

Formas de fósforo edáfico en diferentes secuencias de cultivos bajo siembra directa

Liliana Suñer, Ramiro García, Juan A. Galantini, Horacio Forjan

En Argentina el crecimiento de la siembra directa ha alcanzado el 90% de la superficie agrícola-ganadera del país. Este cambio hace que no se conozcan los efectos de largo plazo sobre las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo. Esta carencia de información es más evidente en relación a los cambios en las formas de fósforo edáfico y su disponibilidad bajo diferentes secuencias de cultivos.



La mayor parte del fósforo (P) total del suelo no se encuentra disponible para los cultivos, sino que está en un equilibrio dinámico entre las formas orgánicas (Po) e inorgánicas (Pi). Las formas lábiles son aquellas que se encuentran disponibles en el corto o mediano plazo para las plantas y los microorganismos del suelo. Este P extraíble (Pe) generalmente es bajo, dadas las características de los materiales originales de los suelos de la región pampeana (Suñer & Galantini, 2012) y su contenido se estima mediante la extracción por métodos clásicos, normalmente Bray-Kurtz u Olsen. La intensificación de la agricultura de las últimas décadas ha acentuado estas deficiencias de nutrientes (Echeverría & García, 2005; Duval et al., 2013), ya que los balances de P son negativos en la mayoría de los sistemas agrícolas y ganaderos.

La disponibilidad de P depende tanto de la cantidad disponible inicialmente, como de la capacidad del suelo para reemplazar los iones que son tomados en la vecindad de las raíces. La movilización de las formas menos disponibles hacia la solución del suelo es muy lenta (años) y depende tanto de sus características físicas y químicas, del contenido de las diferentes formas de P y de la actividad biológica.

En los sistemas en siembra directa, el incremento en la cantidad de residuos en la superficie del suelo produce una acumulación en el contenido de Po, modificando la solubilidad del Pi y la distribución de las formas lábiles. Los métodos clásicos de extracción de P del suelo no miden la contribución potencial de P del residuo y de las formas orgánicas de mayor labilidad. La acumulación de Po en los suelos se produce como resultado de aplicaciones de Pi (mediante fertilizantes fosfatados) o fuentes orgánicas debido a una mayor inmovilización neta o un mayor ingreso de residuo vegetal al suelo.

Conocer las formas y la disponibilidad del P en el suelo es esencial para plantear estrategias de fertilización a largo plazo que tiendan a maximizar la eficiencia de uso del fertilizante, asegurar un balance nutricional y garantizar la sustentabilidad de los sistemas agrícolas (Galantini et al., 2000, Suñer & Galantini, 2012, 2013).

Se han propuesto varias técnicas de fraccionamiento de P a fin de identificar las diferentes formas en función de su labilidad. Los procedimientos de extracción secuencial de distintas fracciones de P_i y P_o desarrollados por Hedley et al. (1982) y Tiessen et al. (1984) han sido los más utilizados. La asunción implícita es que el P lábil del suelo (fácilmente disponible para las plantas) es removido en principio por extractantes suaves, en tanto las formas menos disponibles del P pueden ser extraídas con ácidos y álcalis fuertes (Buehler et al., 2002). El P moderadamente lábil incluye el P que es extraído con NaOH, considerado biológicamente asimilable en un lapso intermedio de tiempo. Sería interesante poder relacionar el pool de P orgánico con las características de la materia orgánica comprendida en ese mismo pool a fin de determinar si las diferentes prácticas de manejo producen diferencias en su calidad y cuáles son los cambios que se producen en relación al P, los cuales podrían modificar su interacción con el suelo.

Para evaluar la calidad del suelo son muy utilizadas las técnicas de la espectroscopia Infrarroja (IR) pues brindan una solución a bajo costo y en corto tiempo permitiendo mostrar la presencia de ciertos grupos funcionales. Se puede obtener información cualitativa de grupos funcionales como R-COOH, OH-R fenólico, OH- alcohólico, OH- enólico, R-C=O, entre otros, de compuestos estructurales aromáticos y alifáticos.

Se ha planteado como objetivo de este trabajo evaluar el efecto de distintas secuencias de cultivos sobre la dinámica de las diferentes formas de fósforo edáfico y determinar cambios estructurales en suelos bajo SD continua y variable uso agrícola.

Aspectos metodológicos

El sitio experimental es un ensayo de larga duración bajo SD ubicado en Chacra Experimental Integrada Barrow (38°19'25'' S; 60°14'33'' W), cercana a la localidad de Tres Arroyos, en la Provincia de Buenos Aires, Argentina.

La zona se clasifica como de clima mesotermal subhúmeda. Las temperaturas máxima, media y mínima promedio anual son 20,4, 14,9 y 7,4°C respectivamente, caracterizando un ambiente templado con un período libre de heladas. Las heladas van desde el 23 de abril hasta el 2 de noviembre (valores medios históricos).

El suelo es un Paleudol petrocálcico, Serie Tres Arroyos. Se utilizó un diseño en bloques (cuatro) completamente aleatorizados. En cada parcela se tomaron muestras de suelo (por triplicado) a 0-5, 5-10 y 10-20 cm de profundidad y una muestra compuesta a > 20 cm.

Se trabajó sobre un sistema ya implantado de cinco secuencias iniciado en 1998, tres exclusivamente agrícolas y dos mixtas, las que incluyeron pastoreo directo.

Las agrícolas respondieron a los siguientes esquemas: 1 **Agrícola conservacionista**, 3 **Agrícola de invierno** (para suelos limitados), 5 **Agrícola intenso**. Las mixtas fueron: 2 **Mixto: rotación con pasturas** (sin verdeos), 4 **Mixto tradicional con verdeos**.

El ensayo se llevó a cabo en un lote con menor profundidad de suelo (tosca a 60 cm), intentando representar los suelos regionales con esta característica. Todas las parcelas se fertilizaron con 70 kg ha⁻¹ fosfato diamónico en el año de muestreo. Se utilizó una parcela sin cultivar y sin fertilizar como testigo, anexa al ensayo, en cada bloque se tomó una muestra por profundidad. Las muestras fueron tomadas antes de la siembra de invierno durante el año 4 del tercer ciclo (2013).

Se realizó el fraccionamiento secuencial de P según Hedley et al. (1982) modificado por Tiessen & Moir (1993). En la Tabla se describen los extractantes utilizados, la denominación y la fracción de P que extraen:

Tabla 1. Secuencia del fraccionamiento y la designación de las fracciones analizadas en el fraccionamiento secuencial de Hedley

Extractante	Denominación	Fracción determinada
H ₂ O	Piag	Pi libremente intercambiable
NaHCO ₃	Pibic	P lábil inorgánico
	Pobic	P lábil orgánico
NaOH	PiNa	P inorgánico moderadamente lábil (ligado al Fe, Al)
	PoNa	P orgánico moderadamente lábil (ligado a los ác. húmicos)
HCl 1M	PHCl dil	P asociado al Ca
Residuo de suelo (Digestión)	Pres	P residual

El fósforo disponible para las plantas se estimó mediante el método de Bray-Kurtz (1945).

A raíz de la influencia que tiene el pH sobre la solubilidad de los compuestos de P se determinó el pH; relación suelo: agua 1:2,5 (Jackson, 1958).

El P en todos los extractos fue determinado por el método colorimétrico de vanadato de amonio de Murphy & Riley (1962).

Teniendo en cuenta la estratificación que la SD produce sobre el contenido de nutrientes en el suelo (Suñer *et al.*, 2007), el pH, el Pe y los resultados del fraccionamiento secuencial de P, se analizaron a diferentes profundidades.

En los suelos de todas las muestras se determinó el carbono total por combustión seca mediante un analizador automático LECO (LECO Corporation, St Joseph, MI)

El extracto obtenido durante el fraccionamiento secuencial de Hedley para la extracción del fósforo orgánico relacionado a los ácidos húmicos, extraído con NaOH (PoNa) fue analizado por espectrometría infrarroja en la región 4000-400 cm^{-1} . Se realizaron análisis IR a los efectos de caracterizar los compuestos orgánicos en esta fracción y relacionarlos con el P orgánico obtenido. Finalmente se compararon las relaciones entre las intensidades de los principales picos. Las relaciones consideradas fueron: 1650/2920, 1650/1540, 1720/2920, 1380/1620, 1511/2920, 1400/1450, 1440/1210, 1034/2920, 1034/1540.

Se realizó el análisis de varianza (ANAVA) y el test de diferencia de medias significativas (DMS) entre los contenidos de P en los extractos de las diferentes fracciones, usando el software estadístico INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2013).

Resultados y discusión

Valores de pH

Todos los tratamientos produjeron una disminución del pH, en relación con el suelo de referencia, particularmente mayor en las secuencias 3 y 5. La secuencia 5 (agrícola intensa) fue la que presentó mayor disminución de pH con respecto al testigo, esto se observó tanto en 0-5 como en 5-10 cm. La secuencia 2 (mixta sin verdeos) fue la que permitió mantener los valores de más cercanos al testigo (Figura 1). Este comportamiento podría estar relacionado con la variación en el contenido de MO (Galantini *et al.*, 2000).

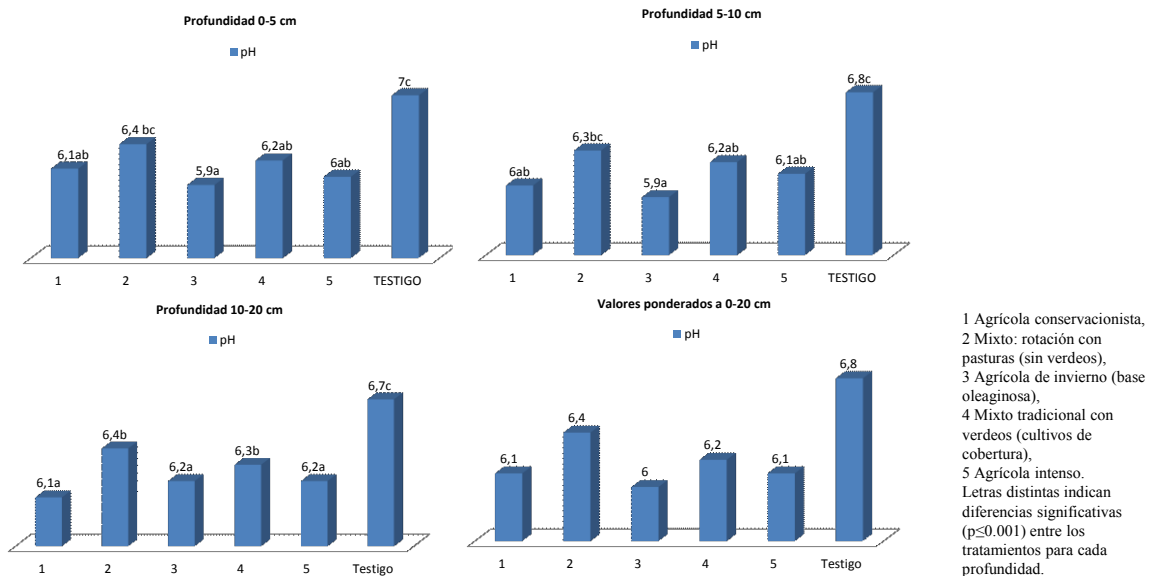


Figura 1. Valores de pH a diferentes profundidades y para cada situación de manejo analizada.

Si se considera la profundidad de 10-20 cm, las secuencias agrícolas (1, 3 y 5) mantuvieron los valores más bajos de pH, mientras que las secuencias mixtas (2 y 4) fueron las que menos disminuyeron los valores de pH con respecto al testigo.

Contenido de las formas de P

En general, todas las formas de P presentan una disminución en función de la profundidad de muestreo. Las diferencias significativas más importantes entre las secuencias de cultivo se observaron a los 0-5 cm de profundidad (Tabla 2). A los 5-10 cm, en cambio, las diferencias encontradas fueron menores y en 10-20 las únicas formas de P las cuáles presentaron diferencias significativas ($p < 0.01$) entre los tratamientos fueron Pe y P unido al Ca.

A los 0-5 cm de profundidad la secuencia 2 (con pastura) produjo una disminución de las formas de P disponible y de las formas lábiles, tanto orgánicas como inorgánicas. También en ésta secuencia se produjo un aumento significativo en el fósforo orgánico ocluido en los microagregados (PoNa), favorecido posiblemente por la mayor actividad biológica en la pastura cultivada (Wick *et al.*, 1998). La fracción lábil extraíble (Pibic) desciende en el suelo cultivado posiblemente debido al aprovechamiento que hicieron del mismo las plantas y por las transformaciones que sufrió hacia formas inorgánicas más resistentes (Tiessen, 1995). Si bien se esperaría que el P proveniente del fertilizante influiría sobre las fracciones de Pi moderadamente lábiles (PiNa, Buehler *et al.*, 2002), en este caso no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($p < 0,05$).

Tabla 2. Fracciones de fósforo en los suelos estudiados

Prof cm	Manejo	Pe	Piag	Pibic	PiNa	PHCl dil	Pobic	PoNa	Pres	Pi/Po
		ppm								
0-5	1	65,9c	24,5c	37,4b	66,6ab	76,9b	243,0b	270,6a	319,7b	128,5
	2	27,2a	6,3a	14,1a	35,2a	57,9a	144,2a	650,7b	323,4b	55,7
	3	64,1c	16,6b	28,7ab	74,4b	63,3ab	199,9b	548,7ab	379,0c	119,9
	4	35,6b	12,2b	24,9ab	52,3ab	73,5b	165,2ab	287,5ab	232,5a	89,6
	5	59,8c	16,0b	35,7b	55,6ab	64,6ab	227,0b	609,8b	490,8d	107,3
	Testigo	43,9b	17,6bc	46,5b	54,0ab	65,4ab	145,0a	125,3a	179,2a	112,2
5-10	1	37,2c	12,4bc	17,4ab	47,4ab	53,0ab	198,8c	311,1	220,7a	77,3
	2	14,2a	5,76a	4,6a	24,0a	41,78a	108,3ab	403,3	289,6b	34,3
	3	38,5c	9,5abc	13,1ab	37,6ab	47,9ab	168,2abc	460,4	504,8d	60,3
	4	16,0a	7,4ab	17,4ab	32,0ab	62,0bc	73,7a	238,1	288,04b	57,0
	5	25,8b	7,1a	28,2b	63,3b	51,1ab	152,6abc	432,8	400,14c	98,8
	Testigo	18,6ab	14,6c	22,6ab	38,2ab	74,9c	191,8bc	224,4	231,9a	75,6
10-20	1	14,1c	3,8a	9,7a	19,3a	39,0ab	83,4a	303,3	246,67c	32,8
	2	6,0a	2,9a	4,8a	13,0a	32,4a	84,7a	516,9	339,4d	20,8
	3	15,0c	5,2a	13,6a	13,9a	38,0ab	91,8a	665,6	453,6e	32,8
	4	6,6a	2,3a	6,6a	11,8a	39,0ab	71,5a	411,2	277,8b	20,7
	5	10,11b	4,7a	14,9a	12,3a	36,1a	105,0a	496,9	341,5d	32,0
	Testigo	8,86ab	5,2a	14,95a	16,6a	49,8b	78,2a	485,8	193,3a	36,9
0-20 (Valores ponderados)	1	32,8	11,1	18,6	38,1	52,1	152,2	297,0	209,4	67,9
	2	13,3	4,5	7,1	21,3	41,1	105,5	521,9	323	32,9
	3	33,1	9,2	17,3	35,0	46,7	137,9	585,0	448	61,4
	4	16,2	6,1	13,9	27,0	53,6	95,5	337,0	269	47,0
	5	26,4	8,1	23,4	35,9	47,0	147,4	509,1	477	67,5
	Testigo	20,1	10,7	24,7	31,4	60,0	123,3	330,3	244	66,9

1 Agrícola conservacionista, 2 Mixto: rotación con pasturas (sin verdeos), 3 Agrícola de invierno (base oleaginosa), 4 Mixto tradicional con verdeos (cultivos de cobertura), 5 Agrícola intenso.

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,001$) entre los tratamientos para cada profundidad y para cada forma de P determinada.

En las secuencias 3 y 5 se observó un aumento del Pe, en concordancia con el pH más bajo, donde empieza a aparecer la forma divalente HPO_4^{2-} que es la forma más asimilable para las plantas (Holford, 1997).

A la profundidad de 5-10 cm, la secuencia 2 presentó los valores más bajos de Pe en relación a los demás tratamientos. No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos para la mayoría de las formas de P analizadas en la profundidad de 10-20 cm. La fracción de P orgánica moderadamente lábil (extraíble con NaOH), fue la fracción predominante en todos los tratamientos y profundidades. Los ensayos mixtos disminuyeron la proporción de Pi en relación al Po. Esta caída es mucho mayor en el tratamiento con pasturas (secuencia de manejo 2), donde la cantidad de Po aumentó significativamente (Po moderadamente lábil). En otros estudios (Suñer *et al.*, 2013) se ha observado que durante el período con pastura disminuyó el P disponible en favor de la acumulación de formas orgánicas. Esto posiblemente está asociado al incremento de materia orgánica que se observa durante el período ganadero. El Po lábil fue más bajo en los sistemas ganaderos que en los agrícolas.

Espectroscopia Infrarroja

La Figura 2 presenta los espectros de absorción FT-IR obtenidos en los extractos de PoNa obtenidos de los suelos de la profundidad 0-5 cm para los distintos manejos analizados. En términos generales, se observa que los manejos han modificado la estructura de las moléculas

orgánicas del suelo, en particular las relacionadas con las formas orgánicas de P. La magnitud del cambio y las variaciones en la labilidad pueden tener efecto sobre la disponibilidad del cultivo. A continuación se detallan cada uno de los cambios, en qué región del espectro se puede observar y a que corresponde.

La comparación de los espectros IR, de las muestras analizadas, indica que las bandas más afectadas por el manejo serían: la banda de absorción IR que se centra alrededor de los 3400 cm^{-1} y corresponde al estiramiento del enlace O-H de los grupos alcohol alifático, fenol o ácido carboxílico (Andjelkovic *et al.*, 2006). Las bandas a 2920 y 2850 cm^{-1} características de los estiramientos de los enlaces C-H (Song *et al.*, 2001). La absorción a 1720 cm^{-1} se asigna al estiramiento del enlace C=O de los grupos COOH. Las bandas que aparecen entre 1600 y 1650 cm^{-1} son debidas al estiramiento del enlace C=O en carboxilatos, cetonas y ácidos carboxílicos. El pico a 1400 cm^{-1} es debido a la deformación del enlace C-H alifático y al estiramiento asimétrico del COO⁻. Las bandas en 1511 y 1540 cm^{-1} son debidas al estiramiento del enlace C=C. Las relaciones entre los principales picos de IR para ácidos húmicos son indicativas de los grados de aromaticidad y policondensación (Amir *et al.*, 2003).

A partir de la intensidad de los principales picos del espectro de IR de las sustancias húmicas encontrados en la bibliografía (Silverstein *et al.*, 1991). Los valores del grado de aromaticidad (relación de absorbancia 1650/2920) y del grado de policondensación (1034/2920 y 1034/1540) (Amir *et al.*, 2003) medidas en los extractos de PoNa mostraron diferentes entre manejos. El pico a 1650 se debe principalmente al estiramiento de los dobles enlaces conjugados de los compuestos aromáticos. Los picos a 1540, 2920 cm^{-1} se deben a los compuestos alifáticos, y sirven de referencia del contenido de C alifático. El pico en 1034 cm^{-1} se asigna fundamentalmente a la presencia de estructuras aromáticas policondensadas del tipo de las ligninas (Amir *et al.*, 2003).

La secuencia del grado de aromaticidad (1650/2920) obtenida a partir de la relaciones de absorbancia de los espectros IR de las muestras analizadas fue la siguiente 6>5>1>4>3>2. La secuencia del grado de policondensación (1034/1540) obtenida a partir de la relaciones de absorbancia de los espectros IR de las muestras analizadas fue la siguiente 3 >5>4>2>6>1.

Según estos resultados, los sistemas de manejo más contrastantes son el 2 y el 3, por lo tanto se esperaría que los parámetros evaluados resultaran en valores diferentes. Sin embargo al analizar el grado de aromaticidad ambas secuencias presentaron valores similares (baja aromaticidad), pero la 3 presentó mayor grado de policondensación que la 2.

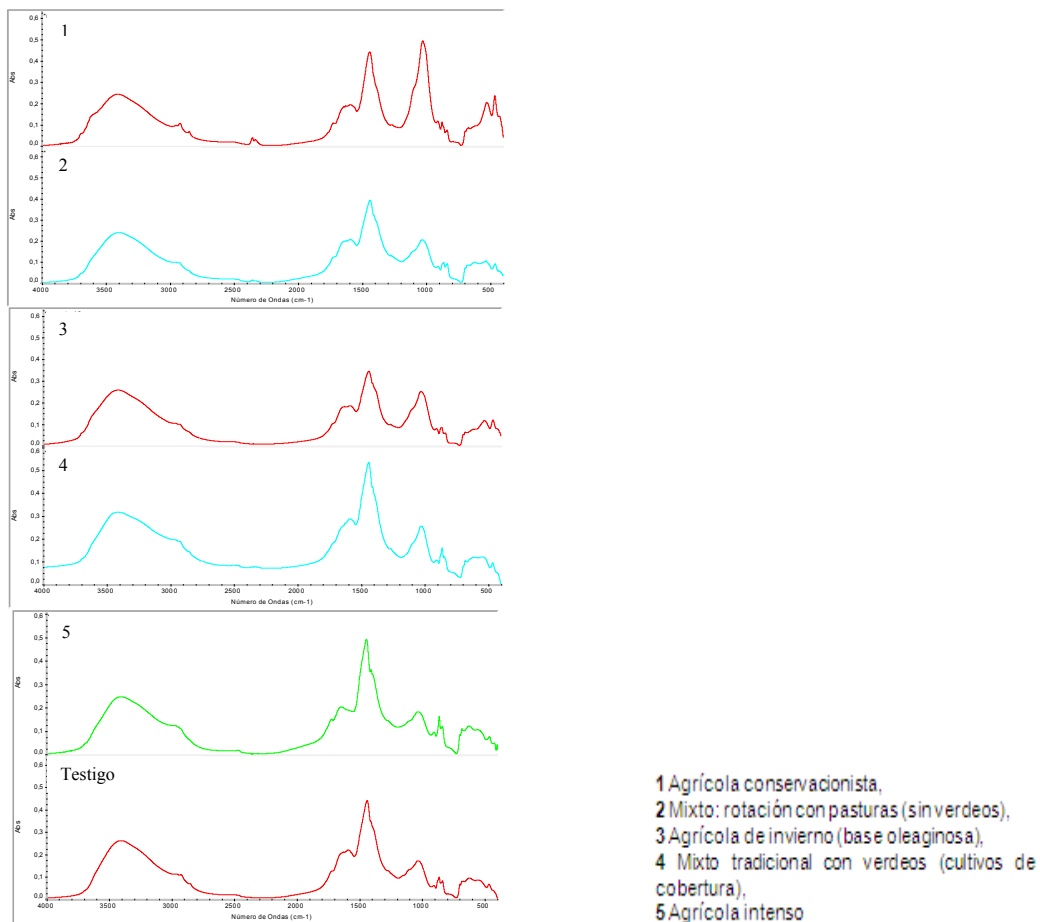


Figura 2. Espectros IR de los extractos de PoNa para las muestras estudiadas a la profundidad de 0-5 cm

Dada la complejidad de las moléculas es difícil determinar la naturaleza exacta de su estructura, pero es posible inferir la presencia de núcleos aromáticos, así como algunos grupos funcionales. Por otro lado, ¿Cómo es posible explicar el comportamiento similar que parecieran tener los manejos 2, 3 y 5 con respecto a la dinámica del PoNa? Las tres secuencias presentan el pool de PoNa más importante de los manejos analizados, siendo la relación Pi/Po mucho menor en el manejo 2. Al analizar las relaciones 1380/1620 se observó que justamente esos manejos son los que muestran la mayor cercanía. La relación 1380/1620 resultó en el orden 2>5>3>4>6>1 para todos los sistemas de manejo analizados, se trata de las bandas correspondientes a los distintos modos de vibración del mismo grupo funcional, carboxilato. Los valores de dicha relación resultan, ligeramente superiores en la rotación que incluye mayor número de pasturas (secuencia 2).

Teniendo presente que estas tres secuencias de manejo presentaron altos valores de PoNa, y de estos, la secuencia 2 tenía valores más bajos de Pe, ¿cuál podría ser la diferencia en cuanto a la calidad química de la molécula que en la secuencia 2 mantendría los niveles de fósforo disponible más bajos? Del análisis de los espectros IR surge que si se estudia la relación 1050/1260, que relaciona un éster alifático con un éster aromático, vemos que la 2 tiene una relación de 1,3 y la 5 tiene una relación de 0,94, es decir que el tipo de éster que predomina mayormente en el manejo 2 es alifático y en la 5 los esteres que tendrían mayor preponderancia son los de tipo aromático. La presencia de fosfatos inorgánicos en solución puede ser explicada por la baja hidrólisis de P orgánico o más probablemente por la pérdida de ortofosfato asociado con materiales húmicos (Levesque & Schnitzer, 1967, Gerke & Hermann, 1992). Posiblemente, el fosfato monoéster podría ser una de las especies dominantes en la secuencia 2, esta especie orgánica es más resistente a la mineralización (Guggenberger *et al.*, 1996). Esto podría explicar que la secuencia de manejo 2 libera menos P a la solución del suelo, manteniendo el Pe más bajo.

En nuestro estudio las muestras de las secuencias 3 y 5 (de las tres que tuvieron altos valores de PoNa) tuvieron los porcentajes más altos de P inorgánico extraíble con NaOH (PiNa). Esto puede indicar que la distribución de la especies de P principalmente está controlado por las “proporciones” de las especies de P respectivas en el extracto alcalino total, a partir del cual se precipitan y sólo una parte de P está en asociación libre con ácidos húmicos (Bedrock *et al.*, 1994). En consecuencia, esta parte de P no sería necesariamente altamente resistente.

Conclusiones

La materia orgánica del suelo (MOS) y sus fracciones, específicamente los ácidos húmicos, son indicadores físico, químico y biológico de los cambios que se producen entre los sistemas, pudiendo ser consideradas para evaluar diferencias en relación a los nutrientes que ciclan. No sólo es importante la cantidad de su aporte sino, específicamente con relación a las formas de P, puede mostrar cambios en su estructura que modificarán la forma en que este nutriente interactúe con la matriz del suelo.

La inclusión de pasturas en una rotación mantiene más bajos los niveles de fósforo extraíble o disponible para las plantas, sin embargo ésta es la secuencia que mantiene más altos los niveles de P moderadamente lábil (PoNa) el cuál podría encontrarse disponible durante el ciclo del cultivo.

Bibliografía consultada

- Amir S.; Hafidi M.; Bailly J. R.; Revel J. C. 2003. Characterization of humic acids extracted from sewage sludge during composting and of their Sephadex® gel fractions. *Agronomie*, 23: 269 - 275.
- Bedrock C. N.; Cheshire M.V.; Chudek J.A.; Goodman, B. A.; Shande, C.A. 1994. use of ³¹P-MNR to study the forms of phosphorus in peat soils. *Sci. Total Environ.* 152, 1-8
- Bray R.H.; Kurtz L.T. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59:39-45.
- Buehler S; Oberson A.; Rao I.M., Friesen D.K.; Frossard E. 2002. Sequential Phosphorus Extraction of a ³³P-Labeled Oxisol under Contrasting Agricultural Systems. *Soil Sci Soc Am J.* 66(3): 868-877.
- Campitelli P.; Ceppi S. 2008. Effects of composting technologies on the chemical and physicochemical properties of humic acids. *Geoderma*, 144: 325-333.
- Duval M.E.; Galantini J.A.; Iglesias J.O.; Canelo S.; Martínez, J.M.; Wall, L. 2013. Analysis of organic fractions as indicators of soil quality under natural and cultivated systems. *Soil and Tillage Research* [131: 11-19](#).
- Echeverría H.E.; García F.O. (eds). 2005. *Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos*. Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina.
- Galantini J.; Landriscini M.; Iglesias J.; Miglierina A.M.; Rosell, R. 2000. The effects of crop rotations and fertilization on wheat productivity in the Pampean semiarid region of Argentina. 2. Nutrient balance, yield and grain quality. *Soil Till. Res.* [53:137-144](#).
- Galantini J.A.; Rosell R. 2006. Long-term fertilization effects on soil organic matter quality and dynamics under different production systems in semiarid pampean soils. *Soil & tillage Research* [84:75-79](#).
- Galantini J.A.; Suñer L.; Iglesias J.O. 2007. Sistemas de labranza en el sudoeste bonaerense: efectos de largo plazo sobre las formas de fósforo en el suelo. *Revista Investigaciones Agropecuarias (RIA – INTA)* [36 \(1\): 63-81](#).
- Hedley MJ; Stewart, J.; Chauhan, B. 1982. Changes in Inorganic and Organic Phosphorus Fractions Induced by Cultivation Practices and by Laboratory Incubations. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46(5): 970-976.
- Hepper, G.; Hevia G.; Buschiazzi D.E.; Urioste, A.M.; Bono A. 1996. Efectos de la agricultura sobre fracciones de fósforo en suelos de la región semiárida pampeana central. *Ciencia del Suelo* 14 (2): 96-99.
- Holford, I.C.R. 1997. Soil phosphorus: its measurement and uptake by plants. *Australian Journal Soil Research* 35:227-240.
- Jackson M. L. 1958. *Soil chemical analysis*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J.
- Levesque M.; Shnitzer M. 1967. Organo-metallic interactions in soils, 6. Preparation and properties of fulvic acid-metal phosphates. *Soil Sci.* 103. 183-190.
- Mckenzie R.H., J.W. Stewart, J. Dimaar, G. Schaalje. 1992. Long-term crop rotation and fertilizer effects on P transformations: Chernozemic soil. *Can. J. Soil Sci.* 72: 581-589.
- Ohno T.; Griffin T. S., Liebman M.; Porter G. A. 2005. Chemical characterization of soil phosphorus and organic matter in different cropping systems in Maine, U.S.A. *Agriculture, ecosystems and environment* 105:625-634
- Suñer L.; Galantini J. 2012. Fertilización fosforada en suelos cultivados con trigo de la región pampeana. *Ciencia del Suelo* [30\(1\) 57-66](#).
- Suñer L.; Galantini J.; Minoldo G. 2014. Dynamics of soil P forms in wheat-based crop sequences in the semiarid region of Argentina. *Applied and Environment Soil Science* [6 pages](#).
- Suñer L.; Galantini J.; Varela P.; Rosell R. 2007. Estratificación de las formas de fósforo en Siembra Directa y su relación con la disponibilidad para los cultivos. En *Revista Técnica Especial AAPRESID, CIC, CERZOS y UNS. Eds. Galantini et al.* [28-31](#).
- Suñer L.G.; Galantini J.A.; Rosell R.A.; Chamadoira, M.D. 2002. Cambios en el contenido de las formas de fósforo en suelos de la región semiárida pampeana cultivados con trigo (*Triticum aestivum*). *Rev. Fac. Agron., La Plata* [104\(2\): 105-111](#).
- Suñer L.; Galantini J. 2013. Dinámica de las formas del P en suelos de la región sudoeste pampeana: estudio de la incubación con fertilizante fosfatado. *Ciencia del suelo*; [31:33-44](#)
- Tiessen H (ed.). 1995. *Phosphorus in the Global Environment: Transfers, Cycles, and Management*. John Wiley & Sons, New York. 462 pp.
- Tiessen H.; Moir J. 1993. Characterization of available P by sequential extraction. En: *Soil sampling Methods of analysis*. Carter, M.R. (Ed). Boca Raton. USA. Lewis publishers. Pp 75-86
- Tiessen, H.; Stewart, J.W.; Cole C.V. 1984. Pathways of phosphorus transformation in soils of differing pedogenesis. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48:853-858.