

VARIACIÓN DE SUSTANCIAS HÚMICAS DE ABONOS ORGÁNICOS EN CULTIVOS DE PAPA Y MAÍZ

NÉLIDA JANAMPA¹; ANGELA QUIÑONES¹; LUIS SUÁREZ SALAS^{2*} & YANINA CHALCO¹

Recibido: 20-10-13

Recibido con revisiones: 12-03-14

Aceptado: 16-03-14

RESUMEN

La materia orgánica del suelo (MOS) es una variable clave en la calidad del suelo, por lo que se precisa conocer sus diferentes procesos de descomposición que puede influenciar la fertilidad del suelo. Por ello, se evaluó la generación de sustancias húmicas mediante la incorporación de estiércoles de ovino, cuy y vacuno a cultivos de papa y maíz con dosis de 15 y 10 Mg ha⁻¹, respectivamente. El estudio se realizó en cuatro localidades. Se analizaron muestras de suelo antes de la incorporación de la materia orgánica y un día antes de la cosecha. Carbono orgánico se determinó en las sustancias húmicas por el método de Walkley-Black, y para la extracción y fraccionamiento de sustancias húmicas se aplicó el método de Kononova-Belchikova. Como producto del abonamiento, la MOS se incrementó en las parcelas de papa, destacando el tratamiento con estiércol de ovino en Santa Ana, excepto en el testigo (sin abonamiento) de El Mantaro y en todos los tratamientos de Huayao. Análogamente ocurre en las parcelas con maíz, resaltan los incrementos en más del 112% con estiércol de ovino y más de 90% con estiércol de cuy en Santa Ana. En cuanto a la evolución de los ácidos fúlvicos, ácidos húmicos y huminas, por lo general se incrementaron, pero descendieron en algunos; esta variación se debe a factores locales que condicionan la actividad biológica responsable de la descomposición de la MOS y su posterior mineralización. Las relaciones CAF/CAH fueron menores de 1, indicando evolución limitada de la MOS.

Palabras clave. Materia orgánica del suelo; sustancias húmicas, abono orgánico.

VARIATION OF HUMIC SUBSTANCES FROM ORGANIC MANURES IN POTATO AND MAÍZE CROPS

ABSTRACT

Organic amendments are an important source of soil organic matter. Elucidating the decomposition dynamics of organic amendments is important to understand their contribution to soil fertility. The objectives of this study were to evaluate the formation of humic substances from the soil incorporation of rom ovine, bovine and guinea pig manures to crops of potato and maize at rates of 10 and 15 Mg ha⁻¹, respectively. The study was performed at four locations. Soil samples were analyzed before manure incorporation and a day before crop harvest. The organic carbon content was determined in the humic substances by the Walkley-Black method, and for the extraction and fractionation of humic substances the method of Kononova-Belchikova was performed. As expected, soil amendment increased SOM at all locations and under potato and maize crops. Fulvic and humic acids, and humins, generally increased, but in some cases they decreased; this variation could be related to local factors that affected the biological activity responsible for the decomposition of MOS and its later mineralization. C_{AF}/C_{AH} indexes were smaller than 1, indicating limited evolution of MOS.

Key words. Soil organic matter; humic substances, organic manures.

¹ Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional del Centro del Perú, Av. Mariscal Castilla 3909, El Tambo, Huancayo, Junín.

² Observatorio de Huancayo, Instituto Geofísico del Perú. Lima 23, Perú.

*Autor de contacto: lsuarez@igp.gob.pe

INTRODUCCIÓN

La materia orgánica del suelo (MOS) es un conjunto de residuos orgánicos de origen animal y/o vegetal, que están en diferentes grados de descomposición, y que se acumulan tanto en la superficie como dentro del perfil del suelo (Rosell, 1999). El carbono orgánico del suelo (COS) es el principal elemento que forma parte de la MOS, por esto es común que ambos términos se confundan o se hable indistintamente de uno u otro. Los métodos analíticos determinan COS, y la MOS se estima a partir del COS multiplicado por factores empíricos como el de Van Benmelen equivalente a 1,724 (Jackson, 1964).

En condiciones naturales, el COS resulta del balance entre la incorporación al suelo del material orgánico fresco y la salida de C del suelo en forma de CO₂ a la atmósfera (Swift, 2001 & Aguilera, 2000), erosión y lixiviación. Cuando los suelos tienen condiciones aeróbicas, una parte importante del carbono que ingresa al suelo es lábil y se mineraliza rápidamente y una pequeña fracción se acumula como humus estable (FAO, 2001). Bajo condiciones de cultivo convencionales, es una fuente de CO₂ para la atmósfera (Kern & Johnson, 1993; Gifford, 1994; Reicosky, 2002).

En la MOS se distingue una fracción lábil, disponible como fuente energética, que mantiene las características químicas de su material de origen, y una fracción húmica, más estable, constituida por **ácidos fúlvicos, ácidos húmicos y huminas** (Galantini, 2002; Aguilera, 2000). Cada una de estas fracciones se obtiene por solubilización en medios ácidos o alcalinos. Sin embargo, este tipo de fraccionamiento se encuentra limitado por la presencia de componentes no húmicos extraídos junto con la fracción húmica y que no pueden ser separados efectivamente mediante esta metodología (Hayes y Clapp, 2001).

Las sustancias húmicas (**SH**) son el principal componente de la MOS y representan, por lo menos el 50% de ésta (Simpson *et al.*, 2007). Se considera a las sustancias húmicas como los constituyentes más importantes de la MOS, y que ellas influyen directa o indirectamente sobre la fertilidad del suelo, al ejercer numerosas funciones que le son específicas (Swift, 1979). Las sustancias húmicas son el material orgánico más abundante del medioambiente terrestre (Hayes y Clapp, 2001). Dentro de la fracción húmica, las huminas son el componente más abundante. Las **huminas** representan más del 50% del COS en suelos minerales (Kononova, 1966) y más del 70% del COS en

sedimentos litificados (Hedges *et al.*, 1995). Las huminas incluyen una amplia gama de compuestos químicos insolubles en medio acuoso y contienen, además, compuestos no húmicos como largas cadenas de hidrocarburos, ésteres, ácidos y estructuras polares, íntimamente asociados a los minerales del suelo (Hayes y Clapp, 2001).

Interpretación del fraccionamiento químico de la materia orgánica

La relación ácidos húmicos/ácidos fúlvicos (AH/AF) indica la movilidad del carbono en el suelo. En general suelos más arenosos presentan mayor relación AH/AF, indicando una pérdida selectiva de la fracción más soluble (Fracción ácido Fúlvico -FAF-). La relación extracto alcalino (ácido fúlvico + ácido Húmico)/huminas, (EA/Hum) indica iluviación de la MO, en cuanto a los horizontes superficiales las relaciones EA/Hum en general son menores que 1.

La razón AH/AF fue utilizada por Kononova (1982) como un indicador de la calidad del humus. El contenido bajo de bases cambiables en el suelo puede disminuir la intensidad del proceso de humificación, es decir, las reacciones de síntesis y condensación química y microbiana (Stevenson, 1996). Como resultado, se espera una menor razón AH/AF en los suelos más intemperizados. Los ácidos húmicos son considerados un marcador natural del proceso de humificación que puede reflejar la condición de la formación así como de manejo del suelo. Los suelos naturalmente fértiles en ambientes temperados son más ricos en ácidos húmicos, donde la razón AH/AF es mayor que 1. En cambio, en las zonas tropicales, se han reportado valores menores que 1 (Canellas *et al.*, 2000; Canellas *et al.*, 2003; Cunha *et al.*, 2003). En este ambiente, donde la presencia de bases cambiables de los suelos es baja, debido a la acción del clima a que estos suelos fueron sometidos, se espera una menor intensidad de los procesos de humificación (condensación y síntesis) y como consecuencia, menores cantidades de ácidos húmicos (Canellas *et al.*, 2003).

Dada esta complejidad entre los diferentes componentes del carbono presente en el suelo, los aportes provenientes de los diferentes residuos orgánicos, animales o vegetales, y sus procesos de descomposición en este trabajo se evaluó la variación de las sustancias húmicas por la incorporación de estiércoles de ovino, cuy y vacuno a cultivos de papa y maíz a diferentes dosis y cubriendo cuatro localidades de importancia agrícola con la hipótesis nula de que no existen diferencias significativas entre las sustancias húmicas generadas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar y fecha

Se realizó en cuatro localidades del departamento de Junín en Perú: **Vista Alegre** (provincia de Chupaca), INIA **Santa Ana** (Saños Grande, provincia de Huancayo), Estación experimental Agropecuaria **El Mantaro** (provincia de Jauja) y **Huayao** (provincia de Chupaca), durante la campaña agrícola 2008-2009.

Descripción de los suelos

El análisis detallado del suelo fue realizado durante el período de estudios incluyendo propiedades físicas, químicas y biológicas (V. Jaime, datos sin publicar). Una breve descripción de estas propiedades se presenta en las Tablas 1 y 2. Especialmente respecto a la textura del suelo y las propiedades químicas más importantes para fines agrícolas. Cabe indicar que los suelos han tenido un predominante uso agrícola.

Descripción de los abonos orgánicos

La Tabla 3 presenta la caracterización química de los diferentes abonos utilizados en el presente estudio (J. Malca, datos sin publicar). Los resultados comparados a los análisis de otros investigadores resultan bastantes altos (Suquilanda, 1996; Restrepo, 1996). La razón de la dife-

rencia podría ser el grado de descomposición de los estiércoles al momento de tomar la muestra y hacer el análisis.

Diseño y material experimental

Se empleó, en cada localidad y cultivo, el diseño de bloques completos aleatorizados con tres repeticiones por tratamiento, totalizando 20 tratamientos. Las dosis de abono orgánico y fertilizante químico aplicadas a cada cultivo se indican en la Tabla 4. La papa empleada fue la var *Canchan*, y el maíz fue la var *Cuzco mejorado*.

Obtención de las muestras de suelo

Se hizo un muestreo aleatorio en forma de zigzag, tomando sub-muestras a una profundidad de 30 cm en cada vértice donde se cambió la dirección del recorrido. Se tomaron muestras antes de la adición de los abonos (para el diagnóstico inicial) y muestras un día antes de la cosecha (para la comparación final), en cada una de las sub-parcelas de papa y maíz.

Extracción y fraccionamiento de sustancias húmicas

Para este propósito se aplicó el método de Kononova-Belchikova. Las sustancias húmicas son extraídas con una mezcla de pirofosfato de sodio e hidróxido de sodio. Las huminas

Tabla 1. Textura de los suelos de los sitios experimentales.

Table 1. Soil texture analysis in experimental sites.

LUGARES	% Arena	% Limo	% Arcilla	Clase Textural
Chupaca	53,44	23,64	22,92	Franco Arcillo Arenoso
Santa Ana	39,44	36,72	23,84	Franco
El Mantaro	38,72	36,72	24,56	Franco
Huayao	50,72	28,00	21,28	Franco Arcillo Arenoso

Tabla 2. Propiedades químicas de los suelos en los sitios experimentales antes de la aplicación de enmiendas.

Table 2. Soil chemical properties in the experimental sites before application of organic manures.

Lugar	Medida	pH	MO %	P ppm	K ₂ O ppm	CIC	Ca ²⁺ Cmol(+)/kg	Mg ²⁺ Cmol(+)/kg	K ⁺ Cmol(+)/kg	Na ⁺ Cmol(+)/kg	CE dS/m
Chupaca	Media	8,0	3,88	21,62	154,64	27,33	21,87	4,68	0,49	0,29	0,36
	Desv. Std	0,04	0,23	0,00	81,31	1,20	1,15	0,13	0,22	0,06	0,04
Santa Ana	Media	6,0	1,70	23,97	52,90	10,82	8,53	1,57	0,18	0,55	0,12
	Desv. Std	0,11	0,07	0,00	2,56	1,55	1,23	0,20	0,02	0,17	0,02
Mantaro	Media	7,5	2,40	46,35	94,10	9,12	6,99	1,32	0,27	0,55	0,20
	Desv. Std	0,24	0,35	0,00	9,34	1,81	1,55	0,30	0,06	0,17	0,04
Huayao	Media	7,8	2,84	43,41	67,70	16,24	13,60	2,10	0,24	0,30	0,48
	Desv. Std	0,24	0,24	0,00	8,54	2,11	1,80	0,31	0,03	0,03	0,09

Tabla 3. Análisis químico de estiércoles aplicados a los cultivos de papa y maíz.

Table 3. Chemical analysis of manures applied to potato and maize crops.

Tipo de estiércol	pH	MO(%)	N(%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O(%)
Cuy	8,63	40,93	2,05	2,45	3,55
Ovino	8,63	31,35	1,57	0,50	0,58
Vacuno	8,30	33,74	1,68	1,10	1,40

Tabla 4. Dosificación de los abonos orgánicos y el fertilizante químico inorgánico utilizado en cultivos de papa y maíz.

Table 4. Organic amendment and inorganic chemical fertilizer rates used in potato and maize crops.

Abono	Dosis (Mg por ha ⁻¹)	
	Maíz	Papa
T ₁ Estiércol de ovino	10	15
T ₂ Estiércol cuy	10	15
T ₃ Estiércol de vacuno	10	15
T ₄ Fertilizante químico (N - P ₂ O ₅ - K ₂ O)	0,18-0,12-0,08	0,18-0,12-0,08
T ₅ Testigo absoluto	0	0

se determinaron por diferencia con el contenido de carbono total del suelo (Kononova-Belchikova, 1961). Cabe indicar que la determinación del contenido de carbono orgánico en las sustancias húmicas fue realizado mediante el tradicional método de Walkley-Black.

Análisis estadístico

Los datos de MOS y de fraccionamiento del COS fueron sometidos a análisis de variancia y prueba de comparación múltiple Tukey, utilizando el complemento XLSTAT del programa informático Excel.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contenido de Materia Orgánica

Como consecuencia del abonamiento, la MOS se incrementó en las parcelas de papa, destacando el tratamiento con estiércol de ovino en Santa Ana (Fig. 1), excepto en el tratamiento control (sin abonamiento) de El Mantaro y en todos los tratamientos de Huayao.

De modo similar ocurre en las parcelas con maíz, resaltan los incrementos en más del 112% con estiércol de ovino y más de 90% con estiércol de cuy en Santa Ana, incluso el tratamiento control superó a las demás localidades, este

incremento indicaría falta de mineralización (D' Andrea *et al.*, 2004; Moreira & Siqueira, 2002; Rocha & Rosa, 2003), que se refleja en un menor rendimiento con respecto a Huayao, donde sólo el tratamiento con fertilizante muestra incremento de MOS (Fig. 2). En los suelos de Chupaca y Huayao la variación de la MOS es de acuerdo al tratamiento. Estos resultados indicarían que en Chupaca y Huayao la MOS incorporada al cultivo de maíz no ha sido lo suficiente como para lograr un incremento al final del cultivo.

Las disminuciones porcentuales del contenido de MOS en las parcelas donde las hubo, son menores a los reportados por Reicosky (2002), que indica que se producen pérdidas de COS que fluctúan entre 30 y 50% con respecto al nivel inicial.

Fraccionamiento del Carbono Orgánico

Antes del tratamiento el análisis de variancia (ANOVA) inicial revela diferencias altamente significativas entre localidades para todos los tipos de fracciones de COS. La prueba de comparación múltiple para contenido de ácidos húmicos (Tabla 5) revela las diferencias significativas determinadas mediante el ANOVA, así en Chupaca existe menor cantidad que en las demás localidades. Las huminas

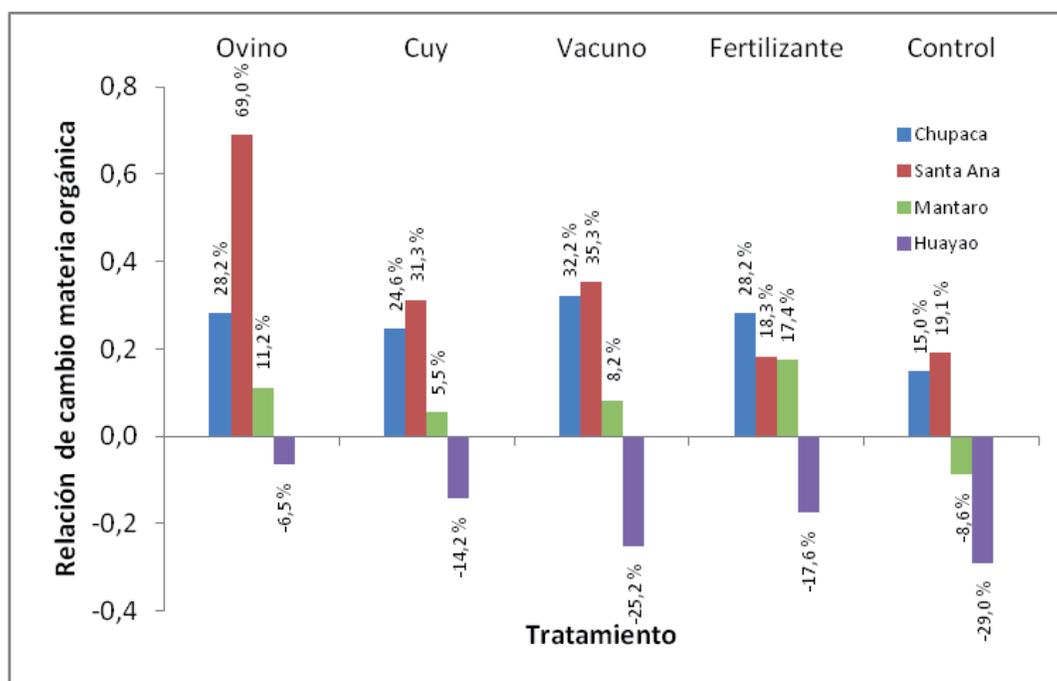


Figura 1. Variación del contenido de materia orgánica en los suelos de cuatro localidades con cultivo de papa bajo cinco tipos de abonamiento.
 Figure 1. Variation in soil organic matter content in four sites planted with potato treated with 5 types of amendment.

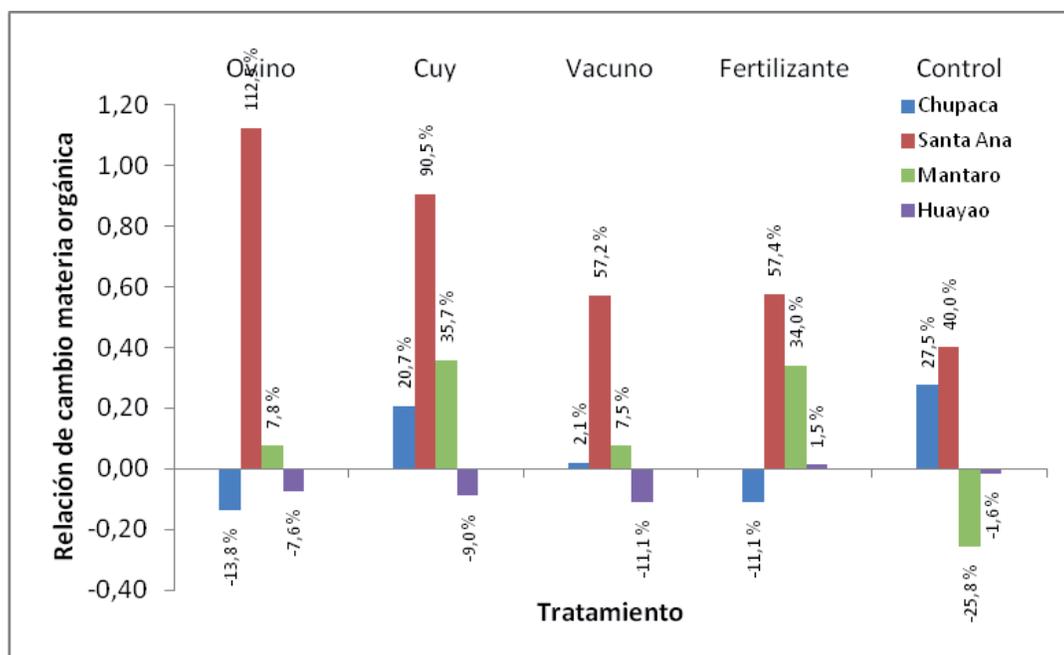


Figura 2. Variación del contenido de materia orgánica en los suelos de cuatro localidades con cultivo de maíz bajo cinco tipos de abonamiento.
 Figure 2. Variation in soil organic matter content in four sites planted with maize treated with 5 types of amendment.

Tabla 5. Contenido de ácidos húmicos, huminas, restos vegetales y ácidos fúlvicos en los suelos de cuatro localidades, antes del experimento. Las medias fueron analizadas con un test de Tukey al 5%.

Table 5. Humic acids, humins, vegetal residues and fulvic acids in the soils of four localities, before the experiment. Means were analyzed using a Tukey test at 5%.

Ac. húmicos (%)		Huminas(%)		Restos vegetales (%)		Ac. Fúlvicos(%)	
Localidad	Media	Localidad	Media	Localidad	Media	Localidad	Media
Santa Ana	0,030 A	Huayao	1,003 A	Huayao	0,023 A	Chupaca	0,098 A
Mantaro	0,025 A	Mantaro	0,961 A	Chupaca	0,022 A	Santa Ana	0,081 A B
Huayao	0,025 A	Chupaca	0,960 A	Mantaro	0,013 A B	Huayao	0,071 B
Chupaca	0,011 B	Santa Ana	0,691 B	Santa Ana	0,010 B	Mantaro	0,065 B

existen menos en Santa Ana. Existen menos restos vegetales en Santa Ana, pero no difiere con respecto a Mantaro. Con relación a la proporción de huminas, cuyos valores son casi el 50% de la materia orgánica, esto se cumple excepto para Huayao, y concuerda con lo reportado por Kononova (1966). Sobre ácidos fúlvicos, en los suelos de Chupaca existe una cantidad significativamente mayor que en las demás pero que no difiere del contenido en Santa Ana.

Durante el cultivo de maíz el contenido de ácidos fúlvicos (Tabla 6) ha sufrido un incremento en todas las localidades y tratamientos, excepto en el tratamiento sin abonamiento en El Mantaro y con estiércol de vacuno en Chupaca. En lo que respecta a los ácidos húmicos se aprecia que en Chupaca se presentan los mejores incrementos, le sigue en importancia Huayao; mientras que en Santa Ana y Mantaro se ha reducido, excepto Santa Ana con estiércol de ovino y El Mantaro con estiércol de cuy. Las huminas se han incrementado en casi todas las localidades y tratamientos, menos en el testigo de El Mantaro (-17,9%); en Santa Ana con estiércol de cuy y vacuno el incremento es respectivamente 167% y 125%. Estos resultados sugieren que la variación se debería principalmente a las propiedades edáficas, considerando que los suelos son tanto franco arcilloso arenoso y franco y de la variable disponibilidad de nutrientes (Tabla 2) y así mismo del ingreso de nutrientes de parte de los abonos utilizados (Tabla 3), que condicionan la actividad de la biota del suelo responsable de los procesos de descomposición de la MOS y su posterior mineralización (Ortega, 1982; Canellas *et al.*, 2000).

Con respecto a la relación C_{AH}/C_{AF} en todas las localidades y tratamientos resulta menor de 1, una vez más estos resultados revelan las restricciones edáficas a la actividad biológica (Ortega, 1982; Canellas *et al.*, 2000, 2003; Cunha *et al.*, 2003), lo cual sugiere que la materia orgánica

tiene poca evolución en los suelos de todas las localidades debido a procesos edáficos y al tipo de agricultura que se practica en cada lugar y como lo plantea Benites *et al.* (2001) ésta es mayor en suelos con mayor contenido de arena. El humus resultante de esta baja relación por la restringida actividad de la biota sería de baja calidad (Kononova, 1982).

En cuanto a la relación $C_H/(C_{AH}+C_{AF})$, los índices demuestran que la materia orgánica en los suelos de Santa Ana sería más estable, le sigue Chupaca, mientras que en Huayao (excepto en el tratamiento con fertilizante químico) y El Mantaro habría disminuido (excepto en el testigo).

Los índices $(C_{AH}+C_{AF}+C_H)/C_{TOTAL}$ finales implican que la humificación es normal y ha mejorado producto de la incorporación del abonamiento orgánico en casi todos los tratamientos y localidades (incluso los testigos), excepto para los tratamientos estiércol de ovino en Santa Ana, y con estiércol de cuy y fertilizante químico en El Mantaro (Canellas *et al.*, 2000; Labrador, 1996).

Mientras que durante el cultivo de papa al igual que de maíz, la proporción de ácidos fúlvicos (Tabla 7) registró un incremento considerable en todas las localidades y tratamientos, excepto en el tratamiento sin abonamiento en Santa Ana (-13%). Los mayores aumentos fueron en El Mantaro (mayores del 225% con estiércol de cuy y vacuno y 179% con estiércol de ovino). Para el incremento de esta fracción del COS se nota la importancia del abonamiento orgánico, ya que supera ostensiblemente al testigo y fertilizante químico y la influencia de las condiciones locales (Benites *et al.*, 2001).

Con relación a los ácidos húmicos, en los suelos de Chupaca el incremento fue entre 150% a 267% con el abonamiento orgánico, superando al fertilizante y testigo; más no fue así en Santa Ana, donde se aprecia un leve descenso que se traduce en una menor performance de la

Tabla 6. Contenido medio de carbono orgánico en el suelo, en las fracciones húmicas: ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH), huminas (H) y relaciones húmicas en las parcelas con cultivo de maíz de las cuatro localidades antes y después del tratamiento con los distintos estiércoles y fertilizante químico. Table 6. Mean soil organic carbon content, in the humic substances: fulvic acids (AF), humic acid (AH), humins (H) and humic relationships in the plots with maize crops of the four sites before and after of the treatment with the different amendments and chemical fertilizer.

Lugar	Muestra	Contenido de carbono orgánico (%) antes del abonamiento							Contenido de carbono orgánico (%) al final del cultivo						
		Suelo	AF	AH	H	$\frac{C_{AH}}{C_{AF}}$	$\frac{C_H}{(C_{AH}+C_{AF})}$	$\frac{(C_{AH}+C_{AF}+C_H)}{C_{TOTAL}}$	Suelo	AF	AH	H	$\frac{C_{AH}}{C_{AF}}$	$\frac{C_H}{(C_{AH}+C_{AF})}$	$\frac{(C_{AH}+C_{AF}+C_H)}{C_{TOTAL}}$
Chupaca	Ovino								1,67	0,13	0,02	1,11	0,19	7,24	75,21
	Cuy								2,34	0,17	0,03	1,44	0,16	7,37	69,91
	Vacuno	1,94	0,12	0,010	0,975	0,08	7,37	57,12	1,98	0,11	0,02	1,29	0,22	9,95	71,51
	Fert. químico								1,72	0,12	0,02	1,09	0,19	7,45	71,71
	Testigo								2,47	0,14	0,02	1,56	0,15	9,46	69,89
Santa Ana	Ovino	0,97	0,09	0,03	0,70	0,28	6,00	84,28	2,07	0,10	0,03	1,38	0,30	10,38	73,23
	Cuy	1,17	0,08	0,03	0,53	0,39	4,92	54,73	2,22	0,12	0,03	1,42	0,21	9,86	70,23
	Vacuno	1,17	0,08	0,03	0,53	0,36	5,07	54,46	1,83	0,08	0,03	1,19	0,35	11,83	70,87
	Fert. químico	1,36	0,07	0,04	0,76	0,58	7,30	63,89	2,15	0,10	0,03	1,36	0,30	10,50	69,43
	Testigo	1,36	0,09	0,03	0,70	0,31	5,87	60,40	1,91	0,09	0,02	1,22	0,22	10,05	70,11
Mantaro	Ovino	1,55	0,06	0,02	0,92	0,42	11,39	64,68	1,68	0,12	0,02	1,07	0,19	7,74	72,17
	Cuy	1,36	0,05	0,01	0,92	0,26	15,36	72,38	1,85	0,13	0,03	1,18	0,20	7,52	72,06
	Vacuno	1,55	0,05	0,03	0,92	0,54	12,59	64,18	1,67	0,11	0,02	1,12	0,22	8,80	74,85
	Fert. químico	1,36	0,06	0,02	0,99	0,38	11,58	79,74	1,83	0,13	0,02	1,15	0,12	7,68	71,05
	Testigo	1,75	0,12	0,04	0,99	0,36	6,15	66,38	1,30	0,08	0,01	0,82	0,17	9,15	69,86
Huayao	Ovino	2,14	0,08	0,02	1,03	0,19	10,31	52,63	1,98	0,12	0,04	1,27	0,33	8,18	71,87
	Cuy	2,33	0,05	0,02	1,06	0,53	15,32	48,45	2,12	0,13	0,04	1,31	0,27	8,04	69,56
	Vacuno	2,14	0,08	0,03	0,96	0,32	8,99	50,08	1,90	0,12	0,03	1,22	0,29	8,16	72,04
	Fert. químico	1,94	0,12	0,01	0,98	0,08	7,37	57,12	1,97	0,13	0,03	1,23	0,25	7,57	70,56
	Testigo	2,14	0,07	0,03	1,03	0,43	9,74	53,20	2,11	0,12	0,03	1,31	0,27	8,51	69,48

MOS sólo incrementó el tratamiento con estiércol de ovino. En El Mantaro el tratamiento con estiércol de cuy permitió un incremento de 117%, el de vacuno disminuyó en un 4%, así como el testigo (-56%). Se nota que en las tres localidades el abonamiento orgánico ha tenido diferente efecto sobre el contenido de ácidos húmicos, pero es muy bajo con respecto a otros reportes (Rivero & Paolini, 1994).

La variación de las huminas ha sido positiva en casi todos los tratamientos, destacando el rol del estiércol de vacuno, excepto en el Mantaro donde con estiércol de cuy disminuye, e incluso es superada por el testigo, que también ha descendido. Una vez más se nota el aporte de la MO incorporada.

La determinación de la relación C_{AH}/C_{AF} revela un incremento en Chupaca, que significa evolución de la MO en estos suelos en comparación a los suelos de Mantaro donde en todos los tratamientos desciende con respecto al estado inicial; igual sucedió en Santa Ana, donde únicamente el estiércol de ovino ha mantenido estable esta relación.

La relación $C_H/(C_{AH}+C_{AF})$, indica que los suelos de Santa Ana han mejorado su estabilidad estructural, en mayor proporción en los tratamientos con estiércol de vacuno y el tratamiento testigo. En tanto en Mantaro y Chupaca la estabilidad estructural ha disminuido y fue en los tratamientos con estiércol de ovino y cuy donde se dieron las disminuciones más notorias. Estos resultados necesitan ser verificados en el futuro.

En cuanto a la relación $(C_{AH}+C_{AF}+C_H)/C_{TOTAL}$, los resultados señalan que ha mejorado la humificación de la MO en todas las localidades producto del abonamiento orgánico (Canellas *et al.*, 2000; Labrador, 1996), a excepción del tratamiento con estiércol de ovino en Santa Ana.

CONCLUSIONES

La incorporación de los diferentes abonos orgánicos ha incrementado ostensiblemente la Materia Orgánica del suelo (MOS) al final de los cultivos. La evolución de las

Tabla 7. Contenido medio de carbono orgánico en el suelo, en las fracciones húmicas: ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH), huminas (H) y relaciones húmicas en las parcelas con cultivo de papa de las cuatro localidades antes y después del tratamiento con los distintos estiércoles y fertilizante químico.
Table 7. Mean soil organic carbon content, in the humic substances: fulvic acids (AF), humic acid (AH), humins (H) and humic relationships in the plots with potato crops of the four sites before and after of the treatment with the different amendments and chemical fertilizer

Lugar	Muestra	Contenido de carbono orgánico (%) antes del abonamiento							Contenido de carbono orgánico (%) al final del cultivo						
		Suelo	AF	AH	H	$\frac{C_{AH}}{C_{AF}}$	$\frac{C_H}{(C_{AH}+C_{AF})}$	$\frac{(C_{AH}+C_{AF}+C_H)}{C_{TOTAL}}$	Suelo	AF	AH	H	$\frac{C_{AH}}{C_{AF}}$	$\frac{C_H}{(C_{AH}+C_{AF})}$	$\frac{(C_{AH}+C_{AF}+C_H)}{C_{TOTAL}}$
Chupaca	Ovino								2,24	0,15	0,04	1,41	0,30	7,50	71,52
	Cuy								2,18	0,13	0,05	1,34	0,35	7,80	69,54
	Vacuno								2,31	0,15	0,03	1,44	0,20	7,93	70,27
	Fert. químico	1,74	0,08	0,01	0,95	0,16	10,58	59,34	2,24	0,12	0,03	1,48	0,28	9,41	72,88
	Testigo								2,01	0,12	0,02	1,28	0,18	8,98	70,88
Santa Ana	Ovino	0,97	0,09	0,03	0,70	0,28	6,00	84,28	1,65	0,09	0,03	1,01	0,30	7,80	69,19
	Cuy	1,17	0,08	0,03	0,53	0,39	4,92	54,73	1,53	0,11	0,03	0,97	0,27	7,13	72,46
	Vacuno	1,17	0,08	0,03	0,53	0,36	5,07	54,46	1,58	0,09	0,02	0,99	0,27	8,80	69,67
	Fert. químico	1,36	0,07	0,04	0,76	0,58	7,30	63,89	1,61	0,09	0,03	1,04	0,30	9,20	71,47
	Testigo	1,36	0,09	0,03	0,70	0,31	5,87	60,40	1,63	0,08	0,03	1,02	0,36	9,43	69,20
Mantaro	Ovino	1,55	0,06	0,03	0,92	0,42	11,39	64,68	1,73	0,16	0,03	1,06	0,18	5,66	72,13
	Cuy	1,36	0,05	0,01	0,92	0,26	15,36	72,38	1,44	0,16	0,03	0,86	0,16	4,62	72,67
	Vacuno	1,55	0,05	0,03	0,92	0,54	12,59	64,18	1,68	0,16	0,03	1,00	0,16	5,54	70,39
	Fert. químico	1,36	0,06	0,02	0,99	0,38	11,58	79,74	1,60	0,15	0,03	1,00	0,18	5,62	73,62
	Testigo	1,75	0,12	0,04	0,99	0,36	6,15	66,38	1,60	0,15	0,02	0,97	0,13	5,71	70,81

sustancias húmicas por efecto de la incorporación de los estiércoles es variada y se ve afectada por las condiciones edáficas y climáticas de cada localidad. Los índices C_{AH}/C_{AF} , $C_H/(C_{AH}+C_{AF})$, $(C_{AH}+C_{AF}+C_H)/C_{TOTAL}$ son referentes de los procesos de evolución, estabilidad estructural, y grado de humificación de la MOS, respectivamente.

AGRADECIMIENTOS

Al FINECYT-Perú (Contrato 028-FINECYT-PIBAP-2007) por el financiamiento del proyecto "Estudio de la diversidad y biomasa microbiana del suelo para mejorar la calidad de la materia orgánica de tierras agrícolas". A la Estación Experimental "Santa Ana" del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) por el uso de sus áreas experimentales. A Nicolás Román del Instituto de Biotecnología e Ingeniería Genética de la UNCP por su apoyo en los análisis de laboratorio.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera, SM. 2000. Importancia de la protección de la materia orgánica en suelos. Simposio Proyecto Ley Protección de Suelo. Boletín N° 14. Valdivia, Chile. p. 77-85.
- Benites, VM; CEGR Schaefer; ES Mendonça & L Martin-Neto. 2001. Caracterização da matéria orgânica e micromorfologia de solos sob campos de altitude no parque estadual da Serra do Brigadeiro-MG. *Rev. Bras. Ci. Solo* 25: 661-674.
- Canellas, LP; PG Berner; SG da Silva; MB Silva; GA Santos. 2000. Frações da matéria orgânica em seis solos de uma toposequência no Estado do Rio de Janeiro. *Pesq. Apropoc. Bras.* 35: 133-143.
- Canellas, LP; ACX Velloso; CR Marciano; JFGP Ramalho; VM Rumjanek; CE Rezende & GA Santos. 2003. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, preservação do palhizo e adição de vinhaça por longo tempo. *Rev. Bras. Ci. do Solo* 27: 935-944.
- Cunha, TJF; LP Ribeiro; F Palmieri; EF da Silva & M Conceição. 2003. Caracterização e natureza do húmus de Latossolos Amarelos Coesos de Tabuleiro na região do Recôncavo Baiano. *Magistra* 15: 147-154.
- D'Ándrea, AF; MLN Silva; N Curi & LRG Guilherme. 2004. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasília. Vol. 39, 179-186.

- FAO, 2001. Soil carbon sequestration for improved land management. World soil reports 96. Rome, 58 p.
- Galantini, JA. 2002. Contenido y calidad de las fracciones orgánicas del suelo bajo rotaciones con trigo en la región semiárida pampeana. INTA, Argentina. *RIA* 30: 125-146.
- Gifford, RM. 1994. The global carbon cycle: A viewpoint on the missing sink. *Aust. J. Plant Physiol.* 21; 1-15.
- Hayes, MHB & CE Clapp. 2001. Humic substances: considerations of compositions, aspects of structure, and environmental influences. *Soil Science* 166: 723-737.
- Hedges, JI & RG Keil. 1995. Sedimentary organic-matter preservation: an assessment and speculative synthesis. *Mar. Chem.* 49(2-3): 81-115.
- Jackson, ML. 1964. Análisis químico de suelos (Traducido por J. Beltrán). Ediciones Omega, SA Barcelona, España. 662 p.
- Kern, JS & MG Johnson. 1993. Conservation tillage impacts on national soil and atmospheric carbon levels. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57: 200-210.
- Kononova, M; N Belchikova. 1961. Rapid method of determining the humus composition of mineral soil. *Sov. Soil Sci.* 10: 75-87.
- Kononova, MM. 1966. Soil organic matter. Its nature, its role in soil formation and in soil fertility, 2nd ed.; Pergamon Press: Oxford.U.K.
- Kononova, MM. 1982. Materia orgánica del suelo: Su naturaleza, propiedades y métodos de investigación. Barcelona, Oikos-Tou. 365p.
- Labrador, J. 1996. La Materia Orgánica en los Agrosistemas. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Mundi-Prensa, España. 174 p.
- Moreira, FM & JO Siqueira. 2002. Microbiología e bioquímica do solo. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 625 p.
- Ortega Sastriques, F. 1982. La material orgánica de los suelos y el humus de los suelos de Cuba. Habana. Ed. Academia de Ciencias de Cuba. 136p.
- Rivero, CT & J Paolini. 1994. Caracterización de la materia orgánica de tres suelos venezolanos. *Rev. Fac. Agron. (Maracay)* 20: 167-176.
- Rocha, JC & AH Rosa. 2003. Substâncias húmicas aquáticas: interação com espécies metálicas. São Paulo, Editora Unesp, 120p.
- Reicosky, DC. 2002. Long -Term Effect of Moldboard Plowing on Tillage- Induced CO2 Loss. In: JM Kimble, R Lal & R F Follet: Agricultural Practices and Policies for Carbon Sequestration in Soil. Lewis Publishers. Papers from symposium held July 1999 at Ohio State University, Columbus, Ohio, 87-96 p.
- Restrepo, J. 1996. Abonos orgánicos. Encuentro Intercontinental de Agroecología, 5-11 noviembre, Motozintla, Chiapas, México.
- Rosell, RA. 1999. Materia orgánica, fertilidad de suelos y productividad de cultivos. Proceed. XIV Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. (Texto completo en CD Rom.) Pucón, Chile.
- Simpson, AJ; G Song; E Smith; B Lam; EH Novotny & MHB Hayes. 2007. Unraveling the Structural components of soil humin by use of solution-state nuclear magnetic resonance spectroscopy. *Environ. Sci. Technol.* 41: 876-883.
- Suquilanda, M. 1996. Agricultura Orgánica. Alternativa Tecnológica del Futuro. UPS. Fundagro. Quito-Ecuador, 654 p.
- Swift, MJ; OW Heal & JM Anderson. 1979. Decomposition in terrestrial ecosystems, Studies in Ecology 5. Blackwell Scientific Publications, London. p. 323.
- Swift, RS. 2001. Sequestration of carbon by soil. *Soil Sci.* 166: 858-871.