

C. N. E. A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº 1	AÑO 1984

06.84.15

November, 19 – 23, 1984
Piracicaba, São Paulo, Brasil

PROCEEDINGS OF THE

**Regional Workshop
on Nuclear
Techniques in
Crop Production**

ANAIS DO

**Seminário Regional sobre
Técnicas Nucleares
na Produção
de Plantas Agrícolas**

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA ATÔMICA
BIBLIOTECA

Editors:
Carlos Clemente Cerri
Diva Athié



ORGANIZAÇÃO DOS ESTADOS AMERICANOS – OEA
Comissão Interamericana de
Energia Nuclear – CIEN



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – USP
Centro de Energia Nuclear
na Agricultura – CENA

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Reitor

ANTONIO HÉLIO GUERRA VIEIRA —

Centro de Energia Nuclear na Agricultura

Diretor

ENEAS SALATI

*Contents and review of papers published in these
Proceedings are of the entire responsibility of the
respective authors.*

Copy of the Proceedings can be requested to:

*Regional Workshop on Nuclear Techniques in Crop
Production*

Library

*Centro de Energia Nuclear na Agricultura — CENA
Av. Centenário s/nº — Caixa Postal 96
13400 Piracicaba, SP — BRASIL
Phone: (0194) 33-5122 — Telex: (019) 1097 CENA BR*

O conteúdo e a revisão dos textos dos trabalhos
publicados nestes Anais são de inteira
responsabilidade dos respectivos autores.

Cópias destes Anais podem ser obtidas mediante
solicitação ao:

Seminário Regional sobre Técnicas Nucleares
na Produção de Plantas Agrícolas

Biblioteca

Centro de Energia Nuclear na Agricultura — CENA
Av. Centenário s/nº — Caixa Postal 96
13400 Piracicaba, SP — BRASIL
Tel.: (0194) 33-5122 — Telex: (019) 1097 CENA BR

FOSFORO ISOTOPICAMENTE INTERCAMBIABLE COMO VALOR DE CORRECCION PARA ISOTERMAS DE ADSORCION. APLICACIONES AGRICOLAS.

LÓPEZ, S.C.¹; BÁRBARO, N.O.¹; ROJAS DE TRAMONTINI, S.L.¹; MARTINI, O.¹

RESUMEN

Para poder utilizar las isotermas de adsorción en la evaluación y caracterización del fósforo en los suelos, es importante tener en cuenta ciertos factores que pueden alterar los resultados. En este trabajo se discuten algunos de estos problemas y, en particular, el relacionado con la cantidad de fósforo inicialmente presente en el suelo, que ha sido estimado mediante técnicas radioisotópicas y empleado como término de corrección para las isotermas de Langmuir y Freundlich.

Se utilizó un suelo al que se le realizaron distintos tratamientos previos (testigo, superfosfato triple, roca fosfórica y superfosfato más roca fosfórica). Las isotermas de adsorción se realizaron con 5 días de agitación, empleando soluciones con concentraciones de fósforo entre 3 y 15 ppm. El intercambio isotópico se efectuó, durante 30 minutos, introduciendo ³²P libre de portador, después de haber alcanzado el equilibrio de adsorción (5 días).

Dado la influencia que sobre el valor de fósforo en superficie o intercambiable puede tener el tiempo de intercambio, el fósforo agregado como portador y otras características experimentales, se buscó utilizar una técnica que a la vez que minimice el error de medición del fósforo en solución, defina un valor de fósforo con significación agrícola.

El fósforo intercambiable aumenta en función del fósforo en el sobrenadante. Por extrapolación en la recta de regresión correspondiente hemos calculado en fósforo isotópico presente en soluciones de equilibrio de 0.3 ppm de fósforo.

La inclusión de este valor de fósforo en el cálculo de las isotermas de Langmuir y Freundlich han permitido un mejor ajuste de los datos y de acuerdo con los tratamientos previos recibidos.

El valor de máxima adsorción de la isoterma de Langmuir corregida, no presenta diferencias significativas para los distintos tratamientos previos. El fósforo intercambiable utilizado como factor de corrección, aumenta para el tratamiento con superfosfato y disminuye en el tratamiento aditivo superfosfato y roca fosfórica, mostrando incompatibilidad entre ambos fertilizantes.

INTRODUCCION

Para evaluar y caracterizar los procesos de adsorción y desorción de P en el suelo han sido utilizadas las isotermas de Langmuir y Freundlich. Estas isotermas fueron desarrolladas, ya sea teóricamente en el primer caso o empíricamente en el segundo, para la adsorción de gases sobre sólidos. Por lo tanto su aplicación al sistema suelo-fósforo requiere ciertas consideraciones y precauciones. Diferentes autores las han usado sin modificaciones sustanciales (3,6,15,14). Otros le han hecho modificaciones (1,9,10). La ecuación de Freundlich ha sido usada por primera vez en estudios sobre fósforo por Russell y Prescott en 1916 y corresponde a un modelo de adsorción en el que la constante de energía de unión decrece exponencialmente a medida que aumenta la cantidad de P adsorbida (Hayward y Trapnell, 1964, citado por Barrow, (1978) (5).

La aplicación de la isoterma de Langmuir brinda la posibilidad de conocer parámetros como la capacidad máxima de adsorción y una constante relacionada con la energía. Pero estudios realizados muestran, que es aplicable solamente dentro de un rango limitado de concentraciones de fósforo en la solución de equilibrio y que la adsorción de fósforo por el suelo, es un proceso complejo en el que no hay una única energía de unión constante involucrada.

Bárbaro y colaboradores (3) han encontrado, para distintos suelos, que la forma lineal de la isoterma de Langmuir es aplicable cuando la concentración de P inicial en la solución es menor que 15 µg/ml, Gunary (9) introduce un término con una raíz cuadrada, Bache y Williams (1) utilizan la ecuación de Temkin en forma gráfica, Holford y Mattingly (10) usan la ecuación de Langmuir para más de una superficie adsorbente (doble Langmuir).

¹ Comisión Nacional de Energía Atómica, Av. del Libertador, 8250, 1429 Buenos Aires, Argentina.

Barrow (5) puntualiza que las ecuaciones de Gunary, doble Langmuir y Freundlich dan lugar a curvas muy similares que, para algunos suelos no pueden distinguirse entre sí. El estudio estadístico muestra que la introducción de términos y constantes no siempre es conveniente. Por lo tanto, ecuaciones simples serían más adecuadas que las complejas, siempre que puedan explicar el proceso.

Cualquiera sea la isoterma elegida para trabajar hay factores que afectan los resultados obtenidos, entre los que se destaca el fósforo inicialmente presente en la fase sólida del suelo, que interviene en el equilibrio. Este fósforo puede ser estimado con el uso de resina (6) o a través de la medición del fósforo isotópicamente intercambiable.

Ahora bien, el carácter dinámico que relaciona las distintas fracciones de fósforo, dificulta su medición.

En trabajos anteriores se ha encontrado que el valor del fósforo intercambiado aumenta en función del tiempo de intercambio.

Los valores obtenidos por nosotros, concuerdan con los hallados en la bibliografía. Según estos valores el intercambio isotópico se refiere a 2 o 3 reacciones sucesivas de primer orden. Las dos primeras reacciones suceden entre las 0 y las 16 hs. La tercera reacción es lenta y dura varios días. (2).

Según Talibudeen (8) la reacción rápida involucra el fósforo en las superficies externas mientras que la reacción lenta involucra el fósforo en las superficies internas. Según White (19), estas distinciones son arbitrarias. Sin embargo es evidente que cuando se habla de fósforo en superficie se quiere destacar al fósforo que participa, desde la superficie de la fase sólida, en el equilibrio con la solución del suelo, es decir, el fósforo más rápidamente intercambiable. En términos de fertilidad edáfica, el fósforo más rápidamente intercambiable constituye el "pool de iones fosfatos" susceptibles de participar en la alimentación de los vegetales.

Mc Auliffe y col. (13) definieron el "fosforo superficial intercambiable". La metodología citada por ellos, hace referencia a sistemas con equilibrios previos de 24 hs. y con el agregado de ^{32}P libre de portador. Si bien de esta manera de proceder significa no alterar drásticamente el sistema suelo-solución mediante cantidades de fósforo total agregado como portador, tiene la contrapartida que la determinación de fósforo total, en la solución de equilibrio, es imprecisa debido a la baja concentración pequeña en la misma.

Otros autores, al definir el "fosfato isotópicamente intercambiable", elaboraron metodologías que utilizan cantidades determinadas de fosfatos como "portador" del fósforo radiactivo.

Esta manera de proceder significa desconocer que una fracción del fósforo agregado como portador, puede reaccionar con la fase sólida de un suelo y formar parte del fósforo no intercambiable.

En un trabajo anterior hemos encontrado valores negativos de fósforo isotópicamente intercambiable, los que derivan de no tener en cuenta los fenómenos de adsorción (2).

Estas razones nos han llevado a buscar una metodología que tenga en cuenta tanto el intercambio como la adsorción.

MATERIALES Y METODOS

El suelo utilizado proviene de un ensayo en macetas durante el cual, se agregaron al suelo dosis de dos fertilizantes, roca fosfórica y su perfosfato triple, según se detalla a continuación:

- I. suelo sin agregado de fósforo;
- II. suelo con agregado de superfosfato triple en cantidad equivalente a 60 kgP/ha;
- III. suelo con agregado de roca fosfórica en cantidad equivalente a 60 kgP/ha;
- IV. suelo con agregado de roca fosfórica y su perfosfato triple en cantidades iguales a las puestas individualmente.

Dado el corto período de tiempo transcurrido entre la fertilización de los suelos en maceta y la finalización de la experiencia (3 meses) de be considerarse la reacción suelo-fertilizante como no concluida.

En todos los casos la especie vegetal cultivada fue cebada, el porcentaje de fósforo extraído del suelo fue en función del fósforo agregado menor en todos los casos al 5%.

Luego de la cosecha se dejó secar y se homogeneizó el suelo proveniente de cada tratamiento, por separado y se tamizó por malla de 0,2 mm.

El suelo utilizado en los ensayos de invernáculo proviene de la localidad de Ezeiza, Pcia de Buenos Aires (Tabla Nº 1).

Adsorción

Búsqueda de tiempo de equilibrio

Para fijar las condiciones de trabajo adecuadamente y minimizar la interferencia de procesos físico-químicos que no interesaban analizar en esta ocasión, se buscó trabajar con un tiempo de agitación suelo-solución al cabo del cual se llegaran a un equilibrio en la adsorción de fósforo por la fase sólida del suelo. Para ello muestras de 2,5g de suelo fueron agitadas con 25ml de solución 0,01M Cl_2Ca conteniendo 10µg de fósforo (KH_2PO_4) por ml a $30^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ durante 1, 2, 3, 4, 5 y 6 días.

A cada muestra se le agregó tolueno (2 gotas). Una alícuota de la muestra fue centrifugada a 10.000 rpm durante 10 minutos, se filtró y se analizó el fósforo presente en la solución sobrenadante en cada caso por el método del color azul molibdo-fosfórico por reducción con ácido cloroestannoso.

Fósforo isotópicamente intercambiable

De acuerdo con los resultados obtenidos en el paso anterior, las muestras de suelo se agitaron durante 5 días siguiendo el procedimiento ya descrito, pero con soluciones conteniendo 3, 5, 7, 10, 12, $15 \cdot 10^{-3}$ g/l de fósforo como $\text{PO}_4\text{H}_2\text{K}$.

Media hora antes de concluir la agitación se agregó 0,5 ml de solución conteniendo $18,5 \times 10^4$ Bq a cada muestra.

La utilización de tiempos de intercambio cortos se corresponde con la obtención de valores experimentales de mayor significación agrícola.

Se centrifugó a 10.000 rpm 10 minutos, se filtró y se midió el fósforo total. La actividad en el sobrenadante fue medida en un contador de centelleo líquido.

El intercambio isotópico fue realizado una vez alcanzado el equilibrio de adsorción en la faz lenta del mismo y durante un lapso menor (0.5hs) que el empleado para alcanzar dicho equilibrio (120hs). Por lo tanto y considerando que el ^{32}P fue agregado sin portador no se hallaron diferencias significativas entre el fósforo en solución presente al principio y al final del intercambio isotópico. Este hecho nos ha inducido a utilizar la siguiente fórmula:

$$P_{ii} = \frac{Y_0}{Y_t} \times t \quad \begin{array}{l} Y_0: \text{actividad a } t = 0 \\ Y_t: \text{actividad a } t = t \\ X_t: \text{actividad total a } t = t \end{array}$$

$$P_{ii}(\text{sólido}) = P_{ii}(\text{Total}) - P_{ii}(\text{solución})$$

Curvas de adsorción

El fósforo adsorbido fue calculado por diferencia entre las concentraciones inicial (0 horas) y final (120 horas) de las soluciones. A este valor de fósforo adsorbido se sumó el fósforo isotópicamente intercambiable cuando la concentración de la solución es de 0.3 ppm de P:

RESULTADOS Y DISCUSION

Al estudiar el proceso de adsorción en función del tiempo de agitación se encuentra que la primera etapa de la reacción ocurre en un lapso breve y está prácticamente terminada a las 48 horas. A los cinco días (120 horas) el sistema, que ha adsorbido entre el 70 y el 75% del fósforo inicialmente presente se encuentra o bien en la reacción lenta o bien en el equilibrio.

Dicho tiempo responde a nuestras necesidades teniendo en cuenta que tiempos más largos de agitación dificultarían las tareas.

Los datos obtenidos fueron ajustados a las transformaciones lineales de la isoterma de Langmuir (1) y de Freundlich (2), a saber:

$$(1) \frac{c}{y} = \frac{c}{x_m} + \frac{1}{K x_m}$$

$$(2) \ln y = \ln K + b \ln c$$

donde:

y: fósforo adsorbido por unidad de peso de suelo

TABLA N° 1

Suelo de la calidad de Ezeiza. Datos analíticos.

Profundidad 0 - 20 cm	
pH (1: 1H ₂ O)	7,40
Mat.Org. (%) (Walkley Black)	6,20
P (ppm) (Bray y Kurtz N°1)	11,20
N (%) (Kjeldahl)	0,34
Clase textural	Franco

c: concentración de fosfato en la solución de equilibrio

K: constante relacionada con la energía de unión del adsorbente y el adsorbato.

x_m : capacidad máxima de adsorción.

K y b: constantes.

El análisis de la expresión lineal de la isoterma de Langmuir muestra que los valores de P adsorbido para la solución de concentración inicial de 15 µg/ml se desvían de la recta hacia el eje de las x.

Este hecho, puesto de manifiesto por distintos autores provoca una sobrevaluación del parámetro de adsorción máxima y una subestimación del parámetro K. En un trabajo anterior (2), utilizando soluciones con concentraciones iniciales desde 0.4 hasta 60ppm, se encontró que la aplicación de la ecuación lineal de Langmuir daba como resultado dos rectas. La intersección de las mismas correspondía a las soluciones con concentraciones iniciales de fósforo cercanas a los 15 µg/ml.

Los suelos utilizados en esa ocasión fueron franco arcillosos y franco arcillo limosos con pH de 7 a 8.4.

La aplicación de dos criterios distintos, ya sea analizando los datos obtenidos para la totalidad de las soluciones iniciales (criterio A), analizando los datos que provienen de las soluciones con concentraciones iniciales de fósforo mayores a 12 µg/ml (criterio B), dan los resultados que se señalan en la Tabla N° 2.

Es evidente que los supuestos básicos de la isoterma de Langmuir no se aplican rigurosamente a la fase sólida del suelo.

Bache explica que este hecho puede deberse a la coexistencia, en la fase sólida del suelo, de distintos sitios de adsorción o a la migración del fosfato adsorbido hacia zonas subsuperficiales o bien a la precipitación del anión fosfato.

La isoterma de Freundlich se pudo aplicar a todos los datos (soluciones con concentraciones iniciales entre 3 y 15 µg/ml) obteniéndose coeficientes de determinación más altos que en el caso anterior (Tabla n° 3). (Valores no corregidos).

Pero aún así, es importante tener en cuenta el fosfato inicialmente presente en el suelo que interviene en la dinámica del fósforo.

La determinación del fósforo en la superficie de la fase sólida es difícil. La utilización del intercambio isotópico, permite calcular el fósforo que, en un lapso determinado, intercambia con el fósforo radiactivo ^{32}P agregado en la solución de intercambio. Según Talibudeen O. (18), el fósforo sorbido sobre la superficie de la fase sólida, es el fósforo rápidamente intercambiable, que participa de la reacción rápida del intercambio. En el suelo considerado esta reacción se efectúa durante la primera hora de intercambio. Por esta razón se ha empleado un tiempo de intercambio de 0.50 horas, ya que tiempos mayores de intercambio involucrarían iones fosfatos no necesariamente superficiales.

Ahora bien, la obtención de un valor de fósforo intercambiable que permita evaluar el "fósforo en superficie", exige definir la concentración de la solución de equilibrio en la cual dicho

TABLA N° 2

Isoterma de Langmuir

Tratamiento	Criterio A	Criterio B		
	X_m	K	X_m	K
T	26.0	0.26	18.5	0.38
RF + S	24.0	0.22	20.3	0.28
RF	21.0	0.26	17.9	0.32
S	34.0	0.12	24.9	0.18

Criterio A: Rango P agregado: 3-15 ug P/ml

Criterio B: Rango P agregado: 3-12 ug P/ml

 X_m : capacidad máxima de adsorción (mg/100 g suelo)

K: constante de energía

valor se determina. Lo óptimo sería realizar el intercambio en soluciones de equilibrio similares a la concentración de equilibrio propia de cada suelo (I_e). Las dificultades metodológicas que implica trabajar con esta concentración (I_e), ha conducido a determinar el fósforo intercambiable para una solución de equilibrio de 0.3 ppm, teniendo en cuenta la importancia agronómica que, en función del desarrollo vegetal, algunos autores otorgan a este valor, (Mendoza, R. 1980; Ozanne, P y Shaw, T. 1968).

Para obtener el valor de P intercambiable para concentraciones de equilibrio de 0.3 ppm se ha procedido de la siguiente manera: graficando el fósforo isotópicamente intercambiable en función del fósforo remanente en la solución de equilibrio se obtiene una recta (Gráfico nº 1). Como se observa en la tabla que acompaña a ese gráfico los coeficientes de determinación son altamente significativos para el número de observaciones hechas en todos los casos. A partir de cada ecuación se calculó el fósforo isotópicamente intercambiable cuando la concentración de la solución es de 0.3 ppm.

En el protocolo utilizado, el radiofósforo ha sido agregado a sistemas en equilibrio, donde el aumento de los valores obtenidos corresponde al aumento de la fracción del fósforo adsorbido, que permanece en estado lábil.

En el Gráfico nº 2 se ven las curvas de fosfato adsorbido más el fósforo definido como isotópicamente intercambiable para concentraciones de 0.3 ppm en función del logaritmo de la concentración de la solución de equilibrio.

A pesar de haber recibido fósforo en diferente cantidad y forma y considerando que la cantidad de fósforo extraído por las plantas del fertilizante en una cosecha es muy baja con respecto a la cantidad de fósforo agregado, los valores experimentales obtenidos para el suelo con agregado de fertilizante coinciden en una única curva, que está claramente separada de la curva correspondiente al suelo sin adición de fósforo.

Bache y Williams (1971) presentan también curvas coincidentes para un suelo con dos niveles de fertilización pero no aclaran lo que pasa con el suelo natural sin fertilizar.

Barrow (1974) obtiene para diferentes niveles de fertilización, curvas separadas y expresa la posibilidad de que los resultados de Bache y Williams se deban al nivel de fertilización usado.

En nuestro caso puede ser que la incorporación de fósforo a un suelo no fertilizado provoque el desplazamiento de la curva pero que dentro de ciertos límites nuevas adiciones no tengan efecto notable.

Con los mismos datos del Gráfico nº 1 se obtuvieron las rectas a partir de las cuales se calcularon los valores corregidos de la Tabla nº 3 (isoterma de Freundlich). Una comparación de dichas rectas realizadas con una computadora Olivetti P. 6060 muestra que las rectas que corresponden a los suelos fertilizados no poseen diferencias significativas entre sí. Con respecto a la recta del suelo testigo difieren en la ordenada.

Ahora bien, volvamos a la discusión sobre la aplicabilidad de la ecuación de Langmuir para esclarecer la dinámica del fósforo en el suelo y veamos que pasa si para un rango de concentración inicial de fósforo de 0 a 12 $\mu\text{g/ml}$ calculamos los valores de capacidad máxima de adsorción y constante de energía, teniendo en cuenta el fósforo isotópicamente intercambiable cuando la concentración de la solución es de 0.3 ppm. Obtenemos los "valores corregidos" de la Tabla nº 4.

Dado que la capacidad máxima de adsorción es la inversa de la pendiente de la expresión lineal de isoterma de Langmuir es interesante analizar estas rectas y compararlas entre sí.

Si se comparan las rectas que dan origen a los valores de la Tabla 1, criterio B, se observa que hay diferencia significativa entre ellas,

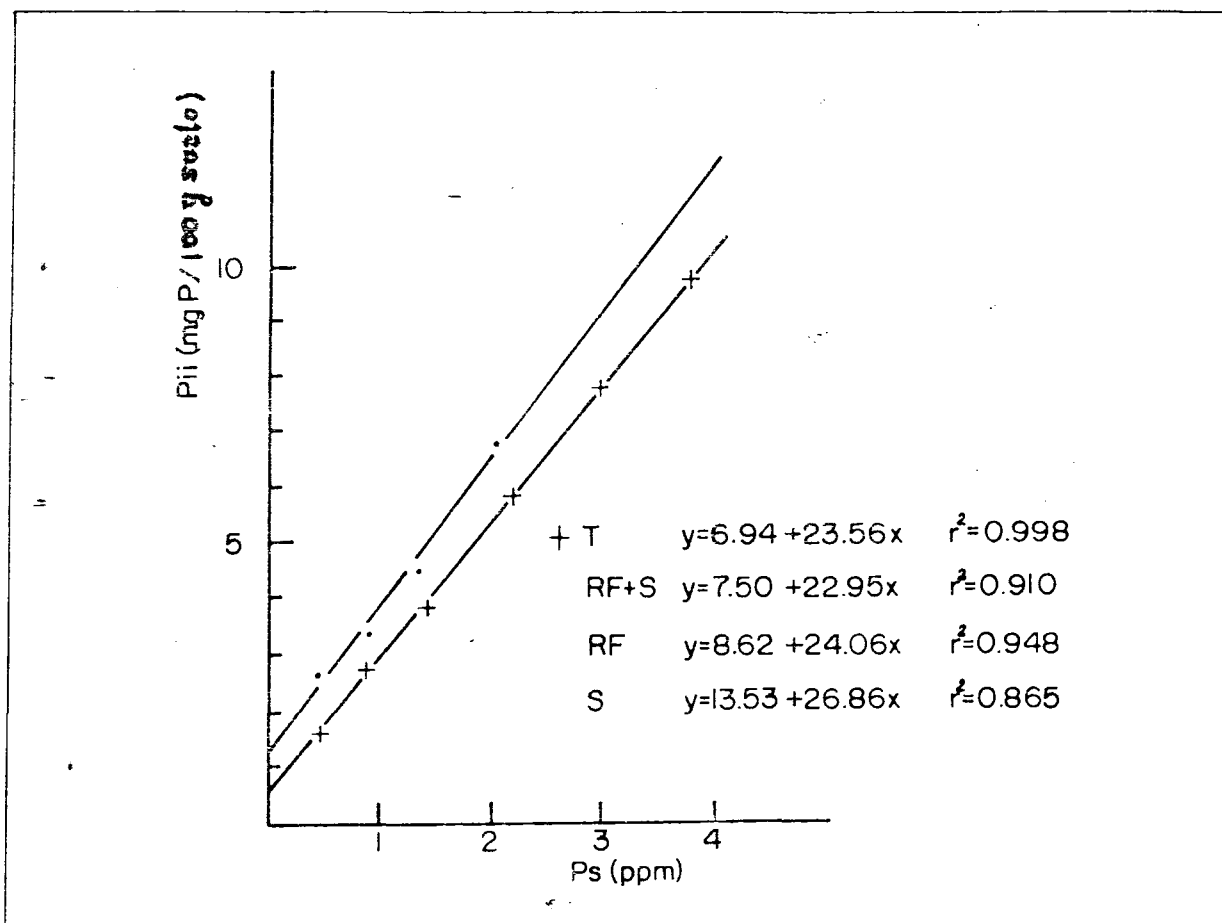


Gráfico 1: Fósforo isotópicamente intercambiable (Pii) en función del fósforo remanente en la solución de equilibrio (Ps).

TABLA N° 3

Transformaciones lineales de la ecuación de Freundlich y efecto del fósforo presente en el suelo en su cálculo.

Tratamiento	(mgP/100 g suelo) P inicial en sup.	Valores no corregidos			Valores corregidos		
		k	b	r^2	k'	b'	r^2
T	1.4 a	50.3	0.77	0.945	65.3	0.61	0.935
RF + S	1.44 a	42.9	0.78	0.869	58.5	0.61	0.887
RF	1.58 a	42.8	0.73	0.872	58.0	0.58	0.863
S	2.16 b	36.9	0.85	0.978	58.0	0.61	0.978

Los valores de fósforo inicial en superficie con letras iguales, pertenecen a rectas que no difieren significativamente entre sí.

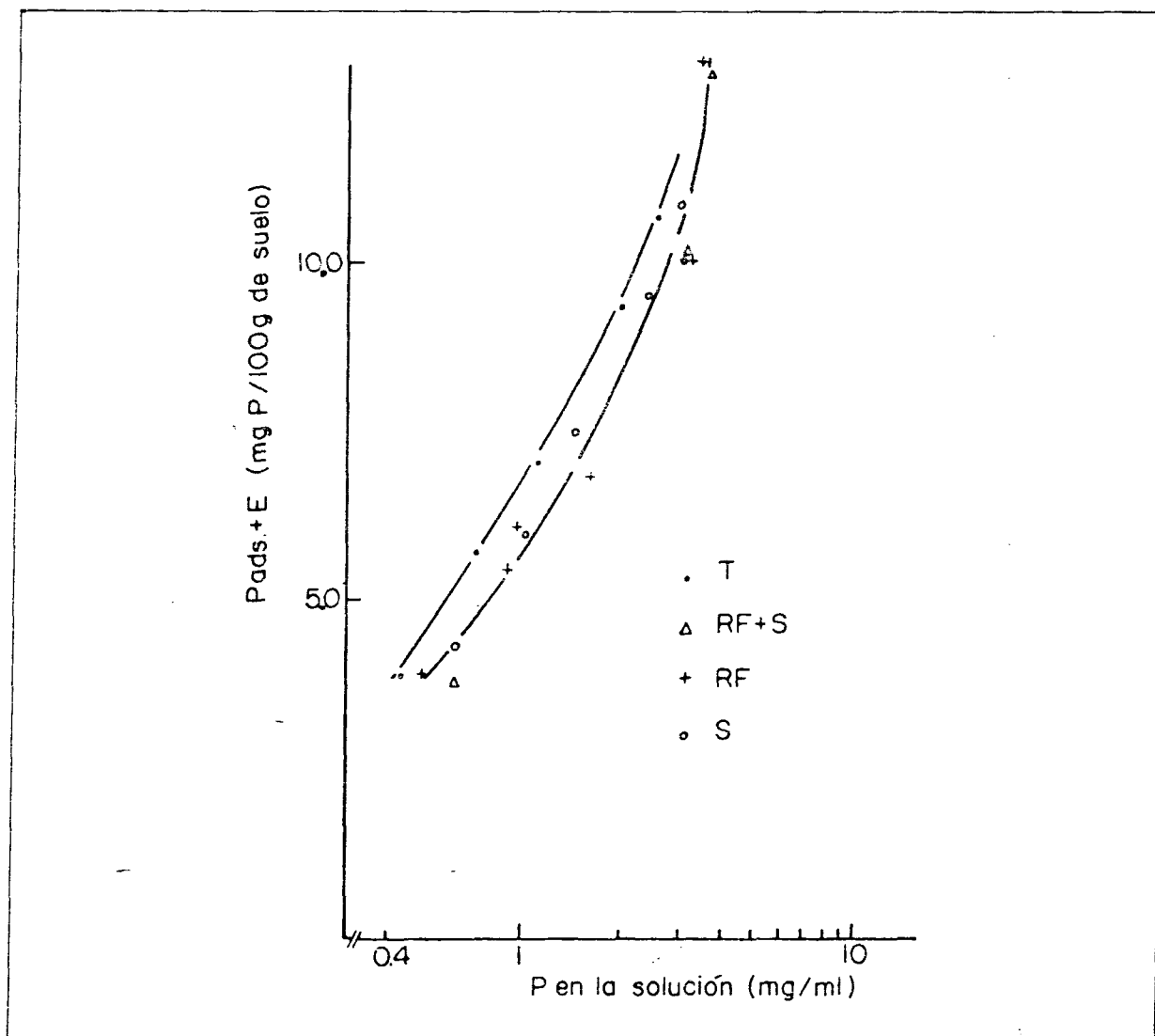


Gráfico 2: Variación del fósforo adsorbido total (Pads.) con el fósforo en solución.

pero, en cambio puede usarse una sola línea de regresión para todas las observaciones de la Tabla 4, que contiene los valores de adsorción corregidos en función del "fósforo en superficie".

CONCLUSIONES

Es posible utilizar las isotermas de adsorción para el estudio del fósforo en suelos, siempre que se realicen las correcciones necesarias.

La utilización de la isoterma de Langmuir exige emplear sobre concentraciones bajas de fósforo agregado, sin embargo subsisten las diferencias entre los valores de máxima adsorción para el mismo suelo que proviene de distintos tratamientos.

La utilización del fósforo en superficie como valor de corrección transforma los valores de

la isoterma de Langmuir de manera que no aparecen diferencias en las adsorciones máximas de los distintos tratamientos.

El fósforo en superficie, puede ser calculado por extrapolación del valor del fósforo intercambiable, medido en función del fósforo tanto agregado como el fósforo remanente en solución. El fósforo en superficie calculado de esta manera, se refiere al fósforo "lábil", que permanece intercambiable.

Los valores de fósforo en superficie hallados, no muestran diferencia entre los tratamientos testigos, roca fosfórica y superfosfato triple-roca fosfórica empleado en forma conjunta.

Estos valores se diferencian del fósforo en superficie encontrado en el suelo tratado con superfosfato triple.

El superfosfato triple produce un aumento signi-

TABLA N° 4

Isoterma de Langmuir

Tratamiento	P en sup. inicial	Criterio B			Criterio B corregido		
		X_m	K	r^2	X_m	K	r^2
T	1.40	18.5	0.38	0.92	16.3	0.70	0.97
RF + S	1.44	20.3	0.28	0.50	16.6	0.57	0.86
RF	1.58	17.9	0.32	0.69	15.3	0.67	0.85
S	2.16	24.9	0.18	0.79	17.3	0.55	0.99

X_m : capacidad máxima de adsorción (mg P/100 g suelo)

k: constante de energía

Fósforo en superficie inicial en mg P/100 g suelo.

ficativo del fósforo en superficie. La roca fosfórica no produce dicho aumento. La reacción de la roca fosfórica con la fase sólida del suelo da como resultado que el fósforo no permanece bajo forma lábil o intercambiable.

El fósforo en superficie resultante del tratamiento donde se adicionó la fertilización con superfosfato y roca fosfórica, no se diferencia significativamente del suelo testigo. La presencia de roca fosfórica produce la pérdida del efecto positivo del superfosfato sobre el fósforo en superficie. Este hecho muestra la reacción de los dos fertilizantes considerados.

Los valores corregidos de la isoterma de Freundlich da como resultado una pendiente (b) idéntica para todos los tratamientos mientras que la ordenada al origen permite separar el tratamiento testigo de los tratamientos fertilizados. Los tratamientos fertilizados no se diferencian entre sí.

La isoterma de Langmuir nos permite conocer el parámetro de máxima adsorción. Para un mismo suelo, cuando se utiliza el factor de corrección que deriva del fósforo en superficie, la adsorción máxima es igual para los distintos tratamientos con fertilizantes fosfatados. El fósforo en superficie, varía en función de los tratamientos previos y permite evaluar el efecto de los mismos, sobre el pool de fósforo lábil del suelo.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen a la Dra. Josefina Rodríguez y al personal de la División Capacitación, la colaboración prestada.

BIBLIOGRAFIA

1. BACHE, B.W. y WILLIAMS, E.G. - 1971. "A phosphate sorption index for soils". Journal of Soil Science, Vol. 22, nº 3.
2. BÄRBARO, N.O.; S. LÓPEZ y J.C. ESTÉVEZ.

1978. Aportes metodológicos al estudio del fósforo intercambiable. Influencia del fósforo utilizado como portador. VIII. RACS. Buenos Aires.

3. BÄRBARO, N.O.; LÓPEZ, S.C.; ROJAS DE TRAMONTINI, S.L. - 1980. "Fósforo isotópicamente intercambiable y fósforo adsorbido en suelos de la provincia de Entre Ríos". IX Reunión Arg. Cs. Suelo, 267-271.
4. BARROW, N.J. - 1974. "Effect of previous additions of phosphate on phosphate adsorption by soils". Soil Sci. 118, 82-9.
5. BARROW, N.J. - 1978. "The description of phosphate adsorption curves". J. Soil. Sci., 29, 447-462.
6. FITTER, A.H. y SUTTON, C.D. 1975. "The use of the Freundlich isotherms for soil phosphate sorption data". J. Soil. Sci., 26, 241-6.
7. FOX, R.L. y KAMPRATH, E.J. - 1970. "Phosphate sorption isotherms for evaluating the phosphate requirements of soils". Soil Sci. Amer. Proc., 34, 902-906.
8. GHELFI, R.A.; QUITEGUI, M.C. y BUJÁN, A. 1984. "Métodos radioisotópicos para la evaluación de la eficiencia de fertilizantes fosfóricos no marcados". Ciencia del suelo 2, 107-113.
9. GUNARY, D. - 1970. "A new adsorption isotherm for phosphate in soil" J. Soil Sci., 21, 72-77.
10. HOLFORD, I.C.R.; WEDDERBURN, R.W.M. y MATTINGLY, G.E.G. - 1974. "A Langmuir two-surface equation as a model for phosphate adsorption by soils". J. Soil Sci., 25, 242-255.
11. HOLFORD, I.C.R. y MATTINGLY, G.E.G. - 1976. "A model for the behaviour of the labile phosphate in soil". Plant and Soil 44, 219-229.

12. JACKSON, M.L. - 1964. "Análisis químico de suelos". Ed. Omega.
13. Mc AULIFFE, C.D.; HALL, N.S.; DEAN, L.A. y HENDRICKS, S.R. - 1974. "Exchange reactions between phosphate and soils: hydroxylic surfaces of soil minerals". Proc. Soil. Sci. Am. 12, 119-123.
14. MENDOZA, R.E. - 1980. "Adsorción de fósforo en el suelo y su relación con la producción de dos especies forrajeras". Rev. Fac. de Agronomía, 1(2), 19-30.
15. OLSEN, R.S. y WATANABE, F.S. - 1957. "A method to determine a phosphorus adsorption maximum of soil as measured by the Langmuir isotherm". Soil Sci. Soc. Proc. 21, 144-149.
16. OSTLE, B. - 1968. "Estadística Aplicada". Ed. Limusa Wiley, México.
17. OZANNE, P.G. y SHAW, T.C. - 1968. "Advantages of the recently developed phosphate sorption test over the older extractant methods for soil phosphate". 109 International Congress of Soil Science Vol. 2, 273-280.
18. TALIBUDEEN, O. - 1957. "Isotopically exchangeable phosphorus in soils". II Factors influencing the estimation of labile phosphorus. J. Soil. Sci. 8, 86-96.
19. WHITE, R.E. "Concepts and methods in the measurement of isotopically exchangeable phosphate in soil".