

FÓSFORO EXTRACTABLE Y FÓSFORO ORGÁNICO LÁBIL COMO INDICADORES DE CALIDAD DE SUELOS DE ENTRE RÍOS

L. GIUFFRÉ, O. S. HEREDIA, C. PASCALE, M. CONTI y M. GONZÁLEZ¹

RESUMEN

En un Argiudol vértico de la provincia de Entre Ríos, se estudió la variación de los niveles de P extractable según los métodos de Bray y Olsen, y el P orgánico lábil. El fósforo orgánico lábil encontró su máximo en la situación pristina del monte y fue disminuyendo con la degradación. El coeficiente de correlación entre P orgánico lábil y C oxidable fue $r=0,95$ ($p<0,05$) y con C liviano fue $r=0,96$ ($p<0,05$). En cuanto a los niveles de P extractable por Bray y Olsen, sus tendencias pueden estar influidas por la fertilización fosfatada, aporte necesario en este tipo de suelos para un normal desarrollo de los cultivos, por lo que no podrían tomarse como indicadores válidos. El P orgánico lábil se comportó como un indicador sensible a la degradación o disminución de calidad del suelo, y su variación estuvo correlacionada con la declinación de los contenidos de carbono.

Palabras clave. fósforo extractable, fósforo orgánico lábil, suelos vérticos

EXTRACTABLE AND LABILE ORGANIC PHOSPHORUS AS SOIL QUALITY INDICATORS IN ENTRE RIOS

SUMMARY

In a Vertic Argiudoll of Entre Rios province Olsen and Bray extractable P and labile organic P were determined. Labile organic P presented maximum values in the pristine situation, and then decreased with degradation. Correlation coefficient between labile organic P and oxidable C was $r=0,95$ ($p<0,05$) and with light C was $r=0,96$ ($p<0,05$). Bray and Olsen extractable P were affected by fertilization, so they couldn't behave as valid indicators. Labile organic P behaved as a sensible indicator of degradation, related with carbon decline.

Key words. extractable phosphorus, labile organic phosphorus, vertic soils.

INTRODUCCIÓN

El fósforo existe en el suelo en formas orgánicas e inorgánicas, y su disponibilidad depende de reacciones biológicas y geoquímicas. Los procesos biogeoquímicos asociados con la liberación del fósforo en formas disponibles para las plantas incluyen la solubilización del fósforo inorgánico y la mineralización del fósforo orgánico (Zou *et al*, 1995), debiéndose considerar en cada sistema particular los equilibrios sorción-desorción de fosfatos.

El uso eficiente de fertilizantes requiere un adecuado conocimiento del ciclo de los nutrientes y de los requerimientos de cada cultivo. Esto es

clave desde el punto de vista de la eficiencia de la fertilización, y para evitar indeseables consecuencias ambientales producidas por un exceso de uso de fertilizantes.

Según recientes estudios, los ciclos de los nutrientes se consideran indicadores válidos de la salud y calidad del suelo, resaltando la importancia del reciclado natural de los elementos a partir de formas orgánicas. El reciclado de fósforo depende de la actividad de los microorganismos del suelo y de la fauna, el crecimiento microbiano y su muerte constituyen un flujo anual de fosfatos muy importante (Andersohn, 1996).

Pilatti y Orellana (1998) han seleccionado como

¹ Cátedra de Edafología. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. Av. San Martín 4453. 1417 Buenos Aires, Argentina
e-mail: giuffre@mail.agro.uba.ar

variable edáfica para el estudio y el diagnóstico de sustentabilidad en agroecosistemas a la disponibilidad de nutrimentos, entre ellos el fósforo, para cumplir una de las funciones del suelo: provisión de nutrimentos en cantidad y calidad para garantizar un normal desarrollo de los cultivos, observando que los contenidos de nutrimentos decaen paralelamente a la intensidad de uso del suelo.

En la Argentina, los estudios de fósforo han utilizado como indicador primordial el fósforo extractable según Bray, metodología clásica y sencilla que ha brindado excelentes resultados. Con respecto al fósforo extractable con Olsen, su utilización es importante en países como Canadá. Es conocido que los extractos Olsen contienen generalmente fósforo orgánico (Bowman y Cole, 1978), es por ello que a partir de los mismos se adaptó una metodología para determinar el P orgánico-Olsen, considerado P orgánico lábil.

La cuantificación del fósforo orgánico es necesaria para comprender las reacciones biológicas del ciclo mineralización-inmovilización en ambientes específicos (Kuo, 1996). El P orgánico constituye entre el 15 y 80 % del P total, y su rol es importante en suelos con bajo P nativo, suelos tropicales ácidos con Fe y Al activos, y suelos de desierto calcáreos, en los cuales el P orgánico puede contribuir en gran manera a la disponibilidad de fósforo (Thien y Myers, 1992).

En un estudio anterior (Giuffré *et al*, 1997), se observó el impacto de distintas rotaciones y labranzas sobre las formas de fósforo del suelo, estudiándose en este caso el rol del P orgánico total comparado con el P total, inorgánico y extractable. En un trabajo reciente (Giuffré *et al*, 1998) se estudió la participación de fracciones orgánicas en Molisoles pampeanos, efectuándose un seguimiento de las mismas y de las fracciones extractables en ensayos de incubación. Se destacó en todos los suelos estudiados una buena capacidad de mineralización, que difería incluso a nivel serie de suelo.

Por tanto, considerando la importancia de las formas inorgánicas y orgánicas dentro de la dinámica del fósforo en suelos argentinos, los objetivos del presente trabajo fueron:

- cuantificar fósforo extractable inorgánico y fósforo orgánico lábil en un Argiudol vértico de

- Entre Ríos con distintos estados de degradación
- evaluar su aptitud como indicadores de calidad de suelos

MATERIALES Y MÉTODOS

Suelo

Argiudol vértico, serie Carrasco, con fases por erosión.

Situaciones

- 1- monte natural
- 2- 16 años de desmonte/agricultura/ 8 años pradera natural
- 3- 26 años de desmonte/pastura/-soja en siembra directa
- 4- 40 años de desmonte/agricultura continua desde 1970.

En cada situación se obtuvieron muestras superficiales de suelo, con cuatro repeticiones, que fueron analizadas por separado.

Análisis de laboratorio

P-Bray: Bray y Kurtz (1945).

P-Olsen: California Soil Testing (1972)

P orgánico lábil: Negrin *et al* (1995), modificado. Se determinó mediante la diferencia entre las concentraciones de P de los extractos Olsen oxidados y no oxidados: P orgánico lábil = P total Olsen - Pinorgánico Olsen. Una submuestra del extracto Olsen, de 2 ml fue oxidada mediante el agregado de Perhidrol Merck libre de fósforo. Para completar la oxidación se llevó a sequedad en plancha de aluminio y se redisolvió a 2 ml con agua destilada, para luego cuantificar mediante la colorimetría del azul de molibdeno (Murphy y Riley, 1962).

El fósforo orgánico lábil se considera fácilmente hidrolizable por acción de fosfatasa, y puede extraerse con el anión bicarbonato (Andersohn, 1996). Los iones oxhidrilo y bicarbonato bajan la actividad del calcio y del aluminio resultando en un aumento de solubilidad del fósforo, presentando buena eficiencia de extracción de fosfatos superficiales. La ventaja de este extractante es que puede ser útil tanto en suelos ácidos como calcáreos.

Carbono oxidable: Richter *et al* (1973)

Carbono liviano: Richter *et al* (1975)

Análisis estadístico: se efectuó un ANVA para estudiar diferencias entre las situaciones de degradación para las distintas técnicas de P, y análisis de correlación y regresión para evaluar las relaciones entre formas de fósforo y de carbono.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados promedio de las cuatro repeticiones de cada situación obtenidos al analizar las diferentes formas de fósforo se muestran en el Cuadro N° 1.

P extractable

El fósforo extractable según las metodologías de Bray y Olsen mostró una clara tendencia al aumento con los años de desmonte, siendo estadísticamente significativa la diferencia entre la situación inicial de monte y la de mayor degradación. El método de Bray mostró asimismo mayor sensibilidad en los estadios intermedios de degradación. Los contenidos de P extraídos con los métodos de Bray y Olsen estuvieron correlacionados en forma negativa y no significativa con los contenidos de P orgánico lábil: $r = -0,75$ y $r = -0,67$, respectivamente. Además, presentaron coeficientes de correlación no significativos con C oxidable ($r = -0,17$ y $r = 0,6$) y con C liviano ($r = -0,68$ y $r = 0,14$, respectivamente).

En un trabajo anterior (Giuffré *et al*, 1998) se ha demostrado la gran importancia de la mineralización de fosfatos, lo que puede explicar en este caso parte del incremento en las formas disponibles inorgánicas. Pero debe considerarse el hecho de que aún en suelos con erosión nula o ligera, se verifica el fenómeno de agotamiento de los sue-

los, cuando no existe una reposición de los nutrientes extraídos. En planteos de agricultura continua, Urricarriet y Lavado (1999) han encontrado caídas relativas de P extractable de un 77%. Por ello, es que en este caso se considera que los valores reales de base de los suelos degradados deben estar enmascarados por la aplicación de medidas correctivas de la fertilidad de modo de poder efectivizar una producción rentable.

P orgánico lábil

El fósforo orgánico lábil encontró su máximo en la situación prístina del monte y fue disminuyendo con la degradación. El P orgánico lábil resultó ser más del doble del P extractable inorgánico en la situación prístina, con el suelo en equilibrio climático, y con una vegetación adaptada a los ciclos nutritivos naturales y resultó sensible estadísticamente para evaluar la diferencia entre una situación prístina y una degradada, pero no tanto para situaciones intermedias. Perrot *et al* (1990) y Zou *et al* (1995) utilizaron esta misma técnica para extraer P orgánico lábil, y observaron que el mismo podría contribuir sustancialmente a los requerimientos de fósforo por los vegetales, ya que totalizaba 29 kg/ha año.

La degradación y deterioro de las propiedades físicas y químicas de los suelos como resultado del uso agrícola, está presente prácticamente en la totalidad de las tierras agrícolas bajo cultivo. En la provincia de Entre Ríos la gravedad del proceso de erosión hídrica es acentuada, tanto en Vertisoles (con alto contenido de arcillas y drenaje deficiente) como en Argiudoles (SAGYP, 1995). Esto se evidencia en el distinto espesor del horizonte A de las cuatro situaciones consideradas, que varió entre 25 cm en la situación prístina hasta 10-12 cm en la situación más degradada. Es por ello que se calculó

Cuadro N° 1. Formas de fósforo en las distintas situaciones

Situación	P-Bray ($\mu\text{g g}^{-1}$)	P-Olsen ($\mu\text{g g}^{-1}$)	P orgánico lábil ($\mu\text{g g}^{-1}$)
1 monte	4,57 c	3,51 c	11,04 a
2 intermedia	9,21 b	5,44 b	8,48 b
3 intermedia	12,00 ab	4,82 b	9,09 b
4 máxima degradación	13,18 a	7,16 a	9,14 b

Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre situaciones

la dotación de P y C en toneladas por hectárea, para demostrar su verdadera disponibilidad en el horizonte A. El P_o lábil sería un indicador apropiado, ya que en suelos naturales, un gran porcentaje de P es orgánico y sirve como reserva que gradualmente se va utilizando.

Es necesario seguir investigando acerca de la dinámica del fósforo, y la efectividad de utilización de los diferentes compartimentos. Los índices de estimación de P disponible para las plantas están típicamente basados en una única medida de P inorgánico extractable, pero esto subestimaría el fósforo disponible potencial ya que el P orgánico lábil debe jugar un rol importante en las evaluaciones de fertilidad fosfatada. La inclusión del P orgánico lábil provee de información útil para evitar excesiva fertilización, mantenimiento de la fertilidad a largo plazo, monitoreo de la dinámica de P en el suelo, cuantificación de la mineralización y utilización en modelos (Vernon - Cole, 1997).

Relación P orgánico lábil-carbono

El desmonte que se ha producido en las situaciones 2, 3, y 4, es una práctica que elimina total o parcialmente la vegetación arbórea o arbustiva que protege la superficie del suelo para destinarlo a cultivos agrícolas que lo exponen a la erosión. El uso posterior del desmonte generalmente no toma

en cuenta la aptitud natural de las tierras sobre las que se realiza. Es frecuente que en las regiones boscosas los suelos sean frágiles, por lo que los suelos deforestados son altamente inestables y susceptibles a la erosión. El movimiento de la capa arable provoca la mineralización del humus y una serie de procesos degradatorios que se intensifican con el tiempo (SAGYP, 1995).

La pérdida de materia orgánica del suelo puede ser un proceso gradual, con cambios poco notorios al principio, que en algunas situaciones pueden compensarse con el agregado artificial de nutrientes. En Gran Bretaña, se considera que suelos con menos de 3% de materia orgánica tendrán una estructura inestable (Park y Cousins, 1995). En las situaciones estudiadas, se produjeron pérdidas del 75,5% del carbono oxidable y 87% del carbono liviano en la situación de máxima degradación, con respecto al contenido natural en el monte. En 15 años de agricultura continua en la Argentina, se citan pérdidas de la mitad del contenido de materia orgánica de los suelos, mientras que con rotaciones agrícola-ganaderas disminuyó sólo un tercio (Di Pace, 1992). Urricariet y Lavado (1999), citan como contenidos de carbono en suelos de larga historia agrícola, un 77% de los sistemas prístinos.

En la Figura 1 se muestra la caída gradual del

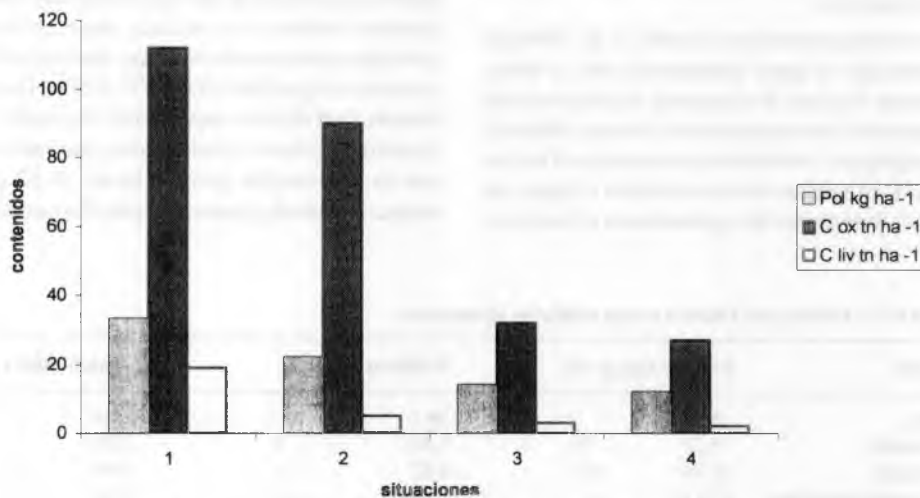


Fig. 1. Variación de fósforo orgánico lábil (P_o), carbono oxidable (C_{ox}) y carbono liviano (C_{liv}) en función de la degradación

fósforo orgánico lábil acompañando los niveles de carbono.

Efectuado un análisis de regresión lineal múltiple, se obtuvo la siguiente ecuación:

$$P \text{ orgánico lábil} = 0,00842 + 1,11 \cdot 10^{-4} C \text{ oxidable} + 6,42 \cdot 10^{-4} C \text{ liviano}$$

El coeficiente de correlación entre P orgánico lábil y C oxidable fue $r=0,95$ ($p < 0,05$), y con C liviano fue $r=0,96$ ($p < 0,05$). Es decir que se demostró una estrecha relación entre el P orgánico lábil y el contenido de materia orgánica de los suelos, indicador fundamental de su salud y calidad.

La agricultura nunca será sustentable mientras los niveles de materia orgánica sigan una tendencia hacia su disminución, no sólo por sus conocidas acciones sobre la disminución de la erosión, la compactación, la fertilidad, la capacidad de retención de agua, sino también como sumidero del CO_2 atmosférico, lo que aliviaría

el calentamiento global (Wallace, 1994). En los sistemas agrarios sustentables, el rol de las interacciones biológicas en procesos como la liberación de nutrientes y el mantenimiento de la estructura están incrementando su importancia. Mantener la productividad de los agroecosistemas es mantener la salud del suelo (Park y Cousins, 1995). En las situaciones estudiadas, pueden establecerse las siguientes conclusiones:

- Las tendencias de los niveles de fósforo extractable por Bray y Olsen pueden estar influidas por la fertilización fosfatada, aporte necesario en este tipo de suelos para un normal desarrollo de los cultivos, por lo que no podrían tomarse como indicadores válidos

- El fósforo orgánico lábil se comportó como un indicador sensible a la degradación o disminución de calidad del suelo, y su variación estuvo correlacionada con la declinación de los contenidos de carbono del mismo.

BIBLIOGRAFÍA

- ANDERSON, C. 1996. Phosphate cycles in energy crop systems with emphasis on the availability of different phosphate fractions in the soil. *Plant & Soil* 184: 11-21.
- BOWMAN, R. A. AND C. V. COLE. 1978. Transformations of organic P substrates in soils as evaluated by $NaCO_3HNa$ extraction. *Soil Sci.* 125: 49-54.
- BRAY R. H. Y L. T. KURTZ. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soil. *Soil Sci.* 134: 376-380.
- CALIFORNIA SOIL TESTING. 1972. Phosphorus Olsen's bicarbonate extraction method:72-73.
- DI PACE M. 1992. Las utopías del medio ambiente. Desarrollo sustentable en la Argentina. Centro Editor América Latina, Buenos Aires. 207 pp.
- GIUFFRÉ L.; O. HEREDIA ;C. PASCALE Y M.M. CARBAJALES. 1997. Formas de P del suelo y su relación con las rotaciones y labranzas. *Rev. Fac de Agronomía UBA* 17: 281-288.
- GIUFFRÉ L.; M.S. ZUBILLAGA ; O. HEREDIA Y F. MISSART. 1998. Mineralización de fósforo en Molisoles pampeanos. *Ciencia del Suelo* 16: 99-102.
- KUO, S. Phosphorus. 1996. In : Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods. D. L. Sparks (ed) SSSA Book Series 5. Madison, Wisconsin, USA.
- MURPHY J. AND J. P. RILEY. 1962. A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chem. Acta* 27: 31-36.
- NEGRIN M. A. ; S. GONZALEZ CARCEDO AND J.M. HERNÁNDEZ MORENO . 1995. P fractionation in sodium bicarbonate extracts of andic soils. *Soil Biol. Biochem.* 27:761-766.
- PARK J AND S. H. COUSINS. 1995. Soil biological health and agro-ecological change. *Agric. , Ecosystems and Environment* 56:137-144.

- PERROT, K. W.; S. U. SARATCHANDA AND J. E. WALKER. 1990. Seasonal storage and release of P and K by organic matter and the microbial biomass in a high producing pastoral soil. *Austr. J. Soil Res.* 28: 593-608.
- PILATTI M. A. Y J. A. DE ORELLANA .1998. Indicadores edáficos en agricultura sostenible. Selección de variables relevantes. Actas XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Villa Carlos Paz:233-234.
- RICHTER M. ; G. MASSEN AND I. MIZUNO. 1973. Total organic carbon and oxidizable organic carbon by the Walkley -Black procedure in some soils of the Argentine Pampa. *Agrochimica* 17:462-473.
- RICHTER M.; I. MIZUNO; S. ARANGUEZ AND S. URIARTE. 1975. Densimetric fractionation of soil organo-mineral complexes. *Journal of Soil Sci* 26:112-123.
- SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y PESCA. Consejo Federal Agropecuario. 1995. El deterioro de las tierras en la República Argentina. Alerta amarillo. Capítulo II:25-51.
- THIEN S. J. AND R. MYERS. 1992. Determination of bioavailable phosphorus in soil. *Soil Sci Soc Am J.* 56:814-818.
- URRICARIET S. Y R. LAVADO . 1999. Indicadores de deterioro en suelos de la Pampa ondulada. *Ciencia del Suelo* 17:37-44.
- VERNON-COLE C. 1997. Simulation of P cycling in semiarid grasslands. *Ecology* 58:1-15.
- WALLACE A. 1994. Soil organic matter must be restored to near original levels. *Commun. Soil Sci and Plant Analysis* 25:29-35.
- ZOU, D.; D. BINKLEY AND A. CALDWELL. 1995. Effects of dinitrogen fixing trees on P biochemical cycling. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59:1452-1458.1995.