USO DE LA ISOTERMA DE ADSORCION PARA EVALUAR REQUERIMIENTOS DE FOSFORO
I. ISOTERMAS DE ADSORCION DE LOS SUELOS[1] /

*DANILO LOPEZ HERNANDEZ**
*I. CORONEL**
*L. ALVAREZ**

Abstract

The principal aim of this research work is to determine the phosphorus fertilizer requirements in some Venezuelan soils. The chosen soils were contrasting in both chemical and textural characteristics. The method consisted in determining, firstly the phosphorus adsorption isotherm (for each soil) and secondly, the P requirement of the plant crop under study, determined from pot or field experiments

This first paper details the study performed on the chemical characteristics of six representative Venezuelan soils making emphasis in their P– adsorption behaviour. It was found that six (6) days is a convenient period for the adsorption reactions to complete (equilibrate) and also that the reaction is temperature dependent. The well known Langmuir's isotherm model was found to adjust at the lower P additions (0-5 ppm P in equilibrium). On the other hand, the Temkin's model allows for the use of a wider P fertilizer treatments (until 12 ppm P in equilibrium). Phosphorus retention in these soils is a function both, of Fe and Al "active" forms and of the textural characteristics.

Introducción

Un desiderátum importante de la química agrícola moderna ha sido el de obtener métodos que permitan determinar con precisión las dosis de fertilizantes necesarias para lograr resultados óptimos de producción. En la definición de objetivos como ese, son múltiples los factores que hay que considerar, algunos estrechamente ligados a las características químicas del fertilizante, por ejemplo, su poca o gran movilidad en el suelo, propiedad que es definida por la capacidad de los suelos para retenerlo en formas total o parcialmente inaprovechables.

Por otro lado, las características del cultivo bajo estudio son también determinantes en el momento de definir una dosis de fertilizante químico. Es bien conocido que las necesidades o requerimientos varían de una especie a otra y que tales requerimientos dependen también de las características genotípicas y fenotípicas como son la extensión radical y la duración del ciclo de vida de la especie (anual o perenne), además de la etapa vegetativa de la planta ya que la demanda nutricional de un determinado cultivar será diferente si la determinación de ese parámetro fisiológico se realiza en dos períodos diferentes en la vida de la especie. En forma general, se puede señalar que las necesidades de nutrimentos son más elevadas al comienzo del período vegetativo que en las etapas de floración y fructificación (7).

Son numerosos los métodos que se han propuesto para estimar el *status* del fósforo en los suelos. Algunas de esas metodologías analizan directamente el nivel (o cantidad) del elemento en su forma aprovechable y tal parámetro corresponde al llamado valor Q. En otros casos se analiza la concentración del ele-

1 Recibido para publicación el 20 de agosto de 1980. Se agradece la colaboración financiera del CONICIT (proyecto 0460). L. Alvarez agradece la subvención concedida por este mismo Organismo, para finalizar su Trabajo Especial de Grado.

* Laboratorio de Estudios Ambientales, Instituto de Zoología Tropical, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela.

mento existente en la solución del suelo (valor I), pero modernamente se ha encontrado que es más conveniente la utilización de medidas que reflejen la interrelación de ambos parámetros, Q e I (1, 17).

La isoterma de adsorción como método para evaluar los requerimientos de fósforo en los suelos

Una isoterma de adsorción incluye un factor intensidad (I) que corresponde a la concentración de fosfatos en la solución en equilibrio y un factor (Q) representado por la cantidad de fósforo que está adsorbido en la superficie del suelo. Así, es posible en este diagrama de partición definir la dosis de P necesaria para alcanzar un valor predeterminado de P en el punto de equilibrio.

La concentración en tal punto de equilibrio, requerida para obtener un rendimiento óptimo de un cultivo será denominda en el presente trabajo como "requerimiento externo de P" para la especie. Tal característica debe ser una propiedad inherente a la especie en cuestión, aunque puede variar de acuerdo con el estado vegetativo de la misma y debe ser, dentro de la medida de lo posible, independiente del tipo de suelo. Si estas condiciones se cumplen, es factible utilizar el diagrama de adsorción para obtener (por interpolación), los requerimientos de abono fosfatado necesarios para un óptimo de producción en diferentes series de suelos.

El método ha sido utilizado en pastos para suelos de Nueva Zelandia por Ozanne y Shaw (24) quienes informan de un requerimiento externo para estos cultivos de 0.3 ppm. Fox *et al.* (5, 6, 7) señalan la conveniencia de este método para predecir los requerimientos de fertilizantes fosforados en suelos de propiedades físicas y químicas contrastantes; los experimentos realizados por esos autores incluyen diferentes especies cultivables tanto en condiciones de invernadero como en ensayos de campo (5, 6).

Es importante señalar que el uso de las isotermas de adsorción como técnica para la determinación de requerimientos de nutrimentos no es aplicable sólo al caso particular del fósforo. Así, Singh y Jones (27) utilizaron este método para evaluar requerimientos de K en suelos y también Shumway y Jones (26) lo usaron a fin de definir cuantitativamente las necesidades de boro.

El objeto de la presente investigación es el de presentar un conjunto de contribuciones sobre el uso del método de la isoterma de adsorción para predecir requerimientos de fósforo en varios suelos venezolanos. Como cultivo experimental se usó el frijol bayo *Vigna unguiculata* L. var. Tuy, y los resultados experimentales fueron confrontados con la información que suministran otros métodos experimentales. En esta contribución se hizo un estudio detallado de las características generales de los suelos utilizados y se incluyeron sus respectivas isotermas de adsorción.

Materiales y métodos

Suelos: Se utilizó el horizonte superficial (0-10 cm) de seis suelos localizados en distintas regiones del país. Las características generales de los mismos se detallan en el Cuadro 1.

Métodos:

Los métodos utilizados para la caracterización química de las muestras (Cuadro 1) y para los análisis de las reacciones de adsorción aparecen detallados en el apéndice I.

Resultados y discusión

Determinación del tiempo de equilibrio para la adsorción

En la Figura 1 se representa la cantidad de fósforo que permanece en la solución en función del tiempo. Hay una caída drástica en el nivel de P en solución, en especial en las primeras 12 horas de reacción, de manera tal que en ese relativamente corto lapso hasta un 85% del fósforo añadido al suelo Majomal es adsorbido por el suelo. En los siguientes días la reacción tiende a estabilizarse por lo que se tomó el lapso de 6 días como el tiempo de equilibrio necesario para los estudios de adsorción.

Con fines comparativos, el tiempo de equilibrio fue a su vez determinado haciendo variar, por un lado, el modo de agitación y, por otro, la fuente de fosfato (Figura 2). En el primer caso, en lugar de agitar las muestras 5 minutos dos veces diarias, éstas se mantuvieron en agitación constante; en lo que respecta al fertilizante añadido (2° caso) se suministraron soluciones de KH_2PO_4 además de fosfato de calcio.

La Figura 1 muestra que, en los primeros días de equilibrio, los valores de fosfato en el extracto son menores cuando el suelo es agitado en forma continua, es decir, que ocurre una mayor adsorción inicial; este resultado es de esperar, ya que el contacto entre la solución de fósforo y las superficies activas del suelo es mayor bajo agitación continua. Sin embargo, cuando el tiempo de agitación es más prolongado (6

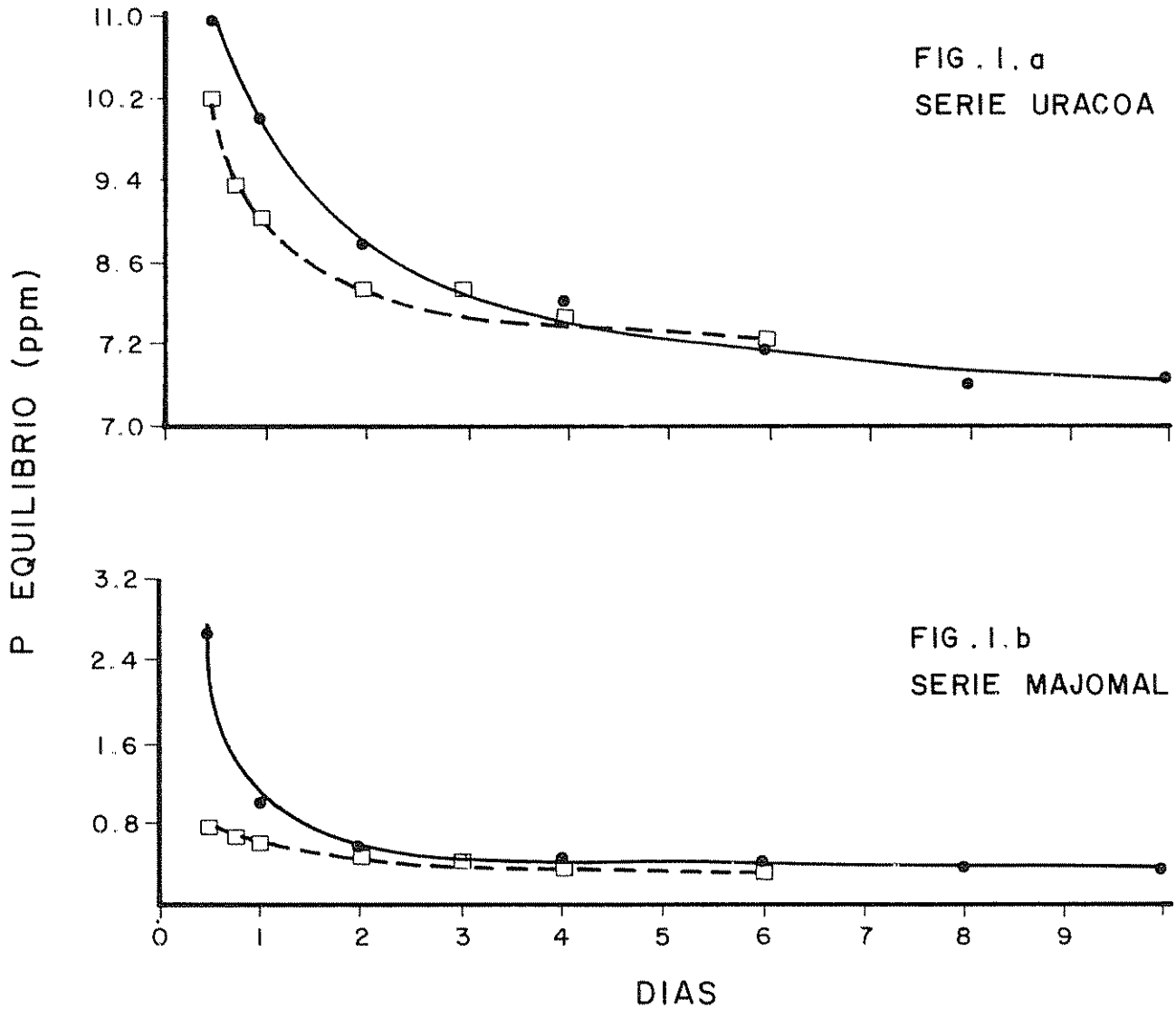

Fig. I Efecto de la forma de agitación sobre el tiempo de equilibrio. Forma de agitación: 5 minutos dos veces diarias (●); agitación continua (□)

días), el monto del fosfato adsorbido es indiferente de la modalidad de agitación (continua o parcial. Figura 1).

En cuanto a la fuente de fosfato añadido, los resultados obtenidos se muestran en la Figura 2. De acuerdo con las curvas, los niveles de fosfato se mantienen razonablemente estables después del sexto día, independientemente del tipo de sustancia utilizada. También se observó que para la serie Uracoa con el sistema KH_2PO_4, el fosfato remanente en el extracto es ligeramente mayor que cuando la fuente de fósforo es $Ca(H_2PO_4)_2$.

Efecto de la temperatura sobre la adsorción de fosfatos

Las reacciones de adsorción son dependientes de la temperatura, de manera tal que bajo un incremento térmico la adsorción física decrece. En el caso específico de la adsorción de fosfatos por el suelo (componentes químicos del mismo) el proceso ha sido demostrado que es una quimisorción de naturaleza exotérmica (la adsorción incrementa con la temperatura) (8, 18, 21). En el ambiente que fueron realizadas las investigaciones aquí reseñadas interesa estudiar el efecto de un rango de temperatura com-

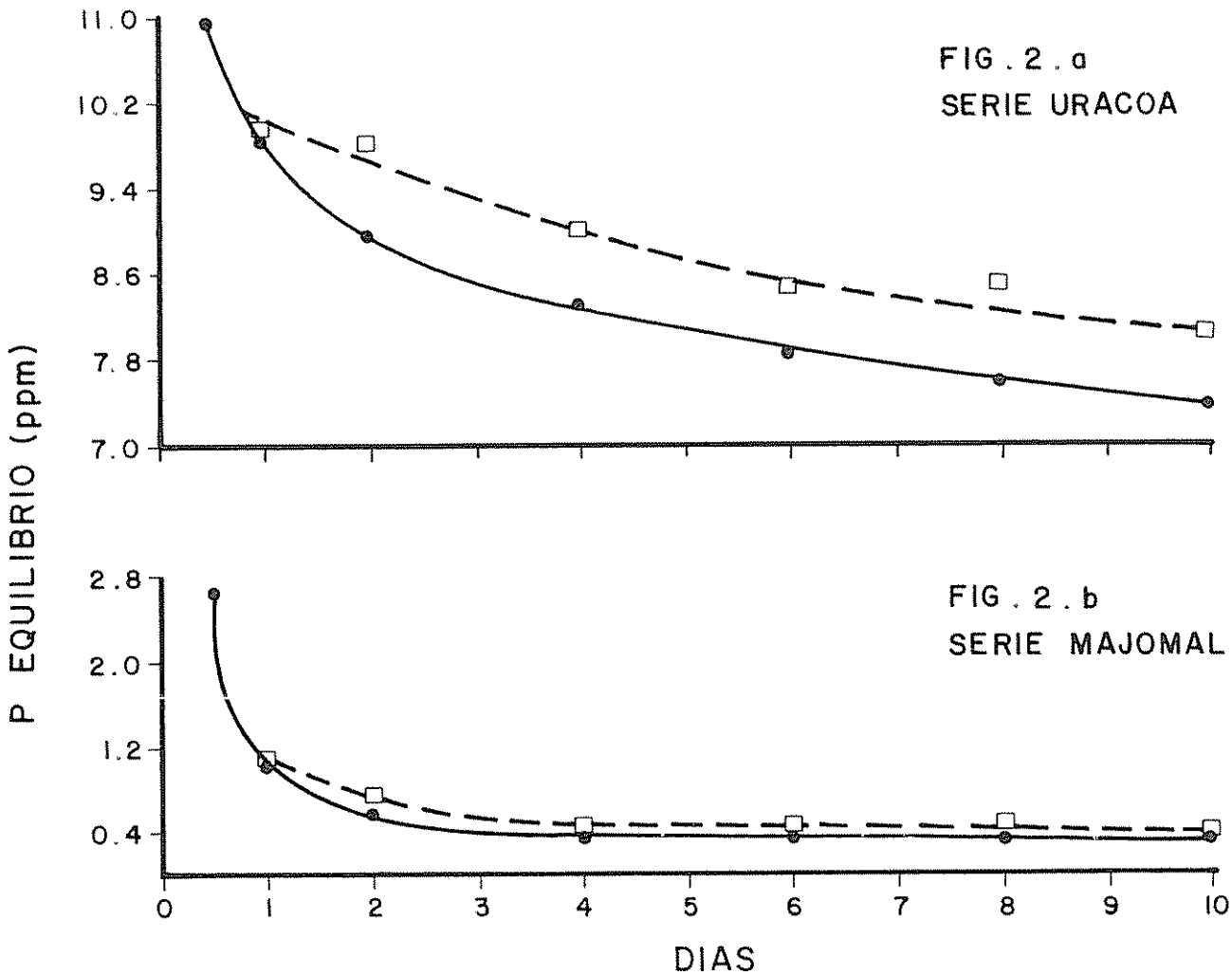

Fig. 2. Efecto de la fuente de fosfato sobre la adsorción, KH_2PO_4 (□) $Ca(H_2PO_4)$ (●)

prendido entre 20 y 30°C ya que las mismas corresponden a los extremos (mínimo y máximo) que fueron registrados en el ambiente donde se realizaron los experimentos de invernaderos (ver contribución II).

En la Figura 3 se presentan los resultados experimentales del efecto de la temperatura obtenidos tanto para la serie Majomal como para la Uracoa; como punto de experimentación se usó 200 ppm. Para el suelo Majomal, se observa una disminución notable en el nivel de fósforo en solución cuando la temperatura sube de 20 a 30°C, siendo menores los cambios en los otros puntos estudiados (5 a 20°C y 30 a 40°C). Por el contrario, en el caso de la serie Uracoa el efecto de la temperatura fue más notable para los cambios alrededor de las temperaturas extremas. Los resultados de este experimento, si bien sugieren que el efecto de la temperatura sobre la adsorción química del fósforo difiere de acuerdo con la naturaleza del suelo bajo estudio, a su vez señalan que tal fenómeno no se debe subestimar ya que en algunos casos se pueden presentar discordancias apreciables entre las condiciones de temperatura del laboratorio (donde se obtiene la isoterma de adsorción) y el invernadero (o campo experimental) donde se estudia el requerimiento nutrimental de la especie. Si el método de los diagramas Q, I (isotermas) es utilizado para la determinación de las dosis de fertilizantes, no se descarta que se deban efectuar correcciones adecuadas de temperatura en el caso de que los ensayos de laboratorios y de inver-

Cuadro 1. Características generales de los suelos analizados.

Localidad o Serie Orden	Banco Alfisol	Calabozo Oxisol	Tamaca Ultisol	Uverito Oxisol	Majomal Entisol	Uracoa Oxisol?
pH en agua	4.75	5.05	4.35	4.85	4.60	4.85
pH en KCl	4.30	4.20	4.00	4.50	4.30	4.40
Al Intercamb (meq/100 g suelo)	0.52	0.13	1.26	0.21	1.08	1.05
Fe libre (meq/100 g suelo)	20.2	14.5	18.1	8.0	29.8	14.1
Mat. Orgánica %	1.37	0.72	1.94	0.35	10.60	2.22
P Disponible (ppm)	0.0	3.0	6.5	0.0	41.0	6.0
K (ppm)	20.8	21.5	79.5	13.1	558.0	17.0
Na (ppm)	13.4	11.3	11.6	10.8	49.0	30.0
Ca (ppm)	38.6	118.0	160.0	29.9	833.0	8.0
Mg (ppm)	14.2	18.6	25.4	10.2	–	–
Mn (ppm)	59.2	16.8	16.4	2.2	117.0	0.0
Req. $CaCO_3$ (Ton/ha)	4.50	2.30	7.50	0.00	30.30	7.72
C.I.C. (meq Na/100 g)	6.00	16.70	24.00	9.30	40.42	8.52
Textura	Francoarenoso	Francoarcillo arenoso	Arcilloso	Arenoso	Arcilloso	Francoarenoso

nadero sean conducidos en condiciones térmicas diferentes (18).

Isotermas de adsorción de los suelos analizados

Las Figuras 4 y 5 representan los valores de adsorción de acuerdo con la ecuación convencional de Langmuir (c/x/m contra c) (16, 23). Para los suelos Tamaca, Majomal y Uverito se obtuvo una relación lineal en todo el rango de concentraciones de P en el equilibrio (0-5 ppm). En el caso de los suelos Calabozo y Uracoa existen dos relaciones lineales con un punto de inflexión a 2.2 ppm; mientras que el suelo Banco presenta una gran dispersión en los puntos que corresponden a las más bajas concentraciones de equilibrio (< 0.5 ppm). Los resultados presentados corroboran información recientemente publicada (25, 28)

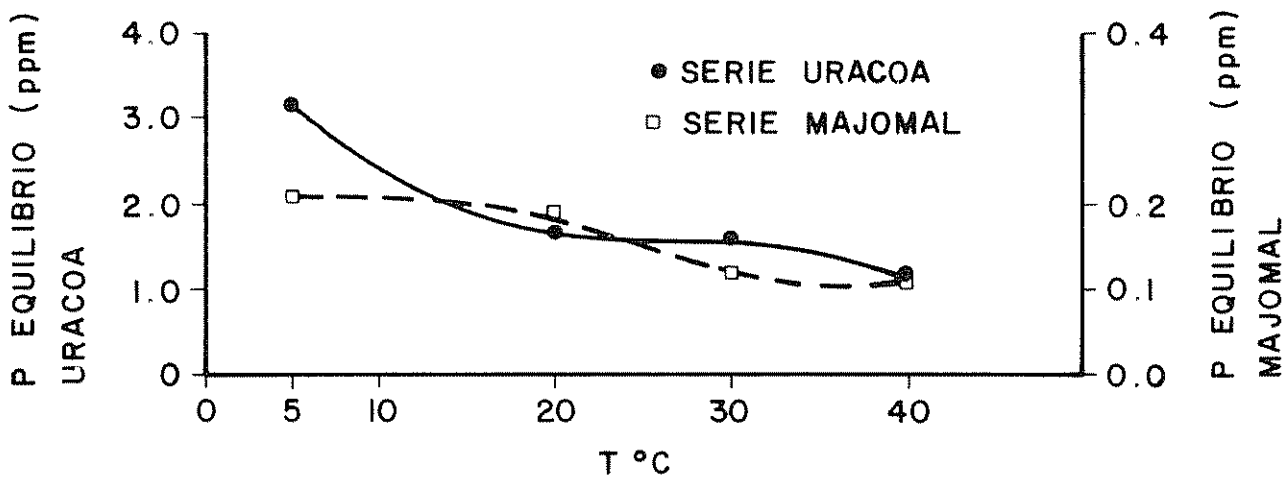

Fig. 3 Efecto de la temperatura sobre la adsorción.

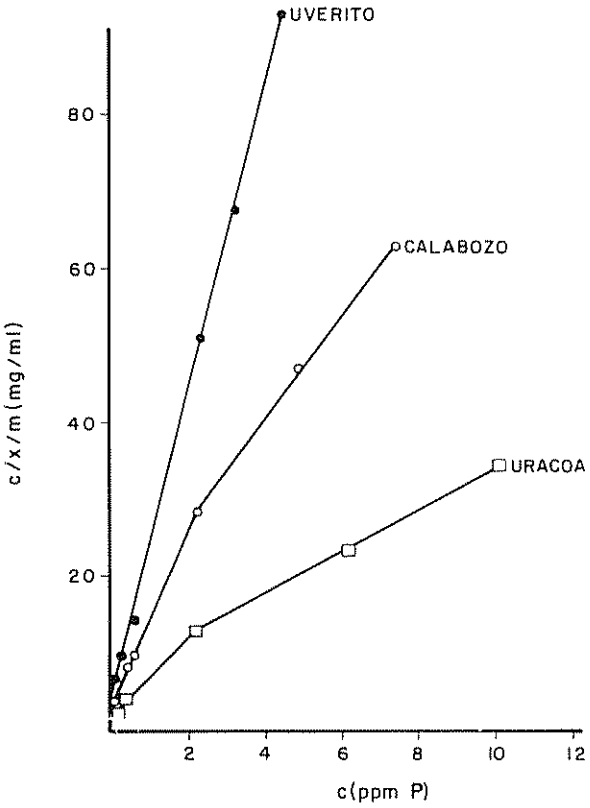

Fig 4. Isotermas de adsorción de P según el modelo de Langmuir.

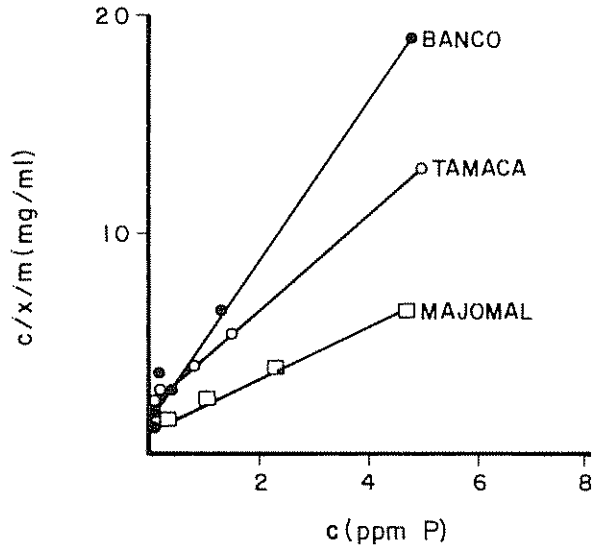

Fig. 5 Isotermas de adsorción de P según el modelo de Langmuir.

en donde se señala que el mejor ajuste para los datos de adsorción en suelos se hace con una ecuación binaria de Langmuir. La separación en las zonas de adsorción sugiere la existencia, en cada suelo, de dos regiones distintas de adsorción con diferentes afinidades por el anión ortofosfato. Por otro lado Gunary (9) y Larsen (13) presentan evidencias de que la ecuación de Langmuir puede no ser siempre aplicable. Los investigadores de la estación experimental de Levington (13) encontraron en un estudio de 120 suelos diferentes, que la relación c/x/m contra c fue curvilínea en la mayoría de los casos. Recientemente algunos autores (1, 16, 17) han utilizado el diagrama de Temkin, representado para las muestras estudiadas en las Figuras 6 y 7. El modelo de Temkin se representa en escala semilogaritmica como x vs Lnc, por tanto permite estudiar una gama más amplia de concentraciones del adsorbato. Esta situación es más realista puesto que en el sistema-suelo coexisten desde concentraciones de fósforo extraordinariamente bajas (0.01 ppm) en la solución del suelo hasta valores relativamente altos en las cercanías del gránulo de fertilizante; en lo que a nuestro estudio concierne el modelo de Temkin se ajustó hasta 12 ppm de P en el equilibrio cuando se trabajó con dosis de fertilizante de uso común en las prácticas agrícolas intensivas (Cuadro 2).

Cuadro 2. Capacidad máxima de adsorción de P (X max) y constante de energía de retención (k) de los suelos estudiados, valores calculados a partir de la ecuación de Langmuir*.

Suelo	Recta de Correlación	Coef. de Correlación	X máx. mg/g suelo	K	Dosis de P Usadas (ppm)
Tamaca	y = 21.14x + 2.27	0.91	0.46	0.95	20–300
Uverito	y = 19.61x + 4.30	0.99	0.05	4.57	10–300
Banco	y = 4.20x + 1.43	0.91	0.24	2.94	30–500
Calabozo	y = 11.75x + 2.53	0.99	0.09	4.64	10–500
Majomal	y = 1.03x + 1.53	0.91	0.97	0.68	100–1 000
Uracoa	y = 5.00x + 1.53	0.99	0.20	3.28	40–500

* La ecuación de Langmuir fue calculada con datos de adsorción correspondientes a concentraciones de P en equilibrio ≤ a 2.5 ppm.

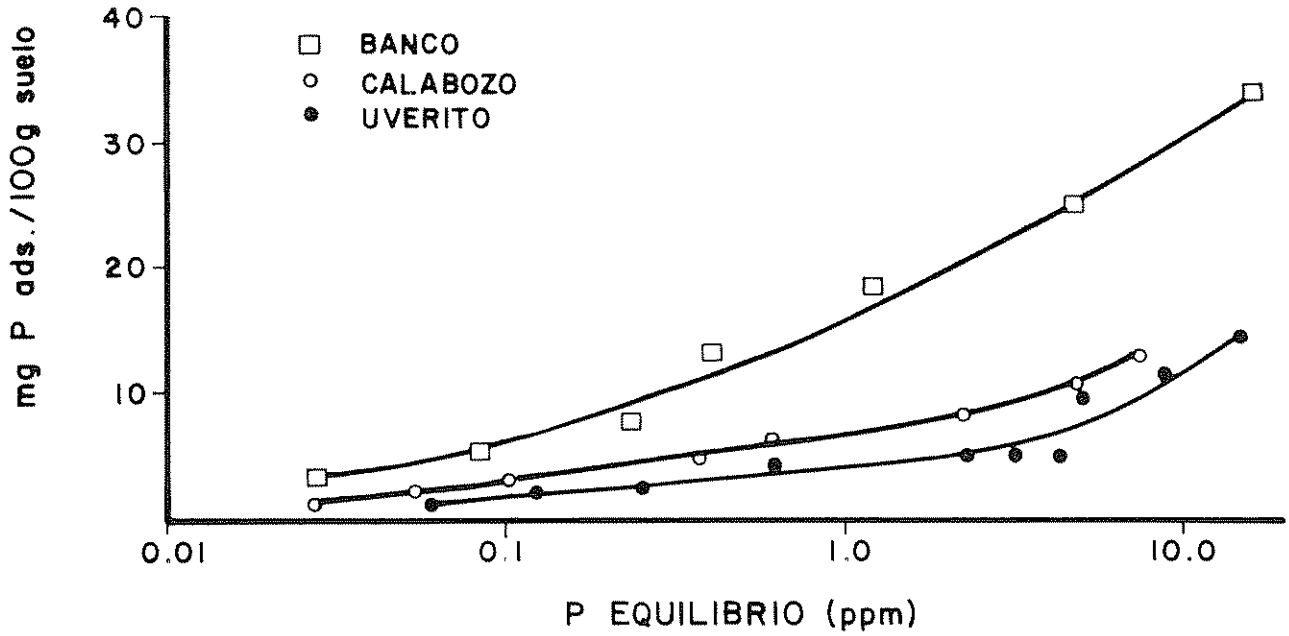

Fig. 6 Isotermas de adsorción de P según el modelo de Temkin.

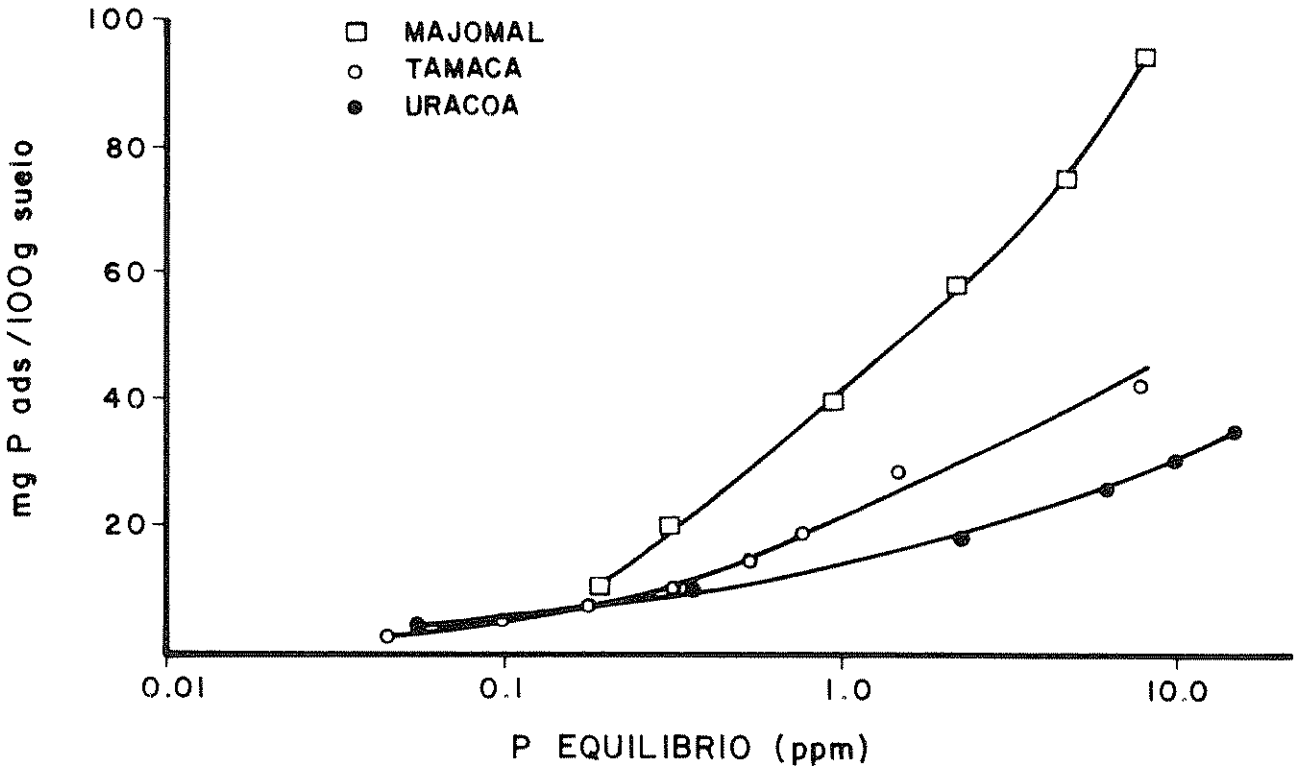

Fig. 7. Isotermas de adsorción de P según el modelo de Temkin.

La ecuación de Langmuir, sin embargo, presenta la gran ventaja de que, cuando los datos se ajustan a una linea recta, se puede calcular, a expensas de esa gráfica, los valores Xm (capacidad máxima de retención) y la constante (k) de energia de retención (17, 25).

Estos valores para los suelos bajo estudio se presentan en el Cuadro 2. La linea recta en este caso fue ajustada para valores de P en equilibrio inferiores a 2.5 ppm. La capacidad máxima de retención de fosfato sigue el orden Majomal>Tamaca>Banco>Uracoa >Calabozo>Uverito, con valores que oscilan entre 970 μg/g para el suelo Majomal a 51 μg/g para el suelo Uverito. Syers *et al* (28) presentan valores comprendidos entre 73-990 μg/g para suelos brasileños los cuales son muy semejantes a los aquí señalados. Sin embargo, Fox *et al* (5) para suelos tropicales de Hawaii anotan valores de Xm superiores a 2 500 μg/g.

La capacidad máxima de retención de aniones es un parámetro estrechamente relacionado con los elementos del complejo adsorbente del suelo; en particular destaca, para suelos y sedimentos ácidos, el papel esencial, en este proceso, de las formas "activas" del hierro, aluminio y manganeso (11, 15, 17); mientras que para suelos calcáreos la retención se atribuye además a la presencia de calcio (13, 17). Si para los suelos estudiados se comparan los valores correspondientes al contenido de aluminio intercambiable y de hierro libre (Cuadro 1) con la capacidad máxima de retención (Cuadro 2) se observa, en general, una estrecha asociación entre los primeros factores y la capacidad adsorptiva del suelo; de la misma manera los suelos más arcillosos (Majomal y Tamaca, Cuadro 1) presentan valores de retención más altos que los constituidos por partículas más gruesas (v.g. Uverito y Banco). La materia orgánica al parecer no juega un papel muy claro, no observándose, por tanto, una tendencia definida entre ambos parámetros; resultados como éste ya han sido señalados en la literatura (15, 30). López Hernández (17) ha señalado que las discrepancias con relación a este fenómeno se deben a la dualidad de la materia orgánica, la cual puede fijar fosfato, sobre todo a través de los complejos organometálicos (del Fe o Al principalmente) (14, 29), pero también es conocida la capacidad que tienen los derivados de la materia orgánica para bloquear los sitios de adsorción (19, 20, 22). Si se comparan los valores de la constante de energía de retención (k) con el contenido de materia orgánica de los suelos analizados (Cuadro 1 y 2) se observa que existe entre ambas propiedades una cierta asociación negativa; Datta y Srivastava (4) para suelos de la India indicaron que para suelos con el mismo contenido de sesquióxidos, la energía de enlace era menor mientras mayor era el contenido de materia orgánica de dichos suelos; es conveniente añadir que si bien existen pocos estudios en la literatura sobre este tópico, el hecho esencial que indica esta asociación está estrechamente ligado al papel benéfico de la materia orgánica como enmienda del *status* de P disponible en el suelo.

Conclusiones

La capacidad que tienen los suelos de diferentes latitudes del mundo para retener y posteriormente inmovilizar fertilizantes fosforados puede ser medida de acuerdo con dos procedimientos generales. En trabajos rutinarios para los cuales sea necesario procesar un gran volumen de información es más apropiado utilizar un índice de retención; tal índice permite separar las muestras (Series de Suelos) de acuerdo con esta propiedad (15, 17). En otros estudios es más conveniente hacer un análisis detallado de la reacción de adsorción bien para inferir sobre los mecanismos que controlan la retención (5, 13, 15), o como método para evaluar las necesidades de fertilizantes en los suelos. En este último sentido varios autores señalan la conveniencia de utilizar el diagrama de partición (Q, I) tradicionalmente conocido como isotermas de adsorción (5, 6, 18, 24).

En los suelos analizados en este trabajo la adsorción (en bajas concentraciones de equilibrio 0-5 ppm P) se ajusta al modelo de Langmuir. Es conveniente recalcar que esos niveles de P en el equilibrio no corresponden a dosis de fertilizantes sugeridas de manera arbitraria; por el contrario, los niveles de fertilizantes empleados corresponden a dosis de abono que podrian ser utilizados en prácticas agricolas normales (el Cuadro 2 presenta el rango de concentración de fertilizante usado para cada serie de suelo). En la próxima contribución se hará un estudio de la respuesta del frijol bayo (*Vigna unguiculata* L. var Tuy) a dosis de fertilizantes como las descritas por las isotermas de adsorción presentadas en este trabajo preliminar.

Resumen

El objetivo general de esta investigación es el de determinar los requerimientos de fertilizantes fosforados en suelos venezolanos de características texturales y químicas contrastantes. La metodología consiste en determinar la capacidad de retención (o adsorción) de los suelos utilizando la técnica de la isoterma de adsorción, simultáneamente con un análisis del llamado "requerimiento externo" (concentración en la solución del suelo) necesario para alcanzar un "óptimo" en el rendimiento del cultivo bajo estudio. En esta primera contribución se hace un estudio detallado de las características químicas y de los parámetros

de adsorción de los suelos escogidos. Un período de seis días fue determinado como el tiempo conveniente de equilibrio para los experimentos de adsorción, encontrándose además dependencia de estas reacciones con las temperaturas ensayadas.

El modelo tradicional de la isoterma de Langmuir se ajusta bien en las bajas dosis de fósforo ensayadas (0-5 ppm), mientras que el modelo de Temkin permite un ajuste hasta 12 ppm de fósforo en la solución de equilibrio. La retención de fósforo en estos suelos está en una buena medida relacionada con los niveles de Fe y Al "activos" y con las características texturales.

APENDICE I

Métodos usados

Análisis químicos de los suelos

Todas las determinaciones se realizaron por duplicado.

Determinación de pH en agua

Se prepara una suspensión acuosa en una relación 1:5, agitándose durante 20 minutos. Al final de la agitación se mide el pH de la suspensión con un electrodo de vidrio.

Determinación de pH en solución de KCl

A la muestra de suelo se le añade una solución de KCl 0.02 M en una relación 1:5. Se agita mecánicamente durante 1 hora, midiéndose en la suspensión el pH.

Determinación de aluminio intercambiable

Se utilizó un método reseñado previamente por López-Hernández y Burnham (15).

Determinación de hierro libre

Fue extraído con ditionito de sodio, ácido cítrico y citrato de sodio de acuerdo con Coffin (3). El hierro extraído se determina mediante fotocolorimetría o absorción atómica.

Determinación de materia orgánica

Es una adaptación del método de oxidación crómica de Walkley y Black, reseñado por Jackson (12).

Determinación del P disponible

Mediante la solución extractora Carolina del Norte. El fosfato disponible fue analizado por el método del ácido vanadomolibdofosfórico (12).

Determinación de K, Na, Ca disponible

Las muestras de suelo fueron tratadas con la solución extractora Carolina del Norte y analizadas por absorción atómica.

Capacidad de intercambio catiónico.

Según el método reseñado por Hesse (10), el cual se basa en la utilización de acetato de sodio para desplazar los cationes presentes en la muestra.

Análisis mecánico.

La textura de los suelos se analizó por el método del hidrómetro (2).

Requerimiento de encalado.

Se siguió la metodología desarrollada por Shoemaker reseñada por Hesse (10).

Obtención de las isotermas de adsorción

Determinación del tiempo de equilibrio apropiado para la construcción de las isotermas de adsorción.

A 5 g de suelo secado al aire y pasado por un tamiz de 32 mallas, colocados en una fiola de 250 cc de capacidad, se le agregaron 100 ml de una solución de $CaCl_2$ 0.01 M que contiene 20 ppm de fósforo en forma de Ca $(H_2PO_4)_2H_2O$. A cada muestra se le añadió dos gotas de cloroformo para inhibir la actividad microbiana y se colocaron en un agitador mecánico durante 5 minutos dos veces diarias y a una temperatura constante de 20 ± 1°C. A diferentes tiempos, se procedió a filtrar y determinar el fósforo en el extracto.

Construcción de las isotermas de adsorción

A 5 g de suelo, colocados en una fiola de 250 cc de capacidad, se le agregaron 50 ml de una solución de $CaCl_2$ 0.01 M que contenía diferentes cantidades de $Ca(H_2PO_4)_2H_2O$. La dosis de P añadido corresponde a enmiendas de fertilizantes de uso común en agricultura intensiva (50-1 000 ppm). Se les añadió 2 gotas de cloroformo y se procedió a agitar las muestras 5 minutos (dos veces diarias) durante el tiempo definido en el punto anterior. La reacción de adsorción se realizó a una temperatura de 20 ± 1°C. Luego se filtraron las muestras y se determinó el fósforo del extracto (método I, Jackson, 12). La representación gráfica de los datos se hizo: 1) utilizando el modelo de Langmuir; a partir de la misma representación también se calcularon los valores Xm (capacidad máxima de adsorción) y K (constante de adsorción) y 2) se usó el modelo de adsorción de Temkin (x vs Ln c). Tanto el tiempo de equilibrio como las isotermas de adsorción fueron paralelamente determinadas (con fines comparativos), utilizando como fuente de fosfato KH_2PO_4.

Efecto de la temperatura sobre la adsorción de fosfatos

Muestras de Uracoa y Majomal fueron equilibradas con 10 ppm de P. La reacción de adsorción fue efectuada a diferentes temperaturas (5, 20, 30 y 40°C), siguiendo la metodología antes descrita.

Literatura citada

1. BACHE, B. W. Practical implications of Quantity-Intensity relationships Proceedings International Seminar Soil Environment Fertilizating Management International Agricultural (SEFMIA). Tokyo: 777-787. 1977.

2. BOUYOUCOS, G. T. Directions for making mechanical analysis of soils by the hidrometer method. Soil Science. 42:225-228. 1936.

3. COFFIN, D. E. A method for the determination of free iron in soils and clays. Canadian Journal of Soil Science. 43:7-17. 1963.

4. DATTA, N. P. y SRIVASTAVA, S. C. Some factors involved in the availability of adsorbed phosphate. Indian Journal of Agricultural Science. 71:359-364. 1963.

5. FOX, R. L., PLUCKNETT, D. and WHITNEY, A. S. Phosphate requirements of Hawaiian latosols and residual effects of fertilizer phosphorus. **In.** International Congress of Soil Science, Transactions 9th (Adelaide, Aust.) v. 2, pp 301-310. 1968.

6. FOX, R. L., NISHIMOTO, R. K., THOMPSON, J. R. and DeLa PENA, R. S. Comparative external phosphorus requirements of plants growing in tropical soils. International Congress of Soil Science, Moscow, Communication IV:232-239. 1974.

7. FOX, R. L., and KAMPRATH, E. J. Phosphate sorption isotherms for evaluating the phosphate requirements of soil. Soil Science Society of America Proceedings. 34:902-907. 1970.

8. GARDNER, B. and PRESTON, J. Effects of temperature on phosphate sorption isotherms and phosphate desorption. Soil Science and Plant. Anal. 4:83-93. 1973.

9. GUNARY, D. A new adsorption isotherm for phosphate in soils. Journal of Soil Science 21:72-77. 1970.

10. HESSE, P. R. Chemical Analysis. John Murray Publishers Ltd., 1971.

11. HEMWALL, J. B. The fixation of phosphorus in soils. Advances in Agronomy. 9:95-112. 1957.

12. JACKSON, M. L. Análisis quimico de los suelos, 2 ed. Madrid. Omega, 1970.

13. LARSEN, S. Soil phosphorus. Advances in Agronomy 19:151-210. 1967.

14. LEVESQUE, M. and SCHNITZER, M. Organometallic interactions in soils. 6. Preparation and properties of fulvic acid metal phosphates. Soil Science 103:183-190. 1967.

15. LOPEZ-HERNANDEZ, D. and BURNHAM, C. P. The covariance of phosphate sorption with other soil properties in some British and tropical soils. Journal of Soil Science 25(2):196-206. 1974

16. LOPEZ-HERNANDEZ, D. and BURNHAM, C. P. The effect of pH on phosphate sorption in soils. Journal of Soil Science 25(2):2-16. 1974.

17. LOPEZ-HERNANDEZ, D La química del fósforo en suelos ácidos. Maracay, Universidad Central de Venezuela, Biblioteca, 1977. 123 p.

18. LOPEZ-HERNANDEZ, D., ALVAREZ, L. and POLANCO, M. Phosphate requirement for *Vigna unguiculata* L. var. Tuy growing in two contrasting Venezuelan soils. Proceedings International Seminars Soil Environment Fertilization Management International Agricultural (SEFMIA). Tokyo, 1977, pp. 517-524.

19. LOPEZ-HERNANDEZ, D. y FLORES AGUILAR, D. La desorción de fosfatos en suelos. Implicaciones fisioecológicas en el proceso. Acta Científica Venezolana 30:23-35. 1979.

20. LOPEZ-HERNANDEZ, D., FLORES, D., SIEGERT, D. and RODRIGUEZ, J. V. The effect of some organic anions on phosphate removal from acid and calcareous soils. Soil Science. 128:321-326. 1979.

21. MULJADI, D., POSNER, A. M. and QUIRK, J. P. The mechanism of phosphate adsorption by kaolinite, gibbsite and pseudoboehmite III. The effect of temperature on adsorption. Journal of Soil Science. 17:238-247. 1966.

22. NAGARAJAH, S., POSNER, A. M. and QUIRK, J. P. Desorption of phosphate from kaolinite by citrate and bicarbonate. Soil Science Society of America Proceedings 32:507-510. 1968.

23. OLSEN, S. R. and WATANABE, F. S. A method to determine a phosphorus adsorption maximum of soils as measured by the Langmuir isortherm. Soil Science Society of America Proceedings. 21:144-149. 1957.

24. OZANNE, P. C. and SHAW, T. C. Advantages of the recently developed phosphate sorption test over the older extractant methods for soil phosphate. In International Congress Soil Science, Transactions 9 th (Adelaide, Aust.) V. 2, pp. 273-280. 1968.

25. RAJAN, S. S. and FOX, R. L. Phosphate adsorption by soil. II. Reactions in tropical acid soils. Soil Science Society of America Proceedings 39:849-851. 1975.

26. SHUMWAY, J. S. and JONES, J. P. Boron sorption isotherm. A method to estimate fertilizer requirement. Comm. in Soil Science and Plant Anal. 3:477-485. 1972.

27. SINGH, B. B. and JONES, J. P. Use of sorption isotherm for evaluating potassium requirements of plants. Soil Science Society of America Proceedings 39:881-886. 1975

28. SYERS, J. K., BROWMAN, M. G., SMILLIE, G. W. and COREY, R. B. Phosphate sorption by soils evaluated by the Langmuir adsorption equation. Soil Science Society of America Proceedings. 37:358-363. 1973.

29. WEIR, C. C. and SOPER, R. J. Interaction of phosphates with ferric organic complexes. Canadian Journal of Soil Science. 43:393-399. 1963.

30. WILLIAMS, E. G. Influences of parent material and drainage conditions on soil phosphorus relationships. Agrochimica 3:279-309. 1959.

NOTAS Y COMENTARIOS

Clínicas de diagnóstico fitosanitario forestal en Chile.

La experiencia ha demostrado que el control de plagas y enfermedades forestales, escapa a los cánones generales establecidos en los cultivos agronómicos, especialmente por la longevidad, desarrollo alcanzado y superficie de los cultivos forestales. Estas características particulares han determinado que en Chile se reconozca cada día un rol de mayor importancia a las medidas de carácter preventivo dentro del manejo forestal.

Gracias a los esfuerzos desplegados a través de la planificación de medidas preventivas por las Universidades y la Corporación Nacional Forestal, es posible afirmar que en la actualidad no existen problemas fitosanitarios relevantes en Chile.

La preocupación de proteger los recursos forestales en Chile se remonta a varias décadas, pero sólo en 1977, la Corporación Nacional Forestal (CONAF) en estrecha colaboración con las Universidades de Chile, Concepción y Austral, logró que el Proyecto de Investigación y Desarrollo Forestal CONAF/FAO/PNUD/CHI/76/003, incluyese dentro de sus actividades de desarrollo un Programa Nacional para la detección, evaluación y control de enfermedades y plagas forestales.

Dicho Programa comprende las nuevas plantaciones y el bosque nativo y dirige sus actividades a la detección, evaluación biológica y económica, y también al establecimiento de las medidas de control más adecuadas.

El cumplimiento de estas actividades, se lleva a cabo mediante dos instancias, la primera es una estructura funcional de la Corporación Nacional Forestal, que considera un Coordinador Nacional dependiente directamente del Departamento de Protección en la Sede de la Corporación y Coordinadores Regionales en las principales regiones forestales del país. La segunda instancia actúa en forma coordinada con el esquema anterior y está constituida por tres "Clínicas de Diagnóstico" que pertenecen a las Universidades de Chile, Concepción y Austral, respectivamente.

Las Clínicas de Diagnóstico cumplen tres objetivos fundamentales:

- Identificar las enfermedades y plagas forestales.
- Registrar informes de ocurrencia.
- Proponer medidas de control y encauzar proyectos de investigación a través de la Corporación Nacional Forestal y Empresas Particulares.

El envío de muestras a las "Clínicas de Diagnóstico" se canaliza a través de los Coordinadores Regionales o cualquier persona particular que detecte algún problema fitosanitario en el bosque.

La creación de estas estructuras de protección fitosanitaria, se encuentra avalada por dos razones íntimamente ligadas:

1. En Chile, en los últimos decenios, la producción de madera aserrada y fibra se ha basado fundamentalmente en plantaciones de *Pinus radiata* D. Don, permitiendo el incremento y desarrollo de las industrias de madera y celulosa con alta dependencia de una especie.

2. La superficie actual de plantación de *Pinus radiata*, es de aproximadamente 637 000 hectáreas distribuidas entre las V y X regiones del país, las cuales, con una tasa anual de plantación de 70 000 hectáreas, alcanzarían para fines de siglo un total estimado de 1.2 a 1.4 millones de hectáreas.

Ello explica que Chile haya dado especial importancia al establecimiento de tales mecanismos de protección de enfermedades y plagas forestales.