

INFLUENCIA DE LAS PROPIEDADES DE ALGUNOS SUELOS NO CALCÁREOS EN LA PÉRDIDA DE DISPONIBILIDAD DEL FOSFATO AÑADIDO

E. AFIF KHOURI¹, E. ÁLVAREZ RODRÍGUEZ², C. GRANDA GUTIÉRREZ¹

¹Departamento de Biología de Organismos y Sistemas, Escuela Universitaria de Ingenierías Técnicas, Campus de Mieres, 33600-Mieres.

²Departamento de Edafología y Química Agrícola, Escuela Politécnica Superior, 27002-Lugo.

Abstract. In ten non calcareous soils of the Asturias occident were studied the properties that more influence in the loss of availability of phosphate applied at different rates. After adding growing quantities from phosphate to a portion of soil previously depleted in phosphorus, monthly and during a period of 120 days, available phosphorus was estimated using chemical extractant Mehlich 3 (M3). The negative correlation, in the whole period of incubation, among the availability index (the proportion of added P that remained extractable according to M3 method) the aluminium and iron oxides extracted with acid oxalate and the content of organic matter indicate that the amorphous oxides present high surfaces for the phosphate adsorption. The high aluminium and iron content tied to the organic colloids increase organic matter capacity for phosphate adsorption.

Key words: Available phosphorus, Mehlich 3 extractant, phosphorus sorption, soil testing

Resumen. Se estudiaron en diez suelos no calcáreos del occidente Asturiano las propiedades que más influyen en la pérdida de disponibilidad del fosfato en distintas condiciones de reacción suelo-fosfato. Tras añadir cantidades crecientes de fosfato a una porción de suelo previamente agotado de fósforo se estimó, mensualmente y durante un periodo de 120 días, el fósforo asimilable mediante extracción con el reactivo químico Mehlich 3. Las correlaciones negativas encontradas, en todo el periodo de incubación, entre el índice de disponibilidad medio para adiciones elevadas (la proporción entre el incremento del fósforo y el total aplicado), los óxidos de aluminio y hierro extraídos con oxalato ácido y el contenido de materia orgánica indica que los óxidos de baja cristalinidad presentan superficies de alta afinidad para la adsorción de fosfato. El alto contenido de aluminio y hierro adsorbidos en los coloides orgánicos aumenta la capacidad de la materia orgánica para adsorber fosfato.

Palabras clave: Fósforo asimilable, reactivo Mehlich 3, adsorción de fósforo, análisis de suelo

INTRODUCCIÓN

El fósforo del suelo está distribuido en varios reservorios interconectados y el flujo entre ellos, en ausencia de fertilización, está regulado principalmente por la absorción de iones ortofosfato por las raíces de las plantas (Mengel y Kirkby, 2001). Al agregar al suelo

un fertilizante fosfatado, éste se ve involucrado en una reorganización a través de mecanismos de adsorción-desorción, precipitación-disolución e inmovilización-mineralización. De todos ellos, los procesos de adsorción-desorción son los más rápidos y, por tanto, los responsables más inmediatos de mantener el equilibrio de los iones fosfato en la disolución del suelo ante la

modificación de su concentración desde o hacia otro reservorio (Afif *et al.*, 1993).

Greenwood (1981), afirma que solo una pequeña cantidad, del orden del 15% del fósforo aplicado a los suelos, es utilizado por las cosechas de forma inmediata, el resto del fósforo se convierte en formas insolubles de la fracción no lábil, incidiendo desfavorablemente sobre la economía de la aplicación de los fertilizantes fosfatados.

En la rutina habitual, la disponibilidad del fósforo en el suelo se estima mediante las cantidades extraídas por distintos extractantes. El poder extractante de distintos reactivos químicos está influenciado por diversas propiedades del suelo, en particular aquellas que determinan su capacidad de adsorción de fósforo (Cajuste *et al.*, 1992). La mayoría de los laboratorios de análisis de suelo emplean el método de Olsen desarrollado originalmente para suelos calcáreos, como método oficial de determinación de fósforo asimilable (Buondonno *et al.*, 1992). Los métodos Bray 1 y Bray 2 se utilizan a menudo en la determinación de fósforo asimilable en suelos ácidos (Holford, 1997). Entre los extractantes multi-elemento utilizados de forma creciente en los últimos años (Raij, 1994) destaca el reactivo Mehlich 3 (Mehlich, 1985) ampliamente usado en Estados Unidos y Canadá, si bien su uso es poco habitual en los países europeos (Buondonno *et al.*, 1992).

De todos los métodos anteriores, el Mehlich 3 altamente correlacionado con la extracción de fósforo por la planta y con el rendimiento vegetal, parece el más adecuado para la estimación de fósforo asimilable en una amplia gama de suelos no calcáreos, ya que los de Bray 2 y Olsen parecen sobreestimar el fósforo asimilable en suelos ricos en componentes no cristalinos (Fernández, 1997; Monterroso *et al.*, 1999).

El presente trabajo tiene como objetivo estudiar la pérdida de disponibilidad del fosfato aplicado, a través del tiempo, en relación con

las propiedades de 10 suelos de carácter ácido del occidente de Asturias.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para la realización de este trabajo se tomaron muestras en distintos lugares del occidente Asturiano (Boal, Grandas de Salime, Cartavio, Cangas de Narcea, Tineo y Villaviciosa), y que comprenden Udorthent, Eutrudept y Dystrudept desarrollados en distintos materiales parentales (rocas básicas, areniscas, cuarcitas apizarradas, filias y gneis).

Se recogieron de cada localidad 5 kg de la capa arable a 0-20 cm de profundidad. El suelo recogido en ningún caso había sido abonado recientemente con fosfato. Una pequeña parte de la tierra fina se almacenó para los análisis posteriores y con el resto se realizó un experimento de agotamiento para obtener un nivel de fósforo Mehlich 3 bajo ($PM3 < 5 \text{ mg kg}^{-1}$), cultivándose varias veces (2-3 repeticiones, dependiendo del fósforo Mehlich 3 en el suelo inicial) con una alta densidad de *Lolium multiflorum* (raigrás italiano, variedad del país - Ordenes) en invernadero, a temperatura $22 \pm 3^\circ \text{C}$. Las plantas se cortaron 40 días después de la siembra. Al suelo, una vez seco al aire, se le eliminaron las raíces y se tamizó (2 mm de malla) para repetir de nuevo el experimento de agotamiento, tal como se ha descrito.

Entre las propiedades físico-químicas se determinó la textura usando hexametáfosfato sódico más Na_2CO_3 , como dispersante. Para hallar la capacidad de campo (CC) se utilizaron embudos cilíndricos tapados con algodón por la base, llenándolos con muestras de suelo y añadiendo el agua suficiente para humedecer, transcurrido 48 h, tres cuartas parte del suelo. El carbono orgánico se determinó por oxidación con $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 1N, según el método de Walkley y Black (1934); el Aluminio de cambio con KCl 1 M (Lin y Coleman, 1960); bases extraíbles, con cloruro de bario no tamponado, por absorción atómica; el fósforo disponible se

determinó por el método de Mehlich 3 (Mehlich, 1985); los óxidos de hierro y aluminio pobremente cristalinos fueron extraídos con oxalato-amónico ácido según el método de Blakemore (1978) y el contenido de hierro y aluminio ligados a la materia orgánica fue extraído con pirofosfato sódico 0,1 M por el método de Bascomb (1968).

Muestras de 100 g de suelo procedentes del experimento de agotamiento se incubaron con cantidades crecientes de $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ (0, 30, 60, 90 y 150 mg P kg^{-1}) en vasos de polietileno a $22 \pm 2^\circ \text{C}$. Se adicionó el fósforo en disolución para todos los niveles (dos repeticiones para cada nivel), agregando diariamente la cantidad de agua necesaria para llevar el suelo a capacidad de campo. De estos suelos se tomaron 10 g cada 30 días, a fin de analizar el fósforo extraíble por el reactivo Mehlich 3. La duración total

del ensayo fue de 120 días.

El índice de disponibilidad (ID), definido como la proporción entre el incremento en fósforo extraíble por el método de Mehlich 3 y el fósforo añadido, ha sido estudiado para las distintas dosis de adición de fertilizante fosfatado. Esto permite contemplar la pérdida de disponibilidad por reacciones de adsorción y precipitación, que dependen del intervalo de concentración en que se produce la reacción suelo-fósforo.

El tratamiento estadístico de los datos, análisis de regresión simple y múltiple, se realizó mediante el programa SPSS 11.5 (SPSS, 2002).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las propiedades básicas de los suelos estudiados se muestran en la Tabla 1.

TABLA 1. Propiedades generales de los suelos

pH ¹	CE ²	Ar ³	MO	Fe _o ⁴	Al _o ⁴	Fe _p ⁵	Al _p ⁵	CICE ⁶	Al de cambio
	dS m ⁻¹			-----g kg ⁻¹ -----					---cmol _c kg ⁻¹ ---
5,6	0,04	197	51	3,94	1,03	1,78	0,99	4,37	0,25
5,3	0,07	150	88	5,43	1,90	3,23	1,88	9,34	0,60
5,2	0,09	421	108	5,94	2,46	2,48	1,91	10,33	1,47
6,5	0,11	342	118	7,83	1,16	1,58	0,63	12,56	0,01
4,9	0,06	397	85	4,88	3,67	3,07	3,20	4,95	3,97
4,5	0,05	295	229	9,83	8,76	3,68	2,54	11,92	9,73
4,8	0,06	195	103	4,75	9,22	3,03	3,62	4,19	3,32
4,2	0,10	153	106	4,59	3,75	2,82	2,83	7,40	5,84
4,0	0,09	184	143	5,08	4,58	4,82	1,87	14,39	12,03
4,1	0,06	189	78	4,57	2,56	3,91	2,50	6,89	6,18

¹pH (H₂O) relación suelo:disolución (1:2,5); ²conductividad eléctrica en el extracto (1:5) medida a 25° C; ³arcilla; ⁴hierro y aluminio extraíbles con oxalato amónico ácido; ⁵hierro y aluminio extraíbles con pirofosfato sódico; ⁶capacidad de intercambio catiónico efectiva.

Los diez suelos seleccionados presentaban un amplio intervalo de variación en las propiedades que se consideran importantes en la dinámica del fósforo. Dentro de los compuestos de Al y Fe de baja cristalinidad, los de naturaleza no orgánica (obtenidos por diferencia entre las extracciones de oxalato ácido y pirofosfato: Al_o-Al_p, Fe_o-Fe_p) son, en general, menos abun-

dantes que los de carácter orgánico, Al_p y Fe_p, como es habitual en suelos ricos en materia orgánica (Alvarez *et al.*, 1992).

En la matriz de correlación entre las propiedades básicas de los suelos, se observaron buenas correlaciones entre el contenido de materia orgánica y los óxidos de Fe y Al extraídos con oxalato amónico tamponado a pH 3, con

un coeficiente de correlación de 0,85*** y 0,64**, respectivamente, y con los compuestos de Fe y Al no cristalinos inorgánicos ($r = 0,56^{**}$ y $0,74^{***}$, respectivamente). Del mismo modo se encontraron buenas correlaciones entre el Al_0 y el contenido de Fe y Al extraídos con pirofosfato sódico 0,1 M, con un coeficiente de correlación de 0,44* y 0,70***, respectivamente, existiendo también una correlación entre estas dos últimas ($r = 0,45^*$).

Tras adicionar cantidades crecientes de fosfato a una muestra de 100 g de suelo agotado, se calcularon mensualmente, durante el

periodo de incubación, y para todos los niveles, los ID. El motivo principal de seleccionar y calcular el ID en este estudio, es hallar la cantidad de fósforo necesario para alcanzar en los suelos estudiados un nivel de P Mehlich 3 (Fixen y Crove, 1990). Para todos los suelos y a todos los niveles de adición de fósforo, el ID disminuyó con el tiempo, tal como muestran estudios de otros autores (Sharpley *et al.*, 1989; Afif *et al.*, 1993, 2004). La proporción de disminución del ID con el tiempo dependía del nivel de adición de fosfato. La figura 1 ofrece una representación de los cambios de disponi-

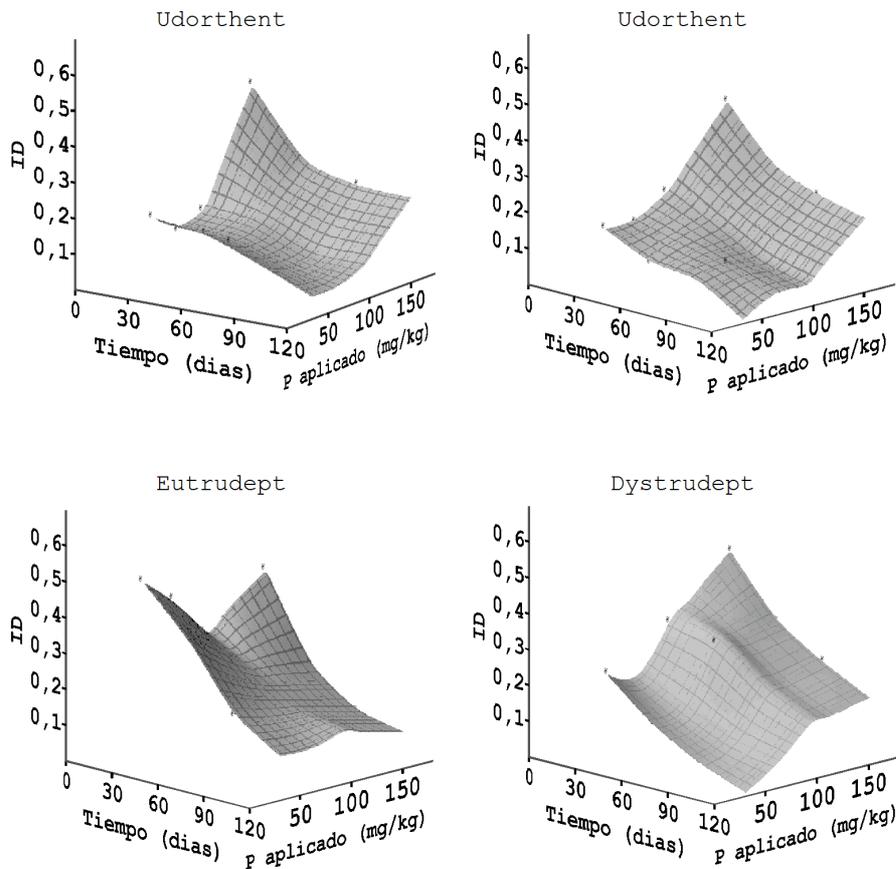


FIGURA 1. Cambios de disponibilidad del fosfato en función del tiempo y del nivel de adición

bilidad en cuatro suelos en función del tiempo y del nivel de adición.

El ID para todos los niveles de adición cambiaba relativamente poco después de 60 días. A los 30 días, el ID para el nivel de adición 30 mg P kg⁻¹ oscilaba entre 0,06 y 0,51 (media = 0,20) y estaba positivamente correlacionada con el Fe_p (r = 0,52*) y negativamente con el Fe_o-Fe_p (r = -0,5*). A los 60, 90 y 120 días de incubación, el ID para el nivel 60 mg P kg⁻¹ estaba negativamente correlacionada con el Fe_o-Fe_p (r = -0,47*, -0,57** y -0,53*, respectivamente) y positivamente con el contenido de arcilla (r = 0,47*, 0,45* y 0,54*, respectivamente). Esto puede ser debido, sobre todo, al posible efecto "protector" de la arcilla

en la precipitación de los fosfatos de Fe y Al. La arcilla, al adsorber fosfato de la disolución, evita las altas concentraciones que favorecen la precipitación. A los 90 y 120 días de incubación la correlación estaba negativa con el Al_o-Al_p (r = -0,52* y -0,62**, respectivamente).

El ID medio para los niveles de 90 y 150 mg P kg⁻¹, tanto para periodos de incubación cortos como largos, estaba negativa y significativamente correlacionada con el contenido de materia orgánica, Fe_o, Al_o y Al_o-Al_p (Tabla 2). Estos resultados indican que en comparación con otras propiedades del suelo, los óxidos de aluminio y hierro poco cristalinos abundantes en suelos no calcáreos, junto con los componentes orgánicos son los compuestos que do-

TABLA 2. Coeficientes de correlación simples entre la media de los índices de disponibilidad ID para aplicaciones de 90 y 150 mg P kg⁻¹ y las propiedades del suelo.

Propiedades	Media de los ID para aplicaciones de 90 y 150 mg P kg ⁻¹			
	30 días	60 días	90 días	120 días
pH	-0,09	-0,08	0,03	0,11
Arcilla	0,17	0,26	0,24	0,13
MO	-0,53*	-0,58**	-0,57**	-0,64**
Fe _o	-0,52*	-0,53*	-0,44*	-0,51*
Al _o	-0,66**	-0,65**	-0,80***	-0,87***
Fe _p	0,01	-0,05	-0,14	-0,24
Al _p	-0,16	-0,04	-0,29	-0,43
Fe _o -Fe _p	-0,46*	-0,44*	-0,32	-0,33
Al _o -Al _p	-0,75***	-0,80***	-0,87***	-0,90***
CICE	-0,07	-0,2	-0,08	-0,1

minan la adsorción de fosfato. El efecto de los óxidos de Al y Fe en la adsorción de fosfato para diferentes niveles de adición, ha sido encontrado en otros estudios (Peña y Torrent, 1990; Torrent *et al.*, 1991; Afif *et al.*, 1993, 2004).

En un análisis de regresión múltiple, a los 30 días de incubación y para el nivel de adición de 30 mg P kg⁻¹, tomando la CIC efectiva se obtiene una varianza explicada del 11%, añadiendo el contenido de los óxidos de hierro

poco cristalinos, se consigue una varianza explicada del 51, siendo la ecuación:

$$ID_{30} = 0,27 + 0,029CICE - 0,058Fe_o,$$

$$R^2 = 0,51$$

La varianza explicada anteriormente aumenta al considerar el Fe no cristalino inorgánico:

$$ID_{30} = 0,13 + 0,022CICE - 0,047(Fe_o - Fe_p),$$

$$R^2 = 0,58$$

Estos resultados indican que a bajos niveles de adición de fósforo y en un corto pe-

riodo de tiempo, los óxidos de hierro poco cristalinos inorgánicos presentan superficies de alta afinidad para la adsorción de fosfato, ya que la mayor superficie específica de los óxidos de aluminio y hierro de poca cristalinidad hace que tengan mayor capacidad de adsorción de fosfato por unidad de masa.

Para el nivel de adición de 150 mg P kg⁻¹ a los 30 días de incubación, tomando los óxidos de aluminio de baja cristalinidad se obtiene una varianza explicada del 61%, añadiendo el contenido de arcilla, se consigue una varianza explicada del 62%:

$$ID_{30} = 0,52 - 0,0001Ar - 0,042Al_0,$$

$$R^2 = 0,62$$

La varianza explicada anteriormente reflejada aumenta cuando se considera el Fe₀ en lugar de la arcilla, siendo la ecuación:

$$ID_{30} = 0,57 - 0,019Fe_0 - 0,037Al_0,$$

$$R^2 = 0,65$$

Comparando las últimas dos ecuaciones de regresión, el coeficiente de regresión correspondiente al Fe₀ es superior al de la arcilla. Esto indica que los óxidos de hierro de baja cristalinidad dan probablemente una mejor medida de la superficie disponible para la adsorción de fosfato. Del mismo modo y a los 60 días, para el nivel de adición de 150 mg P kg⁻¹, añadiendo la CICE y considerando el Fe₀ en su lugar, la varianza aumenta del 74 al 79%:

$$ID_{60} = 0,37 - 0,0042CICE - 0,029Al_0,$$

$$R^2 = 0,74$$

$$ID_{60} = 0,4 - 0,041Fe_0 - 0,025Al_0,$$

$$R^2 = 0,79$$

Las correlaciones negativas encontradas entre el ID y el contenido de arcilla y la CICE a altas concentraciones de fósforo aplicado indican el efecto que sobre los procesos de adsorción de fosfato tienen los silicatos arcillosos frente al efecto "protector" de los minerales de arcilla cuando la concentración de fósforo en la disolución del suelo es baja. Además, la CICE puede dar probablemente una buena medida de la superficie "activa" de los minerales de la arcilla disponible para la adsorción de fosfato.

Para las adiciones elevadas de fosfato

(cuando la concentración de fósforo en la disolución del suelo es alta), la precipitación puede tener lugar más fácilmente que con niveles de adición de fósforo bajos, formándose precipitados de fosfatos de Fe y Al insolubles. En gran medida, la extensión de la precipitación debe relacionarse con la extensión de la superficie adsorbente, donde la precipitación ocurre a partir de los centros formados en la anterior adsorción (centros o lugares en los que puede darse el crecimiento espontáneo de los fosfatos de hierro y aluminio) (Freeman y Rowell, 1981). Por lo tanto, la cantidad de los óxidos de aluminio y hierro de baja cristalinidad influyen en la disponibilidad del fósforo aplicado a altas adiciones.

Se ha comprobado que en los suelos de zonas húmedas y frías con alto contenido en hierro y aluminio de poca cristalinidad y mayor superficie específica, hay una correlación entre la adsorción de fosfato y el hierro y aluminio extraíbles por oxalato amónico ácido y la capacidad de adsorción es bastante mayor que si tuvieran la misma cantidad de óxidos pero cristalinos (Monterroso *et al.*, 1996; Fernández, 1997).

En otros estudios sobre diferentes grupos de suelos calcáreos bajo clima mediterráneo, se ha encontrado relación entre la cantidad de óxidos de hierro libre (dado por el hierro soluble al ditionito) y la adsorción de fosfato, comprobando que el contenido de diferentes formas de óxidos cristalinos condicionaba la adsorción, como consecuencia de las bajas concentraciones de óxidos amorfos en estos suelos (Torrent *et al.*, 1991).

Por otra parte, y en esta investigación, es difícil separar el efecto de los óxidos no cristalinos inorgánicos del efecto de los óxidos de Fe y Al ligados a la materia orgánica. Esto es lógico debido al alto contenido de materia orgánica presente en estos suelos. En este sentido, y como ejemplo para todo el periodo de incubación, las ecuaciones de regresión para el nivel medio de 90 y 150 mg P kg⁻¹ a los 60 días son:

$$ID_{60} = 0,2 - 0,044(Al_0 - Al_p) + 0,04Al_p,$$

$$R^2 = 0,78$$

$$ID_{60} = 0,13 + 0,0006MO - 0,055(Al_0 - Al_p) + 0,06Al_p,$$

$$R^2 = 0,81$$

Esto es debido al alto contenido de aluminio y hierro adsorbidos en los coloides orgánicos, ya que la evidencia de la capacidad de la materia orgánica para adsorber fosfato parece ser posible cuando hay aluminio y hierro adsorbidos (Inskeep y Silvertooth, 1988).

CONCLUSIONES

Las propiedades de los suelos seleccionados de la zona occidental del Principado de Asturias, representan adecuadamente los intervalos de variación esperados. Para todos los suelos, y a todos los niveles de adición de fósforo, el índice de disponibilidad (ID) del fosfato añadido disminuyó con el tiempo. En términos generales, la pérdida de disponibilidad era lenta a partir de 60 días, momento en que los suelos han sufrido una sorción rápida.

El efecto protector de la arcilla en la precipitación de los fosfatos de hierro y aluminio es posible, dada la correlación positiva encontrada en diferentes momentos entre el ID para el nivel 60 mg P kg⁻¹ y la cantidad de arcilla.

A bajos niveles de adición de fósforo y en un corto periodo de tiempo, los óxidos de hierro poco cristalinos inorgánicos, menos abundantes que los de carácter orgánico, presentan superficies de alta afinidad para la adsorción de fosfato.

Para adiciones elevadas de fosfato, las correlaciones significativas y negativas obtenidas entre el ID y ciertas propiedades del suelo, sugiere que los óxidos de aluminio y hierro poco cristalinos son los adsorbentes más activos en este tipo de suelos.

REFERENCIAS

- Afif, E., Matar, A., Torrent, J. (1993): Availability of phosphate applied to calcareous soil of West Asia and North Africa. *Soil Science Society of America Journal*. 57, 756-760.
- Afif, E., Oliveira, J.A., Alvarez, E. (2004): Efecto de las propiedades de algunos Entisoles e Inceptisoles del occidente asturiano en la disponibilidad del fosfato aplicado. En: *Acta de la XLIV Reunión Científica de la SEEP*. Salamanca, 547-551.
- Alvarez, E., Martínez, A., Calvo, R. (1992): Geochemical aspects of aluminium in forest soils in Galicia (NW, Spain). *Biogeochemistry*, 16, 167-180.
- Bascomb, C.L. (1968): Distribution of pyrophosphate extractable iron and organic carbon in soils of various groups. *J. Soil Sci.*, 19, 251-268.
- Blakemore, L.C. (1978): Exchange complex dominated by amorphous material (ECDAM). En: *The Andisol Proposal*. Ed. G.D. Smith. *Soil Bureau. DSIR*. (New Zealand), 21-22
- Buondonno, A., Coppola, E., Felleca, D., Violante, P. (1992): Comparing test for soil fertility: 1. Conversion equation between Olsen and Mehlich 3 as phosphorus extractants for 120 soils of South Italy. *Commun. Soil Sci. Plant Anal*, 23, 699-716.
- Cajuste, L.J., Alvarez, V.H., Laird, L.J. (1992): Evaluation of chemical extractants for assessing phosphate availability in volcanic ash soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal*. 23, 2189-2206.
- Fernández Marcos, M.L. (1997): Evaluación en cámara de crecimiento de tres métodos de determinación de fósforo asimilable en suelos no calcáreos. *Edafología*. 3, 189-203.
- Fixen, P.E. y Crove, H.J. (1990): Testing soils for phosphorus. En: *Soil testing and plant analysis*. Ed. R.L. Westerman. *SSSA Book Series 3*. Madison, Wisconsin (USA), 141-180.

- Freeman, J.S. y Rowell, D.L. (1981): The adsorption and precipitation of phosphate onto calcite. *J. Soil Sci.*, 32, 75-84.
- Greenwood, D.J. (1981): Fertilizer food production: word scene. *Fertilizer Research*, 2, 31-51.
- Holford, C.R. (1997): Soil phosphorus: its measurement, and its uptake by plant. *Aust. J. Soil Res*, 35, 227-239.
- Inskeep, W.P. y Silvertooth, J.C. (1988): Inhibition of hydroxyapatite precipitation in the presence of fulvic, humic, and tannic acids. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52, 941-946.
- Lin, C. y Coleman, N.T. (1960): The measurement of exchangeable aluminium in soil and clays. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 24, 444-446.
- Mehlich, A. (1985): Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. *Soil Science and Plant Analysis*, 15, 1409-1416.
- Mengel, K. y Kirkby, A. (2001): Principles of plant nutrition. *Kluwer Academic Publishers*. Dordrecht (The Netherlands), 849 p.
- Monterroso, C., Alvarez, E., Fernandez Marcos, M.L. (1999): Evaluation of Mehlich 3 reagent as a multielement extractant in mine soils. *Land Degradation and Development*, 10, 35-47.
- Monterroso, C., Fernandez Marcos, M.L., Alvarez, E. (1996): Factors influencing phosphorus adsorption in mine soils in Galicia, Spain. *Sci. Total Environ*, 180, 137-145.
- Peña, F. y Torrent, J. (1990): Predicting phosphate sorption in soils of mediterranean regions. *Fertilizer Research*, 23, 173-179.
- Raij, B. (1994): New diagnostic techniques universal soil extractants. *Commun. Soil Sci. Plant anal*, 25, 799-816.
- Sharpley, A.N., Singh, U., Uehara, G., Kimble, J. (1989): Modelling soil and plant phosphorus dynamics in calcareous and highly weathered soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53, 153-158.
- SPSS, 2002. SPSS para windows, version 11.5. SPSS Jnc. 1989-2002.
- Torrent, J., Afif, E., Matar, A. (1991): Predicting the phosphate sorption characteristics of soils of the WANA region. En: Annual Report for 1990. Ed. *Farm Resource Management Program*. ICARDA. Aleppo (Syria), 105-110.
- Walkley, S.J. y Black, I.A. (1934): An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.*, 37, 29-38.