

# Efectos de la agricultura convencional sobre algunas formas del C en una toposecuencia de la Región Chaqueña, Argentina

Albanesi, A.; A. Anriquez y A. Polo Sánchez

## RESUMEN

Los objetivos del trabajo fueron: i) evaluar indicadores biológicos de la calidad de suelos relacionados al carbono y ii) detectar y cuantificar procesos de degradación en sitios sometidos a monocultivo de algodón con agricultura convencional. En estos sitios los cambios en el carbono orgánico del suelo dependen del tipo de suelo, de la posición topográfica, de la calidad y cantidad de la vegetación incorporada y de los tratamientos de habilitación empleados. Las formas de C asociadas a las fracciones de mayor tamaño de partículas y el C potencialmente mineralizable disminuyen con la actividad agrícola en las toposecuencias Planicie y Ladera, junto con la biomasa microbiana, el cociente metabólico y la actividad deshidrogenasa, existiendo una redistribución desde las fracciones más lábiles a fracciones más humificadas. Las áreas bajas de la toposecuencia presentan mayor estabilidad de estas formas de C, en los sitios cultivados, que se traducen en el aumento de la biomasa microbiana. Es importante el flujo de C hacia los horizontes subsuperficiales, en especial en las áreas deprimidas, porque constituyen una fuente y destino importante de nutrientes no considerados habitualmente.

**Palabras clave:** calidad biológica de suelos, carbono de la biomasa microbiana, deshidrogenasa, potenciales de mineralización de carbono, semiaridez.

Albanesi A., A. Anriquez and A. Polo Sánchez, 2003. Effects of the conventional agriculture in some C forms in a toposequence of the Chaco Region, Argentina. Agriscientia: 9 - 17

## SUMMARY

The objectives of this work were: i) to evaluate biological indicators of the soil quality related to carbon and ii) to detect and quantify processes of degradation

---

Fecha de recepción: 26/09/02; fecha de aceptación: 27/10/03

in sites subjected to cotton monoculture with conventional tillage. In these sites the changes in soil organic carbon depend on the soil type, topographic position, quality and quantity of the incorporated vegetation and the habilitation treatments used. The forms of carbon associated to fractions of greater particles and potentially mineralizable carbon are reduced by the agricultural activity in the Plaine and Slope toposequences together with the microbial biomass, metabolic quotient and deshidrogenase activity. There exists a redistribution of the fractions from the more labile to the more humid fractions. The lowlands of the toposequences present a greater stability of these C forms in the cultivated sites, observed as an increase of the microbial biomass. The C flow to the subsuperficial horizons is highly significant in the lowlands because they constitute an important source and endpoint of nutrients which are not usually taken into account.

**Key words:** soil biological quality, microbial biomass carbon, deshidrogenase, carbon mineralization, potentials, semiarid

A. Albanesi y A. Anriquez, *Cátedras de Microbiología Agrícola y Ecología, Fac. de Agronomía y Agroindustrias, U.N. de Santiago del Estero. Belgrano (S) 1912, 4200 Santiago del Estero, Argentina. <albanesi@unse.edu.ar> <albanesi@uolsinectis.com.ar>* A. Polo Sánchez, *Centro de Ciencias Medioambientales, Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Serrano 115; 28006 Madrid, España. <apolo@ccma.csic.es>*

## INTRODUCCIÓN

En el centro-este de la provincia de Santiago del Estero, República Argentina, zona semiárida perteneciente a la Región Chaqueña, en los últimos años se intensificó el desmonte de grandes áreas en la búsqueda de nuevas zonas productivas para el algodón (*Gossypium hirsutum* L.), cultivo altamente demandante en nutrientes y de escasa reposición por el rastrojo (Mitchell & Entry, 1998).

El paisaje del área, suavemente ondulado susceptible a la erosión, junto con el monocultivo de algodón, podría generar degradación de los suelos, dado que en la conversión de ecosistemas naturales a cultivos anuales, con prácticas de manejo no conservacionista, disminuyen las reservas de materia orgánica del suelo (Bremer *et al.*, 1995; Hassink, 1995; Henderson, 1995).

La cantidad y calidad de la materia orgánica se constituyen en atributos significativos de la calidad de los suelos (Doran *et al.*, 1996), sobre todo en ambientes semiáridos, por su influencia en las características físicas (agregación, sistema poroso), químicas (capacidad de intercambio catiónico, pH) y en la biota al ser fuente de carbono y energía (Anderson & Ingram, 1989).

Los datos ecológicos de la materia orgánica de los suelos del área están restringidos a la cantidad total (Conv. INTA-Gob. de la Pcia., 1979; Dirección Gral. de Minería, 1980; Dirección Gral. de Catastro, 1987), pero las prácticas agrícolas no sólo afectan la cantidad de materia orgánica del suelo sino que

controlan los retornos de ésta, siendo diferentes en cada fracción, ya que dependen de la cantidad total de carbono y de la labilidad de los materiales incorporados (Conteh *et al.*, 1998).

Entre los indicadores que detectan cambios tempranos en la calidad biológica de los suelos, por modificaciones en el manejo, son importantes: el carbono asociado a diferentes tamaños de partículas (Anderson & Ingram, 1989; Cambardella & Elliot, 1992, 1994), el carbono de la biomasa microbiana y el potencialmente mineralizable, éstos últimos comprendidos dentro de las denominadas fracciones lábiles de la materia orgánica (Dick, 1992; Franzluebbers *et al.*, 1995), así como las enzimas deshidrogenasas por su relación con la biota del suelo (García *et al.*, 1997). Todos ellos colaboran en el conocimiento de la alteración del ciclo de los nutrientes o de procesos de degradación (Ellert & Gregorich, 1995).

Los objetivos del trabajo fueron: i) evaluar indicadores biológicos de la calidad de suelos relacionados al carbono y ii) detectar y cuantificar procesos de degradación en sitios sometidos a monocultivo de algodón con agricultura convencional.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio está comprendida entre los 27-28° Lat. S y 62-63° Long. O en el Dpto. Moreno, centro-este de la provincia de Santiago del Estero, Argentina. El clima es semiárido a subhúmedo, megatermal (clasificación de Thornthwaite, Boletta

et al., 1992), con precipitaciones que oscilan entre 600 y 750 mm anuales y una temperatura media anual de 19,6°C. El ciclo de lluvias es primavero-estival y torrencial. Existe déficit hídrico durante todo el año (la evapotranspiración potencial promedio es de, aproximadamente, 1000 mm anuales).

### Material experimental

En el área se seleccionó una cuenca hidrológica entre las localidades de Girardet y Roversi, en base a la información suministrada por imágenes satelitales (1975 y 1994-95). Se eligieron tres toposecuencias de suelos, con una cronosecuencia respecto al uso de la tierra de: a) bajo vegetación natural (bosque y pastizal), b) bajo agricultura reciente ( $\approx 7$  años), y c) bajo agricultura antigua ( $\approx 20$  años) (Tabla 1). En las áreas bajas, denominadas depresión (D) y cubeta de la depresión (CD), no se encontraron sitios con 7 años de agricultura porque han sido las primeras áreas habilitadas a la actividad agrícola.

Los suelos y la vegetación se ubican a lo largo de un gradiente topográfico o catena desde la planicie (P), con suelos de textura gruesa donde se encuentra el bosque de *Aspidosperma quebracho blanco* y *Schinopsis quebracho colorado* hasta la sabana de *Elionurus muticus* (aibe) en la depresión (D y CD) con suelos de textura más fina y con mayor desarrollo. Los "parques" se ubican en las lade-

ras (L) (Adámoli & Neuman, 1972; Morello & Adámoli, 1974). Los materiales vegetales existentes en P y L son de madera dura y espinosos, ricos en lignina y taninos, características comunes de especies del Chaco Occidental (Morello y Adámoli, 1974); los materiales vegetales de D y CD tienen predominio de gramíneas que aportan, sobretudo, a las fracciones de materia orgánica del suelo de mayor labilidad (Curtin & Wen, 1999).

Las actividades para la habilitación en los sitios P y L consistieron en un desmonte total con topadoras, luego un acordonado y posterior quema de residuos; el primer año se cultivó sorgo o maíz, dependiendo de cada sitio, y luego algodón (*Gossypium hirsutum* L.) como monocultivo en todos los sitios; realizando una labor convencional de dos o tres pasadas de rastra y posterior siembra. Las áreas bajas (D y CD), con vegetación natural de gramíneas, se habilitaron directamente mediante laboreo convencional.

### Muestreo de suelos

Se realizó en noviembre de 1997, antes de los laboreos. En cada sitio se realizó una transecta, tomando muestras en 4 puntos de muestreo distantes a 50 m entre sí, de los horizontes superficiales y subsuperficiales (Tabla 1). Las muestras de suelo fueron secadas al aire y tamizadas por malla de 2 mm.

**Tabla 1:** Detalle de los sitios de muestreo en base a la posición topográfica, uso actual de la tierra/vegetación actual, horizontes muestreados, pH, textura y clasificación taxonómica (según Soil Taxonomy).

Sitio	Posición Topográfica	Uso Actual/ Vegetación Actual	Horizontes Muestreados (cm)	pH	Textura <sup>1</sup>	Clasificación taxonómica
P0		No / Bosque.	Ah = 0-14	6,0	FL	Haplustol éntico
P1	Planicie	Agricultura de 7 años.	Ap = 0-16 AC = 16-30	6,2 6,2	FL FL	Haplustol éntico
P2		Agricultura de 20 años.	Ap = 0-14 AB = 14-35	6,1 6,1	FLArc FLArc	Haplustol típico
L0		No / Bosque.	Ah = 0-30	5,8	FL	Haplustol éntico
L1	Ladera	Agricultura de 7 años.	Ap = 0-14 AB = 14-30	6,6 6,2	FL FL	Haplustol típico
L2		Agricultura de 20 años.	Ap 0-17 AB 17-35	6,0 6,1	FLArc FArcL	Haplustol típico
D0	Depresión	No / Pastizal.	A1 = 0-18 A2 = 18-43	6,3 6,3	FLArc FArcL	Argiustol típico
D2	(borde)	Agricultura de 20 años.	Ap = 0-12 AB = 12-38	6,2 6,1	FI FArcL	Argiustol típico
CD2	Cubeta de la Depresión	Agricultura de 20 años.	Ap = 0-18 AB = 18-50	6,0 6,1	FArcL FArcL	Argiustol údico

## Indicadores de calidad de suelos

En cada muestra se determinó: carbono orgánico total (COT) por Walkley & Black (Page, 1982); carbono orgánico particulado (COPa) obtenido por dispersión en hexametáfosfato de sodio al 5%, separado por tamaño de tamices entre 2000 y 53 mm y determinado como COT (Cambardella & Elliott, 1992); carbono orgánico pesado (COPe) obtenido por dispersión en hexametáfosfato de sodio al 5% y separado por tamaño de tamices por debajo de los 53 mm y determinado como COT (Cambardella & Elliott, 1992); carbono orgánico ligero (COL), obtenido por dispersión en agua y separado por tamaño de tamices entre 2000 y 250  $\mu\text{m}$  y determinado como COT (Anderson & Ingram, 1989); carbono orgánico soluble en  $\text{K}_2\text{SO}_4$  0,5M (COS) valorado por dicromatometría (Haynes, 1999); respiración edáfica (RE) por incubación controlada durante 10 días determinando el  $\text{CO}_2$  emitido (atrapado en  $\text{NaOH}$  0,1 M), por titulación con  $\text{HCl}$  0,1 M (Anderson, 1982); carbono de la biomasa microbiana (C-BM) por fumigación-extracción, utilizando una constante de extracción de 0,45 (Vance *et al.*, 1987); cociente metabólico ( $q\text{CO}_2$ ) entre la cantidad de  $\text{CO}_2$  desprendido y el C-BM del suelo (Anderson & Domsch, 1993); actividad deshidrogenasa (DH-asa) por reducción del 2,3,5 cloruro de tetrazolio a trifenil formazan, detectado por espectrofotometría (Tabatabai, 1994) y la capacidad potencial de mineralización del carbono por el método de incubación controlada (a 28°C y 40% de retención de agua de los suelos), extrayéndose muestras a los 2, 4, 6, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 y 100 días y determinando el  $\text{CO}_2$  fijado en  $\text{NaOH}$  0,1 M por titulación con  $\text{HCl}$  0,1 M (Anderson, 1982). Los valores medios acumulados de  $\text{CO}_2$  expresados como C, se ajustaron a una ecuación cinética de primer orden,  $C_t = C_0 \cdot (1 - e^{-k_c \cdot t})$  donde  $C_t$  es el C acumulado en el tiempo de incubación  $t$ ,  $C_0$  es el carbono potencialmente mineralizable,  $k_c$  es la constante de velocidad de mineralización. El producto  $k_c \cdot C_0$  es la "tasa inicial de mineralización de C".

En la medición de cada una de las variables se emplearon tres repeticiones ( $n=3$ ) por cada punto de muestreo ( $n=4$ ) de cada horizonte superficial ( $n=9$ ) y subsuperficial ( $n=7$ ) de cada sitio estudiado, a excepción del COT para los que se utilizaron dos repeticiones ( $n=2$ ) por cada punto de muestreo.

## Análisis estadístico

Para evaluar la variabilidad entre los sitios se compararon las medias de cada variable del sitio de cada posición topográfica con vegetación natural con respecto al de actividad agrícola, utilizando el

test no paramétrico de Mann-Whitney. Las probabilidades se indican en cada caso, cuando se presentan los resultados. Se utilizó el programa estadístico Systat versión 7.0.1 (Systat Inc., 1998).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Carbono orgánico total del suelo

El COT siguió el orden  $L_0 > P_0 > D_0$ , debido, probablemente, a movimientos laterales del suelo por las pendientes (García *et al.*, 1997). La actividad agrícola no modificó significativamente los contenidos de COT en los horizontes superficiales; sin embargo, se observaron mermas en todos los sitios (Tabla 2), aunque estas diferencias no fueron detectadas estadísticamente, posiblemente debido a que dichas modificaciones fueron menores que la variabilidad analítica y espacial (Entry *et al.*, 1996).

Las disminuciones de COT en los horizontes superficiales de  $P_1$  y  $L_1$ , en relación a  $P_0$  y  $L_0$ , representaron un 14 y 12,4 %, respectivamente, debido, probablemente, al proceso de combustión y de violenta mineralización en la quema de los residuos del desmonte (Caldwell *et al.*, 2002).

En las áreas bajas y con 20 años de actividad agrícola sólo se produjeron mermas del 2,4 y 1,76 % en  $D_2$  y  $CD_2$ , respectivamente, posiblemente porque los ingresos de residuos de gramíneas nativas del primer laboreo, los residuos anuales del cultivo y la rizodeposición anual (Kögel-Knabner, 2002) compensaron los egresos por el laboreo continuo y la extracción anual del cultivo de algodón (Mitchell & Entry, 1998).

En los horizontes subsuperficiales se produjeron disminuciones significativas en  $L_2$  ( $P=0,002$ ) respecto a  $L_1$  que representaron un 26 % de COT porque, probablemente, la cantidad anual de materia orgánica del suelo perdida por mineralización fue superior a los ingresos anuales de materiales vegetales (Alvarez & Lavado, 1998), provocando la merma de la cantidad y actividad de la biomasa microbiana, tal como se observa en la Tabla 3.

El COT aumentó significativamente ( $P=0,02$ ) en  $D_2$  y representó un 30 % más de COT, posiblemente por arrastre vertical de materia orgánica desde el horizonte superficial de  $L_2$ , por la incorporación en el laboreo dada la escasa profundidad del horizonte superficial, y porque el COT que no fue mineralizado-inmovilizado en el horizonte superficial por el laboreo fue sujeto a procesos de iluviación a través de las columnas del suelo y por el movimiento del agua (Boyer & Groffman, 1996).

**Tabla 2:** Contenidos de COT (g C kg<sup>-1</sup> de suelo), carbono orgánico particulado (COPa), carbono orgánico ligero (COL), carbono orgánico pesado (COPe) (g C kg<sup>-1</sup> de suelo), carbono orgánico soluble (mg C kg<sup>-1</sup> de suelo), de los horizontes superficiales y subsuperficiales de los sitios estudiados. Letras diferentes indican diferencias significativas entre iguales posiciones topográficas y profundidades. Las probabilidades se indican en el texto.

	Planicie			Ladera			Depresión		
	P0	P1	P2	L0	L1	L2	D0	D2	CD2
<b>Horizontes superficiales</b>									
<b>COT</b>	26,64a	22,91a	23,36a	29,27a	25,65a	24,40a	26,59a	25,94a	27,06a
<b>COPa</b>	14,23a	12,98a	9,17b	15,30a	14,20a	11,32b	13,77a	11,08b	12,14b
<b>COL</b>	6,38b	7,92a	3,91c	13,78a	14,10a	5,31b	8,39a	7,86a	7,87a
<b>COPe</b>	12,40b	9,90c	14,20a	14,00a	11,50b	13,10a	12,80a	14,90a	14,90a
<b>COS</b>	105,4a	71,4b	75,3b	88,7a	28,7c	40,1b	33,3a	46,7a	24,6 <sup>a</sup>
<b>Horizontes subsuperficiales</b>									
<b>COT</b>		14,4a	14,37a		17,55a	12,99b	12,33b	16,04a	13,96b
<b>COPa</b>		7,97a	9,37a		7,83a	8,72a	3,95b	6,26a	8,45a
<b>COL</b>		4,85a	1,94b		6,38a	0,27b	3,55a	0,68b	2,61b
<b>COPe</b>		6,43a	5,00b		9,72a	4,27b	8,38b	9,78a	5,51c
<b>COS</b>		56,3a	56,7a		37,4a	28,5a	40,3a	39,5a	32,3a

**Tabla 3:** RE (mg C Kg<sup>-1</sup> de suelo); C-BM (mg C kg<sup>-1</sup> de suelo); qCO<sub>2</sub> (mg C-CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> C-BM día<sup>-1</sup>); constantes C<sub>0</sub> (mg C kg<sup>-1</sup> de suelo) y k<sub>c</sub> (día<sup>-1</sup>) del modelo Ct= C<sub>0</sub>(1-e-kc\*t); DH-asa (mg TPF kg<sup>-1</sup> de suelo h<sup>-1</sup>) de los horizontes superficiales y subsuperficiales de los sitios estudiados. Letras diferentes indican diferencias significativas entre iguales posiciones topográficas y profundidades. Las probabilidades se indican en el texto.

	Planicie			Ladera			Depresión		
	P0	P1	P2	L0	L1	L2	D0	D2	CD2
<b>Horizontes superficiales</b>									
<b>RE</b>	285,2a	256,4a	246,6a	212,7b	301,7a	227,5bc	323,4a	263,1b	216,4c
<b>C-BM</b>	325,52a	31,63c	96,24b	241,11a	252,23a	103,27b	73,21b	179,19a	201,92a
<b>qCO<sub>2</sub></b>	1,90c	9,15a	4,25b	1,08a	1,98a	2,22a	32,03a	1,36b	1,24b
<b>Constante C<sub>0</sub></b>	1631,8a	866,3c	1072,9b	1829,8a	1572,5b	1281,3c	1348,5a	866,3c	1075,8b
<b>Constante k<sub>c</sub></b>	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03
<b>DH-asa</b>	3,68a	1,67c	2,52b	4,91a	4,50a	2,06b	4,55a	5,24a	4,14 <sup>a</sup>
<b>Horizontes subsuperficiales</b>									
<b>RE</b>		116,5a	76,7b		202,8a	141b	158,9a	134,8b	122,1b
<b>C-BM</b>		37,48b	114,79a		94,01a	34,17b	40,56b	57,27b	101,77a
<b>QCO<sub>2</sub></b>		21,72a	0,86b		2,66b	13,73a	10,74a	13,24a	2,10b
<b>Constante C<sub>0</sub></b>		542,4a	403,0b		843,4a	501,8b	569,2a	538,0a	336,8b
<b>Constante k<sub>c</sub></b>		0,03	0,03		0,02	0,02	0,03	0,03	0,05
<b>DH-asa</b>		2,13a	1,68a		3,59a	1,67b	2,03a	1,67a	2,47a

### Fraccionamiento del carbono

El COPa, en los sitios con vegetación natural, presentó el mismo orden que el COT (L0>P0>D0) y representó alrededor del 50 % de éste (Tabla 2); a los 20 años de actividad agrícola disminuyó en los horizontes superficiales de todos los sitios (P=0,001) por efecto del laboreo que genera ruptura de agregados y una mayor oxidación de la materia orgánica asociada a este tamaño de partículas (Hassink, 1995). Cambardella & Elliott (1992) observaron dis-

minuciones similares del COPa en un suelo Haplus-tol páchico de pastizales de ambiente semiárido, sometidos a diferentes manejos agrícolas.

Las concentraciones de COPa aumentaron en todos los horizontes subsuperficiales a los 20 años de agricultura, pero sólo se evidenciaron aumentos significativos (P=0,002 en ambos casos) en las áreas bajas (D2 y CD2) porque, probablemente, tuvieron mejor estructura de macroagregados del suelo y una mayor habilidad para secuestrar materia orgánica

(Cambardella & Elliot, 1994). Esto es relevante ya que se considera al COPa la fracción activa del COT, con una vida media de 10-20 años, contribuye a la agregación del suelo y es sustrato de la biomasa microbiana (Cambardella & Elliot, 1994); asimismo alerta acerca de los numerosos trabajos que sólo consideran los cambios en los primeros centímetros de suelo cuando las plantas exploran a mayor profundidad, sobre todo en ambientes semiáridos.

El mayor contenido de COL se registró en el horizonte superficial de L0 y representó, aproximadamente, el 47% del COT y el 90 % del COPa (Tabla 2), evidenciando que en ese sitio existieron fracciones de mayor labilidad y disponibilidad para la biota, pero de rápida mineralización (Franzluebbers *et al.*, 1996), en comparación a P0 y D0 (44 % y 60% del COPa, respectivamente).

El COL, que representa la fracción más activa del COT y consiste en la biomasa microbiana y la materia orgánica parcialmente humificada con una tasa de retorno de uno a 5 años (Anderson & Ingram, 1989), aumentó en el horizonte superficial de P1 debido, posiblemente, a un menor consumo de éste por la merma producida en la cantidad de biomasa microbiana y el aumento del  $qCO_2$  (Tabla 3) (Boyer & Groffman, 1996; Franzluebbers *et al.*, 1996; Lavahun *et al.*, 1996).

A los 20 años de agricultura, el COL no varió en D2 y CD2, y disminuyó significativamente en los horizontes superficiales de P2 y L2 ( $P=0,001$  en ambos sitios) porque los procesos físicos y la actividad microbiana colaboraron en la conversión de COL a compuestos más resistentes por reacciones de polimerización (Boyer & Groffman, 1996).

Es evidente el aumento de los contenidos de CO-Pe en P2 y L2 en relación a los sitios con siete años de agricultura, demostrando que existe redistribución de materia orgánica en los horizontes superficiales desde fracciones más lábiles a fracciones más humificadas, que tienen una baja disponibilidad de nutrientes, en coincidencia con Cambardella & Elliot (1992).

El COS, denominado por otros autores C lábil (Etema *et al.*, 1999; Haynes, 1999), disminuyó significativamente en los horizontes superficiales en P1 y L1 ( $P=0,02$  y  $0,03$  respectivamente) y sólo en L1 se mantuvo la biomasa microbiana, evidenciando que no todo el C soluble es biodisponible (Boyer & Groffman, 1996). En los horizontes superficiales de D y CD, y en todos los horizontes subsuperficiales, no hubo variaciones, evidenciando que constituiría una fuente importante para la biota del suelo en estos sitios, en coincidencia con De Luca & Keeney (1994).

### Respiración edáfica

Se observaron mermas significativas en los horizontes superficiales de D2 y CD2 ( $P=0,00$ ) (Tabla 3) debido, probablemente, a la inmovilización de nutrientes en la biota del suelo; las magnitudes no coinciden con Joergensen *et al.* (1990), que indican que la mineralización del carbono en los suelos nativos es dos o tres veces mayor que en suelos cultivados.

La RE disminuyó con la profundidad en todos los sitios agrícolas, por la disminución de material vegetal de fácil descomposición que afecta el contenido de COT, el de la biomasa microbiana y la tasa de producción de  $CO_2$  (Lavahun *et al.*, 1996).

### Carbono de la biomasa microbiana

El C-BM en los horizontes superficiales siguió el orden  $P0>L0>D0$  (Tabla 3) y representó el 1,2; 0,8 y 0,3 % del COT, respectivamente. Éste disminuyó en P1 y P2 ( $P=0,00$ ), L2 tuvo un 50% menos que L1 ( $P=0,038$ ), mientras que en las áreas deprimidas (D2 y CD2) aumentó significativamente ( $P=0,001$  en ambos casos), en coincidencia con Gallardo & Schlesinger (1995) que encontraron mayor C-BM en las áreas deprimidas bajo cultivo, evidenciando que esta fracción no está influenciada por la textura del suelo (Tabla 1) porque no está protegida en el suelo (Hassink, 1994; Franzluebbers *et al.*, 1996).

En los horizontes subsuperficiales, el C-BM disminuyó significativamente en L2 ( $P=0,00$ ) y aumentó significativamente en P2, D2 y CD2 ( $P=0,001$ ,  $0,005$  y  $0,003$ , respectivamente); con valores que igualaron a los horizontes superficiales como en CD2 o lo superaron en un 100% como en P2, tal como sucede con el nitrógeno de la biomasa microbiana evaluado en los mismos sitios (Albanesi *et al.*, 2001).

### Cociente metabólico

El  $qCO_2$  en los horizontes superficiales siguió el orden  $D0>P0>L0$  (Tabla 3) y el cambio de uso produjo disminuciones significativas en D2 y CD2 porque las condiciones ambientales de estos sitios bajos, con mayor capacidad de almacenaje y con menores fluctuaciones en el movimiento de agua, generan un ambiente favorable para la biomasa microbiana (Franzluebbers *et al.*, 1996).

En los horizontes subsuperficiales se produjeron aumentos relevantes en L2 y disminuciones en P2 y CD2, mientras en D2 no hubo variaciones.

Los aumentos en el  $qCO_2$  se atribuyeron a la disminución en la biomasa microbiana, que pone en evidencia una demanda energética mayor y una eficiencia metabólica reducida para mantener la integridad de las células bajo condiciones de estrés (La-

vahun *et al.*, 1996).

### Capacidad potencial de mineralización de C

La constante  $C_0$  de los horizontes superficiales siguió el orden  $L0 > P0 > D0$ , mientras que la constante  $k_c$  siguió el orden  $D0 > P0 \approx L0$  (Tabla 3).

La constante  $C_0$  fue mayor en L0 y ello se debió a la existencia de más COT y dentro de éste, a una gran cantidad de formas solubles, ya que se libera más materia orgánica cuanto menos cantidad de formas recalitrantes protegidas (Hassink, 1995), lo que se constata por la mayor cantidad de COL en este sitio.

En P0 y L0 se observó una velocidad lenta de mineralización debido, probablemente, a que el ciclo biogeoquímico del C, en ambientes forestales, permanece cerrado y sus procesos en equilibrio (García *et al.*, 1997).

La constante  $C_0$  disminuyó significativamente en todos los sitios agrícolas y la constante  $k_c$  no varió en los horizontes superficiales. Los subsuperficiales presentaron constantes menores a los horizontes superficiales de los sitios correspondientes, a excepción del  $k_c$  en CD2, que aumentó notablemente ( $P=0,05$ ) debido, probablemente, a una mayor demanda energética de la biota del suelo (Ross *et al.*, 1999), la que se observa por la reducción del cociente metabólico (Tabla 3) y el aumento de la eficiencia energética, evaluada por el cociente entre el C-BM y el COT.

### Actividad deshidrogenasa

En los horizontes superficiales siguió el orden  $L0 \geq D0 > P0$  (Tabla 3) y se produjeron mermas significativas en P1 ( $P=0,00$ ) asociadas, posiblemente, a la pérdida de las fracciones lábiles del C (García *et al.*, 1997) por inmediata asimilación de la biota del suelo (Lavahun *et al.*, 1996).

En el horizonte superficial y subsuperficial de L2 disminuyó ( $P=0,00$  y  $0,002$ , respectivamente) debido, probablemente, a deposiciones de materia orgánica desde zonas más altas y pérdidas importantes por escurrimiento hacia las áreas más deprimidas, aunque otros autores aseveran que estas enzimas no presentan una gran dependencia espacial a través de una pendiente (Bergstrom *et al.*, 1998).

En P2 aumentó significativamente ( $P=0,00$ ) en relación con el aumento de la biomasa microbiana, evidenciando que existe una importante actividad metabólica total de la comunidad microbiana viable, dado que estas enzimas son intracelulares (Tabatabai, 1994).

En D2 y CD2 la actividad agrícola no produjo modificaciones en la DH-asa. Estos sitios contienen una cantidad mayor de arcillas y mejores condiciones de humedad y nutrientes que juegan un rol estimulante sobre la biomasa microbiana y, por ende, sobre la producción de enzimas (Lavahun *et al.*, 1996).

Los sitios con vegetación natural, a excepción del sitio más deprimido de la toposecuencia (CD2), fueron los que tuvieron mayor DH-asa. Jha *et al.* (1992) encontraron mayor DH-asa en suelos forestales no disturbados de la India que en áreas disturbadas y lo atribuyeron a un aumento del número de hongos en detrimento de la población bacteriana. Esto indica, además, que la DH-asa no fue influenciada por el tipo de suelo en los sitios con vegetación natural, que es independiente del tipo de vegetación y que está influenciada por el cambio de uso de la tierra.

Los resultados evidenciaron más biomasa comprometida en la producción de DH-asa en los horizontes subsuperficiales que en los superficiales, poniendo de manifiesto la importancia de los estudios bioquímicos en los horizontes subsuperficiales porque constituyen una fuente y destino importante de nutrientes no considerados habitualmente.

## CONCLUSIONES

Los indicadores de calidad de suelos permitieron detectar los cambios producidos en algunas formas del C por la habilitación de tierras y el laboreo convencional del algodón. Estos cambios dependieron del tipo de suelo, de la calidad y cantidad de residuos incorporados en la habilitación y de la posición topográfica, y se observaron, con énfasis, en las formas del C asociadas al mayor tamaño de partículas y a la biota del suelo.

El sitio más estable con el laboreo convencional fue la Depresión, debido a sus condiciones ambientales particulares (mayor capacidad de almacenaje y menores fluctuaciones en el movimiento de agua).

En la Planicie y Ladera las formas de C asociadas a las fracciones de mayor tamaño de partículas y el C potencialmente mineralizable disminuyeron con la actividad agrícola en las toposecuencias Planicie y Ladera, junto con la biomasa microbiana, el cociente metabólico y la actividad deshidrogenasa, existiendo una redistribución desde las fracciones más lábiles a fracciones más humificadas, que podrían restringir la disponibilidad de nutrientes.

Es importante el flujo de C hacia los horizontes subsuperficiales, en especial en las áreas deprimidas, porque constituyen una fuente y destino importante de nutrientes no considerados habitualmente.

## BIBLIOGRAFÍA

- Adámoli, J.; R. Neuman, 1972. El Chaco aluvial salteño. INTA, Bs. As. R.I.A., serie 3, (9) N° 5.
- Albanesi, A.; A. Anriquez y A. Polo Sánchez, 2001. Efectos de la agricultura convencional en algunas formas del N en una toposecuencia de la Región Chaqueña, Argentina. *Agriscientia* Vol. XVIII: 3-11.
- Alvarez, R. and R.S. Lavado, 1998. Climate, organic matter and clay content relationships in The Pampa and Chaco soils, Argentina. *Geoderma*. 83: 127-141.
- Anderson, J.E., 1982. Soil Respiration. En: Page, A.L. (ed). *Methods of soil analysis.*, Part 2, 2nd edn. Agron. Monogr. 9, Am. Soc. Agron. Madison, Wisconsin. Pp 837-871.
- Anderson, T.H. and K.H. Domsch, 1993. The metabolic quotient for CO<sub>2</sub> (qCO<sub>2</sub>) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. *Soil Biol. Biochem.* 25: 393-395.
- Anderson, J.E. and J. Ingram, 1989. The tropical soil biology and fertility programme, TSBF, C.A.B. Intern. (ed), Wallingford, UK. 171 pp.
- Bergstrom, D.W.; C.M. Monreal; J.A. Millette and D.J. King, 1998. Spatial dependence of soil enzyme activities along a slope. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62: 1302-1308.
- Boletta, P.E.; L.R. Acuña y M.L. Juárez de Moya, 1992. Análisis de las características climáticas de la provincia Santiago del Estero y comportamiento del tiempo durante la sequía de la campaña agrícola 1988/89. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria y Universidad Nacional de Santiago del Estero, Santiago del Estero, Argentina.
- Boyer, J. N. And P. M. Groffman, 1996. Bioavailability of water extractable organic carbon fractions in forest and agricultural soil profiles. *Soil Biol. Biochem.* Vol. 28, N°6, pp. 783-790.
- Bremer, E.; B.H. Ellert and H.H. Janzen, 1995. Total and light - fraction carbon dynamics during four decades after cropping changes. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59: 1398-1403.
- Caldwell, T.; D. Johnson; W. Miller and R. Qualls, 2002. Forest floor carbon and nitrogen losses due to prescription fire. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66: 262-267.
- Camardella, C.A. and E.T. Elliott, 1992. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 777-783.
- Camardella, C.A. and E.T. Elliott, 1994. Carbon and nitrogen dynamics of soil organic matter fractions from cultivated grassland soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58:123-130.
- Conteh, A.; G.J. Blair and I.J. Rochester, 1998. Soil organic carbon fractions in a Vertisol under irrigated cotton production as affected by burning and incorporated cotton stubble. *Aust. J. Soil Res.* 36(4): 655-667.
- Convenio INTA-Gobierno de la Pcia. de Sgo. del Estero, 1979. Carta de suelos de la subregión Chaco de llanuras suavemente onduladas (parte de los Departamentos de Ibarra y Moreno, Pcia. de Santiago del Estero), escala 1:250000. Dirección Gral. de Minería - Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 25 pp.
- Curtin D. and G. Wen, 1999. Organic matter fractions contributing to soil nitrogen mineralization potential. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63: 410-415.
- De Luca T.H. and D.R. Keeney, 1994. Soluble carbon and nitrogen pools of prairie and cultivated soils: seasonal variation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 835-840.
- Dick, R.P., 1992. A review: long-term effects of agricultural systems on soil biochemical and microbial parameters. *Agricult. Ecosys. Environ.* 40: 25-36.
- Dirección General de Catastro. 1987. Determinación del Mapa de Zonas Geo-Agro-ecológicas Homogéneas de la Pcia. de Santiago del Estero. III Parte: Suelos de la Pcia. de Santiago del Estero. Características y Localización Geográfica de los Distintos Tipos. 1-86.
- Dirección General de Minería 1980. Plan mapa geológico y de suelos de la provincia de Santiago del Estero. Informe final de los estudios edafológicos efectuados en el área comprendida entre las localidades de La Paloma-Taboada-Selva. Año 1978/1980. 160 pp.
- Doran J.W.; M. Sarrantonio; M.A. Liebig, 1996. Soil health and sustainability. En: *Advances in agronomy*. Sparks D.L. (ed). Academic Press, Inc. San diego, CA. 56:1-54.
- Ellert B.H. and E.G. Gregorich, 1995. Management-induced changes in the actively cycling fractions of soil organic matter. Mc Fee W.W., Kelly M. (eds). En: *Carbon forms and functions in forest soils*. SSSA, Inc, Madison, Wisconsin, USA. 7: 119-138.
- Entry, J.A.; C.C. Mitchell and C.B. Backman, 1996. Influence of management practices on soil organic matter, microbial biomass and cotton yield in Alabama's old rotation. *Biol. Fertil. Soils*. 23: 353-358.
- Ettema, Ch. H.; R. Lowrance and D.C. Coleman, 1999. Riparian soil response to surface nitrogen input: temporal changes in denitrification, labile and microbial C and N pools, and bacterial and fungal respiration. *Soil Biol. Biochem.* 31: 1609-1624.
- Franzluebbers, A.J.; D.A. Zuberer and F.M. Hons, 1995. Comparison of microbiological methods for evaluating quality and fertility of soil. 19: 135-140.
- Franzluebbers, A.J.; R.L. Haney; F.M. Hons and D.A. Zuberer, 1996. Active fractions of organic matter in soils with different texture. *Soil Biol. Biochem.* 28 (10/11):1367-1372.
- Gallardo, A. and W.H. Schlesinger, 1995. Factors determining soil microbial biomass and nutrient immobilization in desert soils. *Biogeochemistry*. 28: 55-68.
- García C.; A. Roldán and T. Hernandez, 1997. Changes in microbial activity after abandonment of cultivation in a semiarid Mediterranean environment. *J. Environ. Qual.* 26: 285-299.
- Hassink, J., 1995. Decomposition rate constants of size and density fractions of soil organic matter. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59: 1631-1635.
- Hassink, J., 1994. Active organic matter fractions and microbial biomass as predictors of N mineralization. *Eur. J. Agron.* 3 (4) : 257-265.
- Haynes, R.J., 1999. Labile organic matter fractions and aggregate stability under short-term grass-based leys. *Soil Biol. Biochem.* 31: 1821-1830.
- Henderson, G.S. 1995. Soil organic matter: A link between forest management and productivity. En : *Carbon forms and functions in forest soils*. McFee W.W., Kelly J.M. (eds). Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA. 594 p.
- Jha, D.K.; G.D. Sharma and R.R. Mishra, 1992. Soil microbial population numbers and enzyme activities in relation to altitude and forest degradation. *Soil Biol. Bio-*

- chem. 24(8): 761-767.
- Joergensen, R.G.; P.C. Brookes and D.S. Jenkinson, 1990. Survival of the soil microbial biomass at elevated temperatures. *Soil Biol. Biochem.* 22: 1129-1136.
- Kögel-Knabner, I., 2002. The macromolecular organic composition of plant and microbial residues as inputs to soil organic matter. *Soil Biol. Biochem.* 34: 139-162.
- Lavahun, M.F.E.; R.G. Joergensen and B. Meyer, 1996. Activity and biomass of soil microorganisms at different depths. *Biol. Fertil. Soils.* 23: 38-42.
- Mitchell C.C. and J.A. Entry, 1998. Soil C, N and crop yields in Alabama's long-term "Old Rotation" Cotton experiment. *Soil & Tillage Research.* 47: 331-338.
- Morello J. y J. Adamoli, 1974. Las grandes unidades de vegetación y ambiente de la Pcia. del Chaco. INTA Serie Fitogeográfica No 13.
- Page, A.L., (ed.) 1982. *Methods of soil analysis. Part 2: Chemical and microbiological properties.* Agronomy 9, ASA, SSSA, Madison, Wisconsin, USA. 1159 p.
- Ross, D.J.; K.R. Tate; N.A. Scott and C.W. Feltham, 1999. Land-use change: effects on soil carbon, nitrogen and phosphorus pools and fluxes in three adjacent ecosystems. *Soil Biol. Biochem.* 31: 803-813.
- Systat Inc., 1998. *Systat for Windows 6.0 (computer program).* Evanston, Illinois, U.S.A.
- Tabatabai, M.A., 1994. Soil Enzymes. En: *Methods of soil analysis. Part 2: Microbiological and biochemical properties.* Weaver, R.W.; J.S. Angle y P.S. Bottomley (eds). SSSA Book Series 5, Madison, Wisconsin, USA. 37: 775-834.
- Vance, E.D.; P.C. Brookes and D.S. Jenkinson, 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biol. Biochem.* 19: 703-707.