general son, como se dijo, sumamente bajas.

En forma esquemática puede estimarse que esta concentración dependerá de una serie de factores entre los que pueden mencionarse:

Cantidad y naturaleza del material coloidal.

Cantidad y naturaleza de la materia orgánica.

Cantidad y naturaleza de la fracción precipitada.

pH y rH como expresiones de las condiciones físico químicas y en parte biológicas del sistema.

Una disminución de la concentración de ortofosfatos, sea por absorción de diversos organismos (vegetales, microorganismos) o por dilución por aumento del contenido de agua del suelo, llevaría al sistema a recuperar su equilibrio en forma rápida por las vías siguientes:

Vía 1 (Fig. 1). Con el restablecimiento del equilibrio entre las soluciones interna y externa, proceso que puede calificárselo de instantáneo, dimensionándose en minutos.

Vía 5. Satisfaciendo el producto de solubilidad de los compuestos precipitados, proceso también rápido.

Vía. 4. La mineralización de las fracciones orgánicas, proceso biológico

que debe considerarse en parte independiente de la concentración de fosfatos en la solución. Con suficiente agua y temperatura es también un proceso rápido que se dimensiona en horas.

Si bien se trata de un proceso independiente de los anteriores, no lo es en cuanto al resultado final dado que cabe suponer que si bien su aporte es independiente de la concentración de fosfatos en la solución, al aumentar éste y sobrepasar el límite propio de cada sistema, éste tenderá a restablecer el equilibrio pasando una cantidad a engrosar las formas precipitadas (camino inverso de 5) o adsorbida (camino inverso de 1).

Las evidencias experimentales permiten sustentar la idea mencionada. En efecto, cuando se realizan ensayos de incubación del fósforo orgánico de los suelos, se observa un rápido incremento en los primeros días hasta llegar a valores prácticamente constantes (fig. 2), techo variable conforme a las características de los suelos; valores que señalarían la máxima concentración de fosfatos en la solución del suelo como también la forma fácilmente intercambiable.

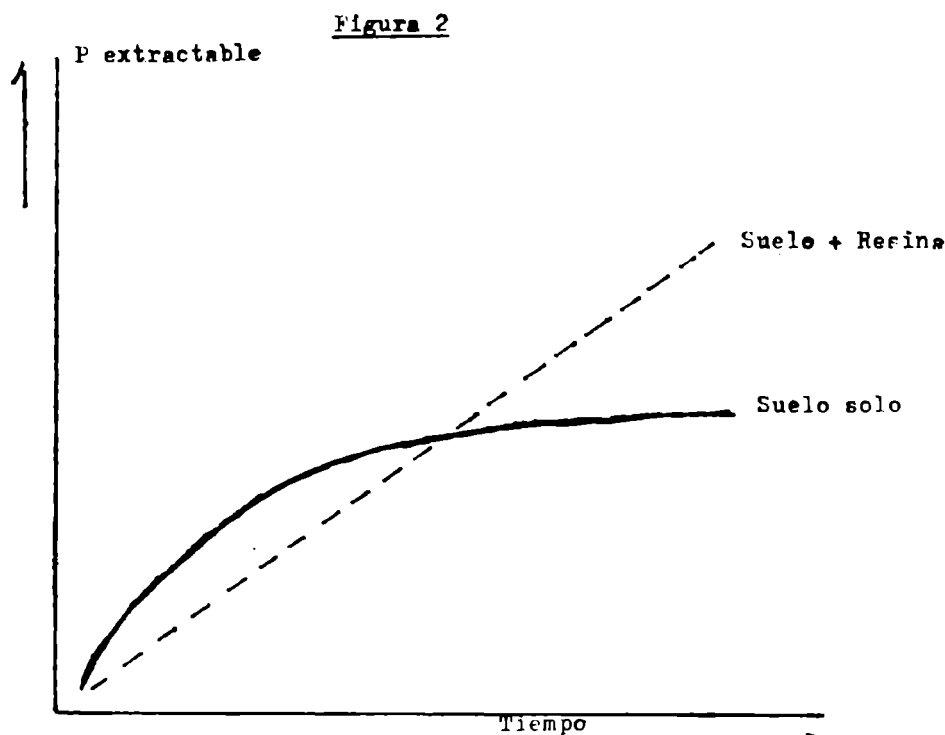
Al agregar a las muestras de suelos, en los procesos de incubación, resina aniónica; puede observarse que la producción de fosfatos es continua, por lo menos durante un par de meses (fig. 2).

El pasaje de las formas adsorbidas a otras de mayor energía de retención (vía 2-3) es un proceso considerablemente más lento, que se dimensiona en meses, ocurriendo lo mismo con el camino inverso.

Los modelos matemáticos que intentan simular el sistema toman en cuenta las vías 1 y 5, llegan a resultados razonablemente satisfactorios. Pero al no tomar en cuenta la vía 4, puede alejarse significativamente de la realidad de los suelos agrícolas del país.

compuestos llevan a la conclusión de que aún con aportes de fertilizantes fosfatados solubles en cantidades que superen holgadamente las utilizadas en la práctica, más del 99 % se insolubiliza rápidamente.

Ello se interpreta en el sentido de que cada sistema tiene un estado de



Gran parte de los esfuerzos tendientes al mejor conocimiento del fósforo se han volcado a la cuantificación de la fracción soluble y vecinas, denominándoselas erróneamente asimilables o aprovechables por lo que se prefiere el de extractable.

Pero se deben tener en cuenta los factores modificantes del comportamiento del sistema reflejados en los valores de pH y rH que condicionan la solubilidad de los fosfatos.

Simple cálculos basados en el producto de solubilidad de estos

equilibrio dinámico dentro de marcos que definen las concentraciones de los iones ortofosfatos mono o diácidos.

En otras palabras, que la posible variación de dichos estados de equilibrio normalmente se produce a ritmo muy lento, pero que prácticas como fertilizaciones o enclados pueden acelerar dicho ritmo.

Cuando un suelo se dedica a cultivos de cosecha por decenios, el sistema tiende lentamente a una mayor aidez de las formas insolubles. De

allí que en estos casos las previsiones en las prácticas de fertilizaciones deben prever el hecho para llenar en primer lugar dicha avidez que constituye lo que se ha dado en llamar el "hambre del suelo".

FOSFORO EN SUELOS ARGENTINOS

Fósforo total

Si bien no se dispone de datos suficientes como para generalizar, los disponibles permiten señalar tendencias.

La región subhúmeda de la pradera pampeana presenta en general entre 400 y 700 ppm de fósforo total. Puede también señalarse, conforme a una transecta que partiendo al este de la Provincia de Buenos Aires llega hasta la Provincia de La Rioja, que la tendencia es de un aumento de fósforo total en función inversa a las precipitaciones.

Es así que comenzando con valores próximos a las 400 ppm se sobrepasan las 1000 ppm en La Rioja.

Admitiendo similares contenidos en los materiales originales, la diferencia puede atribuirse a las condiciones bioclimáticas que acentuando los procesos pedogenéticos en las zonas húmedas y subhúmedas conduce a una pérdida de fósforo por lixiviación, extracción vegetal y aprovechamiento de éstos por los hervíboros; todo lo cual conduce a una pérdida de fósforo de los horizontes subsuperficiales y a una concentración relativa en los superficiales; con balance final negativo.

Igualmente en el SE de la Provincia de Buenos Aires, en la zona de influencia del IDEVI pueden observarse elevados valores de fósforo total.

En los suelos vertisólicos de Entre Ríos se encuentran valores entre 200 y 300 ppm en el horizonte superficial, no confirmándose plenamente la tendencia de mayor contenido de fósforo total en el mismo por aporte del fósforo orgánico.

Si bien no se dispone de datos suficientes, es de esperar que en los suelos arenosos de la zona de Concordia como también en la franja este de Corrientes a partir de Goya, tengan bajos valores de fósforo total.

La distribución en los horizontes del perfil sigue estas tendencias:

a) Dado que los vegetales actúan como concentradores de los elementos aprovechables del suelo, la materia orgánica que se forma por aporte de sus restos se enriquece en fósforo.

La acción de la vegetación tiende a concentrar el fósforo del perfil en el horizonte superficial del mismo, confirmándose ello a través de los resultados analíticos de distintos perfiles.

Mientras que el fósforo inorgánico no presenta oscilaciones bruscas en los horizontes subsuperficiales, el fósforo orgánico disminuye bruscamente al pasar a los subsuperficiales.

Como el aporte de fósforo orgánico al total supera el 50 % del último, el resultado es de que los horizontes A1 tienen prácticamente el doble de fósforo total con relación a los subsuperficiales.

En los perfiles de suelos poco desarrollados la tendencia es de una cierta uniformidad en la distribución vertical del fósforo total.

b) Con relación a las formas inorgánicas presentes en el suelo, conforme al esquema de Chang y Jack-

son, se observa que en general predominan los compuestos unidos al calcio, siguiéndoles los unidos al aluminio. En estas consideraciones no se incluyen los Ultisoles y Oxisoles de Misiones.

Un caso que llama la atención son los vertisoles de Entre Ríos. En ellos la fracción de fósforo unida al calcio predomina en el C o sea en el material originario, pero en el A tienden a predominar los unidos al aluminio o al hierro. Ello puede interpretarse como que si bien en el material de partida predomina la fracción unida al calcio, los procesos pedogenéticos la llevan al pasaje hacia los compuestos mencionados.

Fósforo aprovechable por los vegetales

La consideración de los resultados analíticos de suelos, fundamentalmente de la Provincia de Buenos Aires y algunos del resto del país permiten extraer algunas conclusiones pese las limitaciones que significan la variabilidad de estos resultados en el espacio y el tiempo, necesidades diferenciales de los cultivos y otros factores.

Dentro de la Provincia de Buenos Aires es conocida la falta de fósforo aprovechable por los cultivos en el SE en el caso del trigo, particularmente en cultivares de elevados rendimientos (HYV) y en papa. Asimismo se han utilizado en forma bastante generalizada los fertilizantes fosfatados en praderas en la cuenca del Salado mediante el plan Balcarce.

Ultimamente se han detectado deficiencias en el oeste de la Provincia de Buenos Aires, particularmente en suelos de textura gruesa. En éstos

el problema residiría en el factor capacidad antes que en la intensidad.

Asimismo se afirma la idea de que el partido de San Pedro y parte de Arrecifes, posiblemente también sus vecindades, presentan el mismo problema.

Una provincia que se caracteriza por su pobreza en fósforo aprovechable es Corrientes, donde la misma se puede detectar en forma indirecta a través del pobre desarrollo óseo del ganado.

Los mallines de la Patagonia presentan también frecuentemente deficiencias de fósforo, a veces complicada con deficiencia de azufre de forma tal que la sola incorporación de fertilizante fosfatado no surte efecto positivo en los cultivos.

Un gran déficit en este sentido en el país reside en la falta de informaciones básicas de modo que los resultados analíticos se interpretan a través de experiencias foráneas, excepto algunos casos como en la zona de influencia de la Estación Experimental de Balcarce que dispone de valiosas informaciones; a las que se suman otras muy locales.

El mayor vacío que se presenta en el diagnóstico del estado del fósforo en los suelos agrícolas y ganaderos es la carencia de informaciones básicas. En efecto, para el propósito mencionado es menester poseer resultados de experimentos a campo lo suficientemente representativos en el espacio y el tiempo como para poder establecer valores límites e intermedios que permitan llegar a recomendaciones de fertilizaciones con razonable margen de seguridad.

Cabe señalar que la deficiencia actual de fósforo para los cultivos puede deberse fundamentalmente a dos razones:

a) Bajo nivel de fósforo total, con lo cual el equilibrio del sistema (fig. 1) obliga a un bajo nivel de fósforo aprovechable y posiblemente una disminución en el ritmo de renovación (conceptos de intensidad, capacidad y velocidad de renovación).

En este aspecto cabe señalar que la interpretación de los resultados analíticos debe efectuarse con las precauciones de cada caso.

En ocasiones el extractable puede ser bajo, lo que podría tomarse como posible deficiencia, no obstante lo cual no se obtienen respuestas a fertilizantes.

En otros casos, frecuente en suelos de textura gruesa, la cantidad extractable puede aparentar suficiencia, no obstante lo cual se logran respuestas a fertilizantes.

En los casos mencionados deben aplicarse los conceptos de intensidad y capacidad. En el primer caso, si bien la intensidad es baja, la capacidad del sistema permite una rápida renovación del fósforo soluble. En el segundo, la intensidad aparenta ser suficiente, pero la baja capacidad no permite la renovación a velocidad adecuada.

b) Aceptable nivel de fósforo total, pero con características del sistema que lleva al fósforo hacia formas no aprovechables. Ello puede traducirse por la reacción del medio excesivamente ácido o alcalino que aparta el sistema del ámbito ideal para evitar insolubilizaciones en forma de fosfatos de aluminio o de hierro en un caso; de calcio en el otro.

O intensa actividad biótica que inmoviliza temporariamente el fósforo.

Utilización del fósforo en la producción agropecuaria

Chaminade y Reichart estimaron, para comienzos de la década de 1960, una extracción sin retorno de 170.000 t de fósforo como pentóxido por año debido a las producciones vegetales y animales.

Para una producción de 30.000.000 de t de granos y 3.000.000 de t de carne, a las que se suman las extracciones correspondientes a horticultura, fruticultura, cultivos industriales, forestales, floricultura y otros; la extracción de fósforo por la producción vegetal sumaría 220.000 t de fósforo como elemento (P), admitiendo una pérdida del 25 % de los rastros por aprovechamiento animal.

Sumando a ello 32.000 t de fósforo (P) que representan las 3 millones de toneladas de carne, se totalizan 252.000 t de (P) por año, lo que significan 579.000 t de pentóxido (P 205) o sean aproximadamente 1 millón de t de superfosfato triple por año.

Esta cifra merece ser tomada en cuenta dado que dentro de un plazo mediano llegará el momento en que por lo menos se deberá restituir anualmente al suelo lo que se extrae del mismo. Pero cuanto más se agota el suelo, tanto mayor será la cantidad a utilizar por lo que se expresó al comienzo con referencia al "hambre del suelo".

A efectos de una aproximación cuantitativa se puede dar el siguiente ejemplo:

Supuesto un suelo de Colón (Buenos Aires, los horizontes, su riqueza en fósforo total y la estimación por ha será:

A1: 0-30 cm, con 670 ppm de P = 2.613 kg P/ha (dap. = 1.3 g/cm³).

A3: 30-45 cm, con 400 ppm de P = 840 kg P/ha (dap. = 1.4 g/cm³).

B1: 45-60 cm, con 240 ppm de P = 528 kg P/ha (dap. = 1.5 g/cm³).

dap. = densidad aparente.

Dada la muy escasa movilidad de fósforo y en base a la idea de que el sistema radicular tomaría el fósforo por sus extremos, puede admitirse una extracción razonablemente homogénea en estos primeros 60 cm de profundidad.

Conforme a Arnon, la extracción de fósforo por el maíz puede llegar al orden de 1 kg (P) por cada 100 kg de grano. En la hipótesis de un rendimiento de 10.000 kg/ha, la extracción sería de 100 kg de (P) por ha,

Puede observarse que el nivel crítico se encuentra en los horizontes subsuperficiales, diferencia que se intensifica si se considera el retorno por rastrojos. En efecto, se estima que las 2/3 partes del fósforo queda en los rastrojos, por lo que devueltos éstos en su totalidad al suelo no sólo mantendría el nivel de fósforo en A1, sino que lo incrementaría en 10 kg/ha. año; a expensas de los horizontes subyacentes.

El ejemplo dado corresponde a un suelo que puede considerarse como muy bien provisto de fósforo.

Recomendaciones

1. A efectos de lograr un panorama semicuantitativo, obtener un inventario del recurso fósforo del suelo en función de Grandes Grupos de suelos.

En sucesivas etapas se irán definiendo situaciones a escalas mayores hasta llegar al nivel de Series y Fases y finalmente sobre la inciden-

Horizonte	(P) total	Extracción por año	Duración del total	Duración corregida
A1	2.613 kg	50 kg	50 años	40 años
A3	840 „	25 „	32 „	25 „
B1	528 „	25 „	21 „	12 „

llevando los cálculos a las siguientes cifras.

Para la estimación de la duración corregida se considera que el "piso" mínimo de fósforo total necesario para mantener la dinámica del fósforo en niveles compatibles con los requerimientos del cultivo, es de 100 ppm.

cia del manejo sobre el fósforo.

En la primera etapa se estudiará la estática del sistema o sean las características y factores que definen el estado del fósforo, constituido por las formas que se observan en la fig. 1, todo ello a nivel de Grandes Grupos.

En una segunda etapa se enfocará

la dinámica, constituida por las vías que conducen a solubilizaciones e insolubilizaciones.

En una tercera se comenzará con los estudios de calibración de distintos métodos de extracción del fósforo presuntamente aprovechable, cuyas opciones o alternativas surgirán de las informaciones de las dos etapas anteriores; admitiendo superposiciones en la ejecución de las tareas involucradas.

En sucesivas etapas, con las modificaciones de detalle que aconseje la experiencia, se aplicará la misma metodología para intensificar el estudio hacia las categorías menores hasta llegar a series y fases.

2. Las dos primeras etapas permitirán lograr un panorama definido referente a la problemática del fósforo de los suelos del país y con ella delinear políticas a mediano y largo plazo.

Cumplida la tercera etapa se dispondrá de los datos básicos para el inicio de prácticas de fertilizaciones dentro de razonables marcos de confiabilidad.

Dicha etapa permitirá ir disminuyendo el área de inseguridad hasta llegar a márgenes satisfactorios de confiabilidad, permitiendo con las siguientes efectuar consideraciones acerca del retorno económico de las fertilizaciones para cada caso en particular.

3. Intensificar los trabajos de prospección de yacimientos de fósforo como medida de previsión para el futuro mediano.

CONCLUSIONES

1. La problemática del fósforo del suelo presenta aún importantes incógnitas que requieren respuesta. La situación en el país se encuentra en sus comienzos y recién se tiene idea de algunas cifras que se refieren al fósforo total, los porcentuales correspondientes a las distintas formas y una idea más consistente acerca de la fracción aprovechable por los vegetales.

2. Se requiere una acción más intensa en pro del conocimiento del fósforo de los suelos del país, referentes a la estructura del sistema y su dinámica para tomar las previsiones posibles para el futuro y el planteo de alternativas aconsejables para el mejor aprovechamiento del elemento nativo y la utilización de fertilizantes.

3. Desde el punto de vista agropecuario es uno de los elementos críticos a breve plazo, requiriendo ello una política definida del país con vistas a plazo inmediato y mediano.

Las extracciones que anualmente se efectúan por las producciones agropecuarias obligarán ineludiblemente al uso de fertilizantes fosfatados en plazo tanto más breve cuanto mayores sean las exigencias de los nuevos cultivares de elevados rendimientos. Esta posibilidad no sólo aumentará significativamente la extracción de nutrimentos del suelo, sino que obligará a replantear los métodos de diagnóstico y recomendaciones.