

CAMBIOS EN LAS FRACCIONES ORGÁNICAS RESISTENTES EN SUELOS DE LA REGIÓN PAMPEANA

MARIA ROSA LANDRISCINI^{1-2-*}, JUAN ALBERTO GALANTINI³⁻¹,
MATÍAS EZEQUIEL DUVAL², JULIO OSVALDO IGLESIAS²

Recibido: 25/9/2019

Recibido con revisiones: 14/2/2020

Aceptado: 19/4/2020

RESUMEN

Conocer la susceptibilidad a la degradación del material orgánico del suelo permite adecuar las prácticas de manejo en función de un mejor balance de carbono. El objetivo del presente trabajo fue analizar los cambios del carbono orgánico del suelo (COS) y algunas fracciones en sitios con diferentes manejos agrícolas. Se evaluaron fracciones orgánicas con distinto grado de recalcitrancia (carbono orgánico asociado a la fracción mineral, COM y recalcitrante, COR) e Índice de Recalcitrancia de carbono (IRC). Los suelos se ubicaron en Bengolea, Monte Buey, Pergamino y Viale (Argentina), con Buenas y Malas Prácticas y uno natural. La hidrólisis ácida determinó fracciones lábiles y recalcitrantes. Los diferentes sitios mostraron diferencias estadísticas tanto en el carbono total como en todas las fracciones. Las prácticas agrícolas disminuyeron el carbono total y el COM, sin alterar el COR. El IRC mostró menores valores para el suelo natural y mayores para las rotaciones con predominancia de soja. La hidrólisis ácida sería una técnica fácil de llevar a cabo y estimaría por procedimientos químicos la fracción más difícil de modificar por los manejos agrícolas.

Palabras clave: Carbono particulado, Hidrólisis ácida, Carbono resistente.

CHANGES IN RESISTANT ORGANIC FRACTIONS IN SOILS OF THE PAMPEAN REGION

ABSTRACT

Knowing the susceptibility to degradation of soil organic material allows adopting agricultural management based on a better carbon balance. The aim of this work was to quantify the effect of different agricultural management on soil organic carbon (SOC) and its different fractions. Changes in organic fractions with different degree of recalcitrance (organic carbon associated with the mineral fraction, MOC and recalcitrant, ROC) and Recalcitrance Carbon Index (RCI) were evaluated. The soils were located in Bengolea, Monte Buey, Pergamino and Viale (Argentina), with good and bad practices and a natural one. Acid hydrolysis separated labile and recalcitrant fractions. The different sites showed statistical differences in both total carbon and all fractions. Agricultural practices reduced total carbon and MOC, without altering the ROC. The RCI showed lower values for natural soil and higher for rotations with predominance of soybeans. Acid hydrolysis would be an easy technique to carry out and estimate by chemical procedures the most difficult fraction to modify by agricultural management.

Keywords: Particulate carbon, Acid hydrolysis, Resistant carbon.

1 Centro de Recursos Naturales Renovables de la Zona Semiárida (CERZOS) - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Argentina

2 Departamento Agronomía, Universidad Nacional del Sur. Argentina

3 Comisión de Investigaciones Científicas. Argentina

* Autor de contacto: mlandris@criba.edu.ar

INTRODUCCIÓN

El ciclado de la reserva de carbono orgánico del suelo (COS) está ligado a las características edáficas, las condiciones ambientales y el manejo agronómico. El uso continuo de la tierra con el aumento de los ciclos agrícolas ocasiona un rápido descenso del COS; esto se atribuye mayormente a la reducción de las entradas de materia orgánica (MO), al aumento de la descomposición de residuos de cosecha y la disminución de la protección física con las labranzas debido a la interacción entre la estructura del suelo, la actividad microbiana y el sistema de cultivo (Jiang *et al.*, 2011). En el COS se pueden diferenciar dos fracciones: una fracción lábil y una fracción estable o resistente. La fracción lábil es fácilmente mineralizable, con rápido tiempo de renovación de meses a pocos años (Krull *et al.*, 2003) y la estable será la persistente en el suelo durante un largo plazo, en escala de decenas de años (Bruun *et al.*, 2007). Esta fracción resistente se puede definir como la fracción que se pierde lentamente con el cultivo continuado del suelo y que proporcionalmente aumenta a medida que el carbono orgánico (CO) disminuye.

Desde el punto de vista productivo y de la calidad del suelo, la dinámica de la (MO) (cuyo componente más importante es el CO) aporta poco para el estudio de los efectos de las prácticas agronómicas de corto plazo (Tan *et al.*, 2007). Esto se debe a que las fracciones orgánicas más abundantes del suelo son las de ciclado más lento y se necesita gran cantidad de años para observar diferencias. En cambio, las fracciones lábiles son más sensibles a los efectos del uso de la tierra y pueden utilizarse como indicadores tempranos del efecto de la rotación de cultivos, de la fertilización o del sistema de labranza sobre la calidad del suelo (Six *et al.*, 2002).

En las regiones semiáridas, con escasas e irregulares precipitaciones y alta evapotranspiración, se obtiene una baja producción de biomasa de los cultivos y por lo tanto una limitada incorporación de residuos en el suelo. La separación del material orgánico menos transformado, sea residuos de cultivos o sus productos de transformación, se usa para cuantificar las fracciones más dinámicas de la MO del suelo. Un enfoque útil debe

plantear una visión integral, donde se consideren la calidad y las transformaciones de las fracciones orgánicas, así como el ambiente en donde interaccionan el sustrato y los microorganismos. La combinación de métodos de fraccionamiento y la consideración de los diferentes mecanismos de protección de la MO en el suelo son elementos claves que modifican la velocidad de las transformaciones (Galantini *et al.*, 2002).

La hidrólisis ácida es una técnica comúnmente usada para cuantificar la fracción recalcitrante de la MOS. Este procedimiento ha sido aplicado en numerosos estudios de modelado y de fraccionamiento de la materia orgánica del suelo (Rovira & Vallejo, 2007). Estos autores encontraron que es útil para obtener estimaciones razonablemente exactas de los diferentes pools de MOS. Autores como Pandey *et al.* (2014) se refieren a la recalcitrancia química como la resistencia del suelo a las pérdidas bajo tratamientos químicos específicos. La hidrólisis ácida con HCl (Plante *et al.*, 2006), es un procedimiento común para separar las fracciones lábiles y recalcitrantes del suelo. El reflujado de las muestras en ácido clorhídrico remueve químicamente los materiales lábiles como proteínas, ácidos nucleicos y polisacáridos, dejando compuestos más resistentes como compuestos aromáticos, humificados o alifáticos de cadenas largas. Paul *et al.* (2006) mostraron que la cantidad de C de estas fracciones difiere significativamente y que su análisis puede ayudar a entender la contribución de distintas formas de C y sus respuestas a variables ambientales bajo diferentes prácticas de manejo. La fracción no hidrolizable representa la fracción recalcitrante y su tamaño respecto al C total del suelo se denomina "Índice de Recalcitrancia" (IR) (Rovira & Vallejo, 2002).

Los métodos de fraccionamiento físico separan fracciones orgánicas con diferente labilidad: muy lábiles como el Carbono Orgánico Particulado (COP) y el más resistente, que es el Carbono Orgánico asociado a la fracción Mineral (COM) (Galantini & Suñer, 2008). Esta última fracción puede tener compuestos lábiles aún sin descomponer. Por este motivo se planteó como hipótesis que los cambios del COM con el paso del tiempo y con diferentes prácticas de manejo, no van a ser

iguales que los ocurridos con la fracción recalitrante (COR).

En cuatro suelos con prácticas agrícolas contrastantes de la región pampeana húmeda y subhúmeda, se planteó como objetivo: evaluar los cambios en el contenido de las fracciones orgánicas con distinto grado de recalitrancia (COM y COR) y la variación del Índice de Recalitrancia (IR).

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en cuatro lugares con historia documentada de siembra directa, los cuales formaron parte del proyecto BIOSPAS (Biología del Suelo y Producción Agropecuaria Sostenible). Los sitios de estudio se encuentran en Bengolea (Córdoba; latitud 33°10' 32,9" S, longitud 63° 37' 36,4" W), Monte Buey (Córdoba; latitud 32° 58' 17" S, longitud 62° 27' 2,4" W), Pergamino (Buenos Aires; latitud 33° 56' 42,6" S, longitud 60° 33' 35,6" W) y Viale (Entre Ríos; latitud 31° 52' 42,2" S longitud 59° 41' 16,2" W) (Duval *et al.*, 2013; 2016). El suelo en Bengolea es un Haplustol Éntico de textura franco arenosa donde la principal limitante es climática con baja capacidad de retención de agua debido a la textura gruesa. En Monte Buey es un Argiudol Típico de textura franco limosa y moderadamente desarrollado; en Pergamino es Argiudol Típico con textura franco limosa en los horizontes superficiales y relieve suavemente ondulado. Por último, el suelo en Viale es un Hapludert Vértico, con textura franco arcilloso limosa, es el sitio con las mayores precipitaciones y con un sistema de drenaje bien desarrollado. Los tratamientos estudiados fueron diferentes situaciones en cada lugar de muestreo: "Buenas Prácticas Agrícolas" (BP): manejo agrícola sostenible bajo siembra directa, con rotación intensiva de cultivos de invierno (trigo y cebada) y de verano (soja, maíz o sorgo), incluyendo cultivos de cobertura. El reemplazo de nutrientes se realizó en base a las necesidades del cultivo minimizando el uso de agroquímicos (herbicidas, insecticidas y fungicidas). "Malas Prácticas Agrícolas" (MP): manejo agrícola no sostenible bajo siembra directa, con mínima rotación o monocultivo de soja, baja reposición de nutrientes y alto uso de agroquímicos (insecticidas, herbicidas y fungicidas). "Ambiente Natu-

ral" (AN): situación sin uso antrópico, suelo sin cultivo como situación de referencia cerca de las parcelas cultivadas. Las muestras edáficas fueron extraídas en febrero de 2010 (verano) a la profundidad 0-0,10 m. En cada situación se seleccionaron 3 submuestras que se localizaron mediante GPS para los muestreos posteriores.

Las muestras de suelo fueron secadas al aire y tamizadas por 2 mm. A partir de éstas se realizó el fraccionamiento por tamaño de partícula (Duval *et al.*, 2013). Posteriormente el suelo de la fracción fina (FF, suelo < 50 μ) se sometió a hidrólisis ácida de acuerdo al método descrito por Paul *et al.* (1997). La técnica se basa en someter a reflujo 2 gr de muestra de fracción de suelo arriba mencionada a una temperatura de 118°C durante 18 horas, con 20 ml de HCl 6 M (relación 1:10). Después del reflujo, se obtienen dos fracciones: un precipitado y un sobrenadante. El precipitado se lava con agua destilada y se centrifuga tres veces consecutivas. Posteriormente se seca en estufa a 60°C y se pesa. Se asume que esta fracción contiene solamente la porción recalitrante del suelo. El sobrenadante que queda en suspensión se filtra y constituye la fracción hidrolizada y más lábil.

En el suelo entero y en las fracciones obtenidas, se determinó el CO total (COT), el Carbono orgánico particulado (COP), el Carbono orgánico asociado a la fracción mineral (COM), el carbono orgánico recalitrante (COR) y el carbono orgánico hidrolizado (COH), por el método de combustión seca (1500°C, con analizador automático LECO C Analyser). En el caso del COP el porcentaje se obtuvo por diferencia entre el COT menos el COM y en el caso del COH por diferencia entre el COM menos el COR. En el mismo residuo no hidrolizado, se determinó el Nitrógeno total recalitrante (NR) por el método semimicro Kjeldahl (Bremner, 1996).

El grado de recalitrancia se expresó como Índice de Recalitrancia de Carbono,

$$\text{IRC (\%)} = \text{C no hidrolizado (COR)/COT} * 100$$

El efecto de las variables edáficas, los sitios y tratamientos y sus interacciones, se evaluaron mediante ANOVA. Cuando existieron diferencias entre tratamientos, se calculó la diferencia míni-

ma significativa (DMS) con un nivel de probabilidad de $p < 0,05$. Además, para sintetizar la relación entre las variables edáficas, los sitios y los manejos agrícolas, se realizó un análisis multivariado de componentes principales (ACP). Todos los análisis se realizaron utilizando el software estadístico INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2013).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Todas las variables analizadas mostraron diferencias estadísticas, tanto entre los sitios de muestreo como entre las situaciones de manejo, a excepción del COR, el cual varió entre sitios, pero no por efecto de los tratamientos. La interacción entre variables no fue significativa, lo que indicó que en cada lugar estudiado y para cada situación de manejo, el comportamiento de las mismas fue similar (**Tabla 1**).

En el ambiente natural, el COT fue más elevado que en los suelos cultivados anualmente reflejando la mayor masa de raíces y biomasa aérea de plantas que existen bajo los suelos sin cultivar. Siguiendo el gradiente de lluvias (Este-Oeste), fue más elevado en Viale (3,95%) y el más bajo en Bengolea (1,63%). Numerosos estudios han mostrado la influencia de la textura sobre el contenido y calidad del COS (Galantini *et al.*, 2004). Cuando aumentan los materiales finos, mayor es la protección que ofrecen a la MO debido a la asociación entre partículas inorgánicas y moléculas orgánicas más transformadas (Wander, 2004). El porcentaje de FF osciló entre 40% (Bengolea) y 97% para el sitio Viale, corroborando los antecedentes bibliográficos.

Las prácticas agrícolas continuas produjeron un descenso en los valores del COT respecto al ambiente natural, diferenciándose significativamente entre buenas y malas prácticas. Es sabido

Tabla 1. Fracciones de carbono orgánico y nitrógeno del suelo en cada sitio y tratamiento.

Table 1. Organic carbon and nitrogen soil fractions at each site and treatment.

SITIO	COT	COM	COR	COH	IRC	NR	IRN
%							
Ambiente Natural (AN)							
Bengolea	1,63	0,93	0,61	0,31	37,4	0,034	25,1
Monte Buey	3,13	2,13	1,45	0,68	46,3	0,090	34,8
Pergamino	2,84	1,75	1,01	0,74	35,5	0,063	25,5
Viale	3,95	2,44	1,73	0,71	43,8	0,073	24,5
Buenas Prácticas (BP)							
Bengolea	1,78	1,08	0,82	0,26	46,1	0,039	27,2
Monte Buey	2,09	1,59	1,39	0,14	66,5	0,064	37,5
Pergamino	2,00	1,33	0,97	0,33	48,5	0,060	29,2
Viale	3,61	2,86	2,10	0,76	58,2	0,047	22,9
Malas Prácticas (MP)							
Bengolea	1,17	0,71	0,55	0,16	47,0	0,024	26,1
Monte Buey	1,71	1,29	1,33	0,02	77,8	0,061	46,8
Pergamino	1,62	1,04	0,72	0,32	44,4	0,038	29,6
Viale	2,90	2,19	1,61	0,58	55,5	0,074	36,4
ANOVA $p < 0,05$							
Sitio	***	***	***	*	***	***	***
Tratam.	***	***	ns	*	***	***	***
Año×Tratam.	ns	ns	ns	ns	ns	*	*

COT: Carbono orgánico total; COM: carbono orgánico asociado a la fracción mineral; COR: carbono orgánico recalcitrante; COH: carbono orgánico hidrolizado; IRC: Índice de Recalcitrancia de carbono; NR: nitrógeno recalcitrante; IRN: Índice de Recalcitrancia de nitrógeno.

que el uso agrícola continuo de los suelos, disturba la protección física del C en el suelo y puede llevar a la rápida pérdida de C (Pandey *et al.*, 2014). La magnitud de esta disminución por efecto del uso productivo del suelo, varió en los diferentes sitios. Las mayores pérdidas se produjeron en Monte Buey (3,13 a 2,09%) y en Pergamino (2,84 a 2,00%), ambos alrededor de 40%, con menores diferencias entre BP y MP. El resto de los sitios perdió entre 10 y 20% del COT por efecto de la agricultura continua. La bibliografía mostró tendencias similares para suelos de la Pampa Ondulada (Andriulo & Cordone, 1998).

La fracción recalcitrante obtenida luego de la hidrólisis ácida, representó la mayor parte del COS, datos consistentes con otros estudios (Paul *et al.*, 2006; Muñoz-Romero *et al.* 2017). Los contenidos de limo más arcilla, mostraron una asociación con las fracciones orgánicas del suelo, siendo más estrecha en la fracción más recalcitrante que en las lábiles. Nuevamente Viale presentó mayores valores de COM y COR y Bengolea los menores. En todos los casos el %COR osciló entre 60 y 70% del COM y el resto (COH) representó la fracción lábil o hidrolizada. En la mayoría de los sitios el AN mostró valores de COM su-

periores con diferencias estadísticas entre buenas y malas prácticas de manejo (Tabla 1).

Para el caso de la fracción orgánica más recalcitrante, COR, las prácticas agrícolas no mostraron diferencias estadísticas, siendo Viale el sitio con mayor acumulación. Estos resultados indicarían que los cambios estadísticos observados en el COM no se corroboraron en el COR. De acuerdo a esta hipótesis, las prácticas de manejo con diferentes secuencias agrícolas no estarían alterando el equilibrio en las fracciones orgánicas más estables; en este caso no se alteró la fracción COR y sí el COM. Shrestha *et al.* (2008) obtuvieron conclusiones similares indicando que la labranza tuvo poca influencia sobre el contenido de la fracción recalcitrante debido a su estabilidad relativamente alta.

En la Figura 1 se sintetizó lo observado con las fracciones de carbono orgánico entre los sitios de muestreo y las diferentes prácticas de manejo. Los manejos modificaron las fracciones lábiles de la materia orgánica, en especial el carbono orgánico particulado, COP y el COH. El COR fue la fracción más abundante diferenciándose los contenidos entre los sitios. Esta fracción siguió la misma tendencia del COT, disminuyendo de este (Viale) al oeste (Bengolea), en la medida

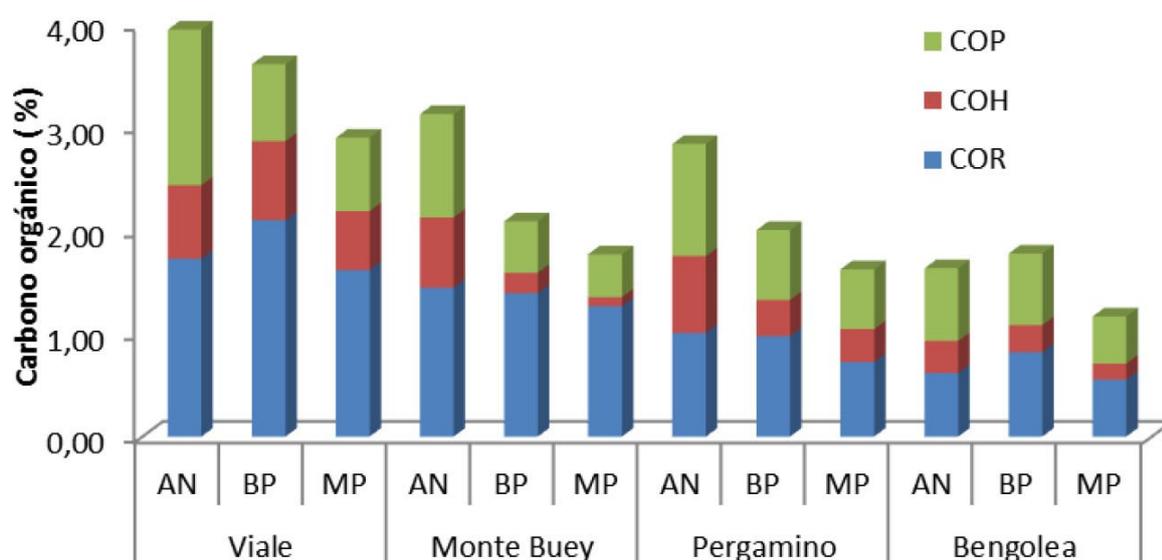


Figura 1. Contenido de carbono orgánico particulado (COP), carbono orgánico hidrolizado (COH) y carbono orgánico recalcitrante (COR) en diferentes sitios para diferentes prácticas agrícolas.

Figure 1. Contents of particulate organic carbon (POC), hydrolyzed organic carbon (HOC) and recalcitrant organic carbon (ROC) at different sites for different agricultural practices.

que el material fino del suelo disminuyó (Duval, *et al.*, 2016). Como contrapartida las prácticas agrícolas (AN, BP y MP) no mostraron diferencias para cada sitio en particular. En el caso del AN a pesar de no ser una práctica agrícola fue incluido en el estudio estadístico como situación de referencia. En el caso del COH se observaron diferencias tanto entre sitios como entre manejos agrícolas. Nuevamente Viale mostró los mayores valores con disminución del contenido desde AN, seguido por las BP y por último los menores valores se observaron en MP. El COP estimado presentó iguales tendencias: diferencias entre sitios y entre manejos: AN>BP>MP. La hidrólisis ácida fue un método adecuado para mostrar la variación de las fracciones lábiles de la MO con el manejo del suelo y la estabilidad de la fracción recalcitrante.

Las correlaciones positivas encontradas entre el contenido de COT, el COR y la fracción hidrolizada (COH) (**Figura 2**), indicarían que cambios en la MO producidos por el manejo agrícola, serían entendidos de mejor manera considerando

las fracciones de C obtenidas por la hidrólisis (Ding *et al.*, 2012). Tanto la estabilidad como la descomposición de las fracciones del COS son variables importantes para determinar la influencia del manejo agrícola sobre la calidad de la MO del suelo (Muñoz-Romero *et al.*, 2017). Haynes (2005), concluyó que la fracción recalcitrante no está afectada por prácticas de manejo del suelo, sin embargo la fracción hidrolizada puede considerarse un indicador útil de la calidad del suelo y más sensible a los cambios debidos a las prácticas agrícolas.

El IRC en ambientes naturales se diferenció estadísticamente de la agricultura, sin diferencias entre manejos. Osciló entre 41% para AN y 55-56% para los ambientes con agricultura, con pequeñas diferencias entre Buenas y Malas prácticas de manejo. Estos valores indicarían que la diferente proporción de soja, respecto a maíz (1:1 y 4:1) en ambos manejos, no estaría afectando la estabilidad de los materiales recalcitrantes, tendencia contraria a lo observado con el COH que podría asociarse a una mayor susceptibilidad a la

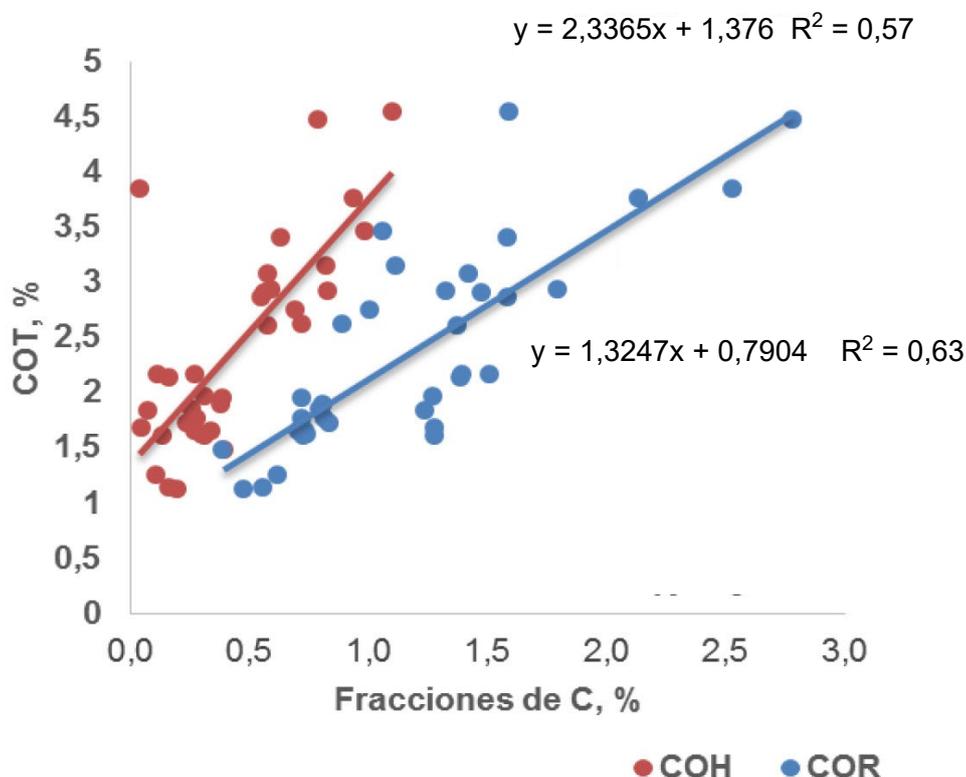


Figura 2. Relación entre el CO total, la fracción hidrolizada (COH) y la recalcitrante (COR).

Figure 2. Relationship between soil organic carbon on hydrolyzed (HOC) and recalcitrant fraction (ROC) and total soil organic C

degradación química. En todos los casos Monte Buey presentó los mayores valores de IRC, los que aumentaron notablemente con el uso del suelo con mayor susceptibilidad a la degradación (46,3 en AN, 66,5 con BP y 77,8 con MP). En el resto de los sitios este parámetro se mantuvo más estable con el uso productivo del suelo. Cabe destacar que, a pesar de los mayores valores de COS encontrados en BP, el manejo MP mostró similares valores de IRC, sugiriendo que el COR no dependió del contenido de carbono total del suelo, pero sí posiblemente de la calidad y las características químicas de los materiales orgánicos (**Tabla 1**). Rovira & Vallejo (2002), sugirieron que este índice de recalcitrancia sería más adecuado que los clásicos índices como la relación C:N, para predecir la descomposición de la MO del suelo.

El NR en el ambiente natural fue superior y estadísticamente significativo respecto a los manejos agrícolas, sin diferencias entre BP y MP. El IRN también mostró diferencias estadísticas entre sitios y entre manejos, con valores que oscilaron entre 35% para MP y 27% para AN. Estos resultados ponen en evidencia que la dinámica del C y del N en la fracción recalcitrante es diferente, por lo que serían necesario estudios más detallados para comprender mejor los cambios que se pueden producir en el largo plazo.

Para sintetizar los resultados e interpretar el efecto de las distintas fracciones orgánicas y los Índices de Recalcitrancia de Carbono y de Nitrógeno, se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP). Se usaron los porcentajes de las variables FF, COT y sus fracciones: COM, COR y COH, NR y los índices asociados a estas propiedades del suelo: IRC e IRN (**Figura 2**). Se conservaron los dos primeros componentes cuyos autovalores fueron > 1 (**Tabla 2**). Los componentes CP1 y CP2 del ACP explicaron en suma 83% de la varianza total acumulada. El CP1 explicó 57% de la varianza y las variables FF, COT y sus fracciones (COM, COR y COH) y NR, se correlacionaron positivamente con coeficientes altamente significativos. Las fracciones orgánicas del COS se asociaron principalmente con los ambientes naturales (AN) sin poder diferenciarse específicamente los sitios de estudio (**Figura 3**). Este comportamiento fue observado con anterioridad por Duval *et al.* (2016). El CP2 explicó solo 26% de la varianza con los IRC y el IRN asociados positiva y significativamente. Estos índices asociados al nivel de recalcitrancia, no permitieron distinguir adecuadamente entre sitios y manejos agrícolas, debido que el C se encontraría con un alto grado de estabilidad en esta fracción. Este estudio multivariado de todas formas corroboró que los ma-

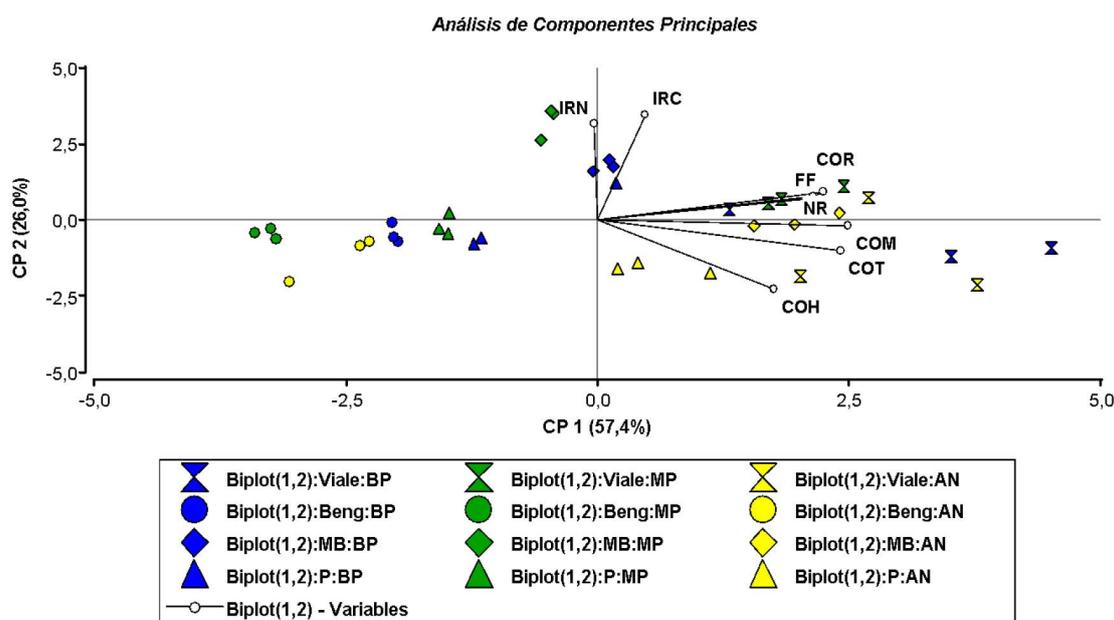


Figura 3. Gráfico Bi plot correspondiente al análisis de componentes principales (ACP).

Figure 3. Biplot of principal components analysis (PCA).

yores valores de IRC se encontraron en MB tanto con buenas como con malas prácticas de manejo agrícola, separándolas del AN, menos susceptible a la degradación química del suelo.

Tabla 2. Matriz de Correlaciones de los Componentes Principales (CP1 y CP2) y las variables de suelo asociadas.

Table 2. Matrix of principal components (PC1 and PC2) correlations and soil variables associated.

Variables	CP1	CP2
-	.57%	26%
FF	0,87***	0,20
COT	0,95***	-0,26
COM	0,98***	-0,06
COR	0,88***	0,24*
COH	0,69***	-0,60***
IRC	0,18	0,91***
IRN	-0,01	0,83***
NR	0,84***	0,2

CONCLUSIONES

En los cuatro sitios incluidos en el proyecto BIOSPAS, tanto el COT, como el COM y el COH, mostraron diferencias entre manejos y sitios, mientras que el COR no se vio alterado por las prácticas de manejo agrícolas. El IRC mostró los menores valores para el suelo no alterado (AN) con mayores valores en el caso de manejos con soja en la rotación. La fracción recalitrante obtenida por hidrólisis ácida no cambió frente a los manejos contrastantes estudiados. La hidrólisis ácida sería una técnica fácil de llevar a cabo y estimaría por procedimientos químicos la fracción más difícil de modificar por los manejos agrícolas.

REFERENCIAS

- Andriulo, AE & G Cordone. 1998. Impacto de labranzas y rotaciones sobre la materia orgánica del suelo en la Región Pampeana Húmeda. En: Panigatti, JL; H Marelli; D Buschiazzi & R Gil (Eds.). Siembra directa. Hemisferio Sur, Bs. As., Arg., pp. 65-96.
- Bremner, JM. 1996. Nitrogen Total. In: DL Sparks (Ed.). Methods of Soil Analysis. Chemical Methods. Part 3. American Society of Agronomy Inc. Madison, Wisconsin, USA. Pp. 1085-1123.
- Bruun, S; IK Thomsen; BT Christensen & LS Jensen. 2007. In search of stable soil organic carbon fractions: a comparison of methods applied to soils labeled with ^{14}C for 40 days or 40 years. *Eur. J. Soil Sci.* 59: 247-256.
- Ding, X; X Han; Y Liang; Y Qiao; L Li & N Li. 2012. Changes in soil organic carbon pools after 10 years of continuous manuring combined with chemical fertilizer in a Mollisol in China. *Soil Till. Res.* 122: 36-41.
- Di Rienzo, JA; F Casanoves; MG Balzarini; L González; M Tablada & CW Robledo. 2013. InfoStat versión 2013. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.
- Duval, ME; JA Galantini; JO Iglesias; S Canelo; JM Martínez & L Wall. 2013. Analysis of organic fractions as indicators of soil quality under natural and cultivated systems. *Soil Tillage Res.* 131: 11-19.
- Duval, ME; JA Galantini; JM Martínez; FM López & L Wall. 2016. Sensitivity of different soil quality indicators to assess sustainable land management: Influence of site features and seasonality. *Soil & Tillage Research* 159: 9-22.
- Galantini, JA; RA Rosell; G Brunetti & N Senesi. 2002. Dinámica y calidad de las fracciones orgánicas de un Haplustol durante la rotación trigo-leguminosa. *Ci. Suelo* 20: 17-26.
- Galantini, JA; N Senesi, G Brunetti & R Rosell. 2004. Influence of texture on the nitrogen and sulphur status and organic matter quality and distribution in semiarid Pampean grassland soils. *Geoderma* 123: 143-152.
- Galantini, JA & LG Suñer. 2008. Las fracciones orgánicas del suelo: análisis de los suelos de Argentina. *Agriscientia* 25: 41-55.
- Haynes, RJ. 2005. Labile organic matter as central components of the quality in agricultural soils: an overview. *Adv. In Agronomy* 85: 221-268.
- Jiang, X; AL Wright; J Wang & Z Li. 2011. Long-term tillage effects on the distribution patterns of microbial biomass and activities within soil aggregates. *Catena* 87: 276-280.
- Krull, ES; JA Baldock & JO Skjemstad. 2003. Importance of the analyses for modelling carbon turnover. *Funct. Plant Biol.* 30: 207-222.
- Muñoz-Romero, V.; RJ López-Bellido; P Fernández-García; R Redondo; S Murillo & L López-Bellido. 2017. Effects of tillage, crop rotation and N application rate on labile and recalitrant soil carbon in a Mediterranean Vertisol. *Soil & Tillage Research* 169: 118-123.
- Pandey, D; M Agrawal; JS Bohra; TK Adhya & P Bhattacharyya. 2014. Recalcitrant and labile carbon pools in a sub-humid tropical soil under different tillage combinations: A case study of rice-wheat system. *Soil & Tillage Research* 143: 116-122.
- Paul, EA; RF Follett; SW Leavitt; A Halvorson; GA Peterson & DJ Lyon. 1997. Radiocarbon dating for determination

- of soil organic matter pool sizes and dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61: 1058-1067.
- Paul, EA; SJ Morris; RT Conant & AF Plante. 2006. Does the acid hydrolysis incubation method measure meaningful soil organic matter pools. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70: 1023-1035.
- Plante, AF; RT Conant; EA Paul; K Paustian & J Six. 2006. Acid hydrolysis of easily dispersed and microaggregate-derived silt- and clay-sized fractions to isolate resistant soil organic matter. *J. Soil Sci.* 57: 456-467.
- Rovira, P & VR Vallejo. 2002. Labile and recalcitrant pools of carbon and nitrogen in organic matter decomposing at different depths in soil: an acid hydrolysis approach. *Geoderma* 107: 109-141.
- Rovira, P & VR Vallejo. 2007. Labile, recalcitrant, and inert organic matter in Mediterranean forest soils. *Soil Biol. Biochem.* 39: 202-215.
- Shrestha, BM; G Certini; C Forte & BR Singh. 2008. Soil organic matter quality under different land uses in a mountain watershed of Nepal. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 72: 1563-1569. doi:10.2136/sssaj2007.0375.
- Six, J; RT Conant; EA Paul & K Paustian. 2002. Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of soils. *Plant Soil* 241: 155-176.
- Tan, Z; R Lal; L Owens & RC Izaurralde. 2007. Distribution of light and heavy fractions of soil organic carbon as related to land uses and tillage practice. *Soil & Tillage Research* 92: 53-59.
- Wander, M. 2004. Soil organic matter fractions and their relevance to soil function. In: K Magdoff & RR Weil (Eds.). *Soil organic matter in sustainable agriculture*. CRC Press, Boca Raton, Florida, EE.UU. Pp. 67-102.