

# CAMBIOS EN LAS PROPIEDADES DE UN SUELO FRANCO BAJO PRODUCCIÓN ORGÁNICA DE MANZANO UTILIZANDO COBERTURAS VEGETALES

MARÍA CRISTINA ARUANI<sup>1\*</sup>; ENRIQUE SÁNCHEZ<sup>2</sup> & PABLO REEB<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional del Comahue, Facultad de Ciencias Agrarias, CC 85 Cinco Saltos, (8303) Río Negro, Argentina.

E-mail: mcaruani@ciudad.com.ar \*Autor para correspondencia.

<sup>2</sup>Estación Experimental Agropecuaria Alto Valle, CC 782, General Roca, (8332) Río Negro, Argentina.

Recibido: 15/05/06

Aceptado: 11/10/06

## RESUMEN

El manejo de los suelos en el Alto Valle de Río Negro se basa en la labranza continua la cual en el largo plazo puede afectar negativamente las propiedades del suelo. Por este motivo se planteó un ensayo cuyo objetivo fue estudiar el efecto que producen distintos manejos de suelos aplicados en un huerto orgánico de manzano (*Malus domestica* Bork.) cv. Royal Gala sobre la disponibilidad de los nutrientes y la distribución de carbono orgánico (CO) y nitrógeno total (Nt) en los agregados de un suelo de textura franca. En marzo de 1999, en el espacio interfililar, o entre-hileras, se aplicaron los siguientes tratamientos coberturas: 1) cobertura permanente de festuca (*Festuca arundinacea*) y alfalfa (*Medicago sativa*) (A+F); 2) cobertura permanente de trébol frutilla (*Trifolium fragiferum*) (Tr); 3) siembra anual de vicia (*Vicia sativa*) (V); y 4) Testigo, vegetación espontánea y con pasada doble de rastra de disco al final del invierno (labranza convencional que realiza el productor) (T). En noviembre 2002, se extrajeron muestras de suelos en las profundidades 0-7,5; 7,5-15 y 15-30 cm. Se determinó materia orgánica (MO), nitrógeno total (Nt), fósforo disponible (P) y bases de intercambio ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Mg}^{+2}$ ). En la profundidad de 0-7,5 cm se obtuvieron dos fracciones: macroagregados (100-2.000  $\mu$ ) y microagregados (0-100  $\mu$ ), y se determinó en cada una de ellas el contenido de MO, CO y Nt. Los tratamientos con coberturas perennes (A+F y Tr) incrementaron la disponibilidad de Nt y MO hasta los 15 cm, mientras que  $\text{K}^+$  fue más alto en la capa superficial (7,5 cm) del suelo respecto a los tratamientos V y T. La concentración de  $\text{Mg}^{+2}$  duplicó en los primeros 15 cm en el tratamiento A+F respecto a T. Las concentraciones de  $\text{Ca}^{+2}$  en A+F y Tr fueron mayores que las halladas en T para las tres profundidades analizadas y en los primeros 15 cm, respectivamente. En el tratamiento T los macroagregados disminuyeron y los microagregados se incrementaron en comparación a los tratamientos con coberturas perennes (A+F y Tr).

**Palabras clave.** Distribución de agregados, disponibilidad de nutrientes, Entisoles.

## CHANGES IN SOIL PROPERTIES IN A LOAMY SOIL UNDER ORGANIC PRODUCTION OF APPLES USING COVER CROPS

### ABSTRACT

Orchard floor management in the Rio Negro valley is based on continuous tillage which in the long term may negatively affect soil properties. Therefore, the aim of this research was to evaluate the effect of different soil management treatments in an organic apple orchard (*Malus domestica* Bork.) cv. Royal Gala on nutrient availability, soil aggregates stability and organic carbon (CO) and total nitrogen (Nt) concentration in soil aggregates in a loamy soil. In March 1999, cover treatments applied to the inter-row spaces were: 1) permanent cover of fescue (*Festuca arundinacea*) plus alfalfa (*Medicago sativa*) (A+F); 2) permanent cover of strawberry clover (*Trifolium fragiferum*) (Tr); 3) seeding of common vetch (*Vicia sativa*) (V); and 4) control, natural soil vegetation and disking twice in late winter (T). In November 2002, soil samples were taken at three soil depths, 0-7.5; 7.5-15, and 15-30 cm to determine soil organic matter (OM), total nitrogen (Nt), available phosphorus (P) and exchangeable bases ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{K}^+$  and  $\text{Mg}^{+2}$ ). In the top 0-7.5 cm macro aggregate (100-2,000  $\mu$ m) micro aggregate (0-100  $\mu$ m) fractions and the content of OM, OC and Nt were determined. Organic matter and Nt concentration in the perennial cover crops treatments (A+F and Tr) increased, and  $\text{K}^+$  were higher only in the 0-7.5 cm soil depths respect the V and T treatments. Magnesium concentration increased two-fold in the top 15 cm of soil in A+F compared to T. Calcium concentrations in A+F and Tr were higher than T at all soil depths and for the top 15 cm, respectively. In the T treatment macro-aggregates diminished and micro-aggregates increased due to soil cultivation compared to the perennial cover crops

**Key words.** Distribution of aggregates, nutrient availability, Entisols.

## INTRODUCCIÓN

La producción frutícola requiere del uso intensivo del recurso suelo y su manejo debe contemplar el empleo de prácticas sustentables. En el Alto Valle de Río Negro los montes frutales en producción sufren las inclemencias de las heladas tardías, razón por la cual los productores tratan de mantener el suelo libre de malezas y húmedo con el fin de captar energía como medio de lucha pasiva. Por esta razón los suelos son anualmente roturados antes de la brotación mediante una doble pasada de la rastra de discos. Es sabido que el exceso de labranza conduce a la degradación del suelo, generando compactación, falta de oxígeno, desagregación de las partículas (Cambardella & Elliott, 1993) y disminución en la oferta nutricional. Estos factores afectan la capacidad productiva de los suelos por incidir directamente en el desarrollo radical e indirectamente en la productividad de los frutales (Merwin & Warren, 1994; Klik *et al.*, 1998; Aruani & Behmer, 2004). En un huerto frutal, entre tratamientos sanitarios y cosecha, el tractor circula anualmente por el mismo lugar (espacio interfilar) aproximadamente 15 veces (Di Prinzio *et al.*, 1998). Esta alta intensidad de tráfico modifica las propiedades físicas del suelo, al provocar una notable compactación, transformando los macroporos en microporos (Wolkowski, 1990), compromete la estabilidad estructural y el porcentaje de agregados estables (De Orellana & Pillati, 1994).

La materia orgánica está compuesta por fracciones de diferente labilidad. Las fracciones más lábiles son más sensibles a los cambios producidos por las prácticas de manejo de suelo y de cultivo. Los microagregados (fracción fina < 100  $\mu$ ) son más estables frente a la labranza debido a que el carbono orgánico es menos lábil, altamente transformado y humificado (Six *et al.*, 1999; Haynes *et al.*, 1991). En contraste, con la estabilidad de los macroagregados (fracción gruesa, 100-2.000  $\mu$ ) que está generalmente controlada por las prácticas de manejo y otros factores disturbantes (Elliott, 1986; Cambardella & Elliott, 1993) y el carbono de esta fracción se descompone con mayor facilidad.

Las coberturas verdes en los montes frutales ejercen un efecto sustancial en varios componentes del agroecosistema. Son empleadas como alternativa al uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos, ayudan a mejorar la agregación del suelo, y controlan el desarrollo de las malezas (Hanna *et al.*, 1995); además deben ser capaces de resistir el paso de la maquinaria e incorporar una biomasa sustancial al suelo sin afectar la productividad del frutal. El equilibrio dinámico de la acción microbiana genera cambios en la composición de la MO y una forma de medirlo es a través de las relaciones C/N y C/P (Dick, 1983).

La selección de especies anuales o perennes debe evaluarse teniendo en cuenta un escenario amplio, que considere aspectos de la plantación frutal y del suelo. Los cultivos anuales o perennes mejoran las propiedades físicas y químicas del suelo, ya sea por cortes periódicos de la parte aérea o por incorporación mediante el arado (Sainju & Singh, 1997).

La producción frutícola utiliza cantidades significativas de fertilizantes químicos, especialmente nitrógeno y micronutrientes (Aruani & Sánchez, 2002). Por lo tanto, se planteó como hipótesis que mediante el manejo apropiado del suelo y de las coberturas verdes en el espacio interfilar se puede incrementar la fertilidad física y química contribuyendo a la sustentabilidad del sistema productivo.

El objetivo del trabajo fue estudiar el efecto que producen distintas coberturas de suelo en un huerto orgánico de manzano sobre la disponibilidad de los nutrientes y la distribución de carbono orgánico y nitrógeno total en los agregados del suelo y su estabilidad.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Sitio experimental

El sitio fue una isla ubicada en el Valle Medio del Río Negro, Argentina, entre las coordenadas 39°6' lat. Sur y 66°20' long. Oeste. El clima de la zona se define como templado, continental y árido. El material originario de estos suelos es de origen aluvial. El régimen de humedad corresponde al árido y el de temperatura es térmico, lo que refleja las condiciones de déficit hídrico durante todo el año (CIL, 1991). Los suelos pertenecen al orden Entisol, clasificados como Torriorthentes típicos, textura franco gruesa, mixta, térmica según Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1996), cuya composición granulométrica es de 47% de arena, 37% de limo y 16% de arcilla.

En la primavera de 1992 la isla fue implantada con manzanos (*Malus domestica* Bork) cv. Royal Gala/EM 26. El marco de plantación fue de 4 m entre filas, 2 m entre plantas y el largo de la misma es de 100 m. El sistema de riego empleado fue de microaspersión con reposición del volumen de agua evapotranspirada. En el segundo año de plantación se sembró avena (*Avena sativa*) en el espacio interfilar para dar paso a una pastura de trébol blanco (*Trifolium repens*) en los siguientes tres años. La pastura fue segada periódicamente dejando en superficie el material de corte para su descomposición natural. Con la entrada en producción en el año 1997 se continuó con un manejo de suelo sobre la base de pasturas naturales y una labranza anual con rastra de discos antes de la brotación del cultivo.

En marzo de 1999, previo al inicio del ensayo, se realizó un estudio detallado del suelo donde se determinó en el horizonte superficial las propiedades físicas y químicas del monte con el fin de comprobar la homogeneidad del terreno. El diseño experimental fue completamente aleatorizado (DCA) con tres repeticiones y arreglo factorial completo de cuatro por tres (4 x 3), con los

factores tratamientos coberturas y profundidad). Se consideró como parcela experimental una fila (4 m x 100 m). Los tratamientos de coberturas fueron: 1) cobertura permanente de alfalfa (*Medicago sativa*) y festuca (*Festuca arundinacea*) (A+F); 2) cobertura permanente de trébol frutilla (*Trifolium fragiferum*) (Tr); 3) siembra anual de vicia (*Vicia sativa*) en marzo (V); y 4) testigo (T), con vegetación espontánea herbácea y con pasada doble de rastra de discos en agosto (labranza convencional que realiza el productor). Las semillas de alfalfa, vicia y trébol frutilla se inocularon con cepas específicas en el primer año de implantación. En los años sucesivos la siembra de vicia se realizó con semilla sin inocular. La cantidad de semilla por hectárea fue de 13, 17, 19 y 50 kg, para alfalfa, festuca, trébol frutilla y vicia, respectivamente. El ancho de labor en la preparación del suelo y la siembra de las pasturas fue de 3,2 m, dejando 0,4 m a cada lado de la fila con vegetación espontánea.

Durante el ciclo de crecimiento del frutal (1999-2002) se realizaron entre 3 y 4 cortes anuales a 12 cm del suelo, cuando las pasturas implantadas y las naturales alcanzaron una altura entre 50 y 60 cm. El material segado se dejó descomponer en la superficie del suelo.

En noviembre la vicia se "acuesta" naturalmente mientras semilla, y se desarrolla la vegetación espontánea que se comporta como permanente hasta la siembra de vicia en el mes de marzo. En el momento de la siembra se realizó primeramente un corte bajo de la vegetación natural para facilitar la preparación del suelo, luego se pasó el cancel y a continuación la rastra de discos para permitir una buena cama de siembra. Este manejo se realizó durante el período del ensayo.

En noviembre del 2002 se extrajeron muestras de suelo compuestas por tres submuestras de cada fila en las profundidades 0-7,5; 7,5-15 y 15-30 cm, con tres repeticiones por profundidad y por tratamiento cobertura. El suelo se secó al aire y posteriormente se tamizó a un diámetro de partícula de 2 mm. En cada muestra se determinó materia orgánica (MO) (Walkey & Black), nitrógeno total (Nt) (Bremner, 1960), cationes de intercambio  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{K}^{+}$  y  $\text{Mg}^{+2}$  (Richter, 1982) y fósforo disponible (P) (Olsen). En las tres profundidades y en el mismo momento se midió densidad aparente, utilizando el método del cilindro y se efectuaron tres repeticiones por profundidad y por tratamientos. En las muestras tomadas a 0-7,5 cm de profundidad de cada tratamiento cobertura se separaron dos fracciones por tamizado en húmedo: microagregados (< 100  $\mu$ ) y macroagregados (100-2.000  $\mu$ ) (Galantini & Rosell, 1997) y se determinó en cada una de ellas: el porcentaje de macro y micro agregados, el contenido de CO y Nt mediante los procedimientos anteriormente citados.

**Análisis estadísticos.** Para las variables MO, Nt  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{K}^{+}$ , P, C/N y C/P se ajustó un modelo lineal utilizando el procedimiento Mixed de SAS. 8.2. Este contempla el ajuste de medias repetidas para el factor profundidad. En todas las situaciones una covarianza de tipo desestructurada fue la que mejor ajustó al modelo (Littell *et al.*, 1996). Se realizó un análisis de varianza para las fracciones granulométricas utilizando el procedimiento GLM. Las comparaciones de medias, se realizaron utilizando el test de Tukey con un nivel de significación  $p < 0,05$ .

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo al análisis estadístico se obtuvo interacción significativa entre los factores principales (tratamiento

cobertura y profundidad) para las variables analizadas.

En la Tabla 1 se detallan los contenidos medios de MO y Nt. En los primeros 15 cm se observó un incremento del 65%, en los tenores de MO en los tratamientos A+F y Tr y el Nt incrementó dos veces su valor respecto a T. A lo largo del ciclo de vida de las pasturas perennes, una cantidad importante de la masa de hojas, tallos y fundamentalmente raíces aportadas por la festuca, se incorpora como MO al suelo. Por su origen, este material que es rico en N orgánico, se degrada paulatinamente en el suelo a formas solubles y susceptibles de ser asimiladas por las plantas (Boethgen, 1992). Existe una relación directa entre la producción de biomasa aérea y subterránea y en consecuencia entre producción de forraje y MO (Haynes *et al.*, 1991). La mayor acumulación de MO en la capa superficial del suelo con coberturas perennes es el resultado de la deposición de los sucesivos cortes realizados durante el ciclo del cultivo y no está sujeta a la incorporación mecánica (Havlin *et al.*, 1990). Los resultados obtenidos en este trabajo son coincidentes con los informados por otros investigadores en diversas localidades de la Argentina con el uso de prácticas conservacionistas como la siembra directa en molisoles, cuya textura superficial es franca hasta los 30 cm (Alvarez *et al.*, 1995; Crespo *et al.*, 2001) siendo el principal propósito preservar el horizonte superficial del suelo. En el tratamiento T el tipo de vegetación residente que se desarrolla está compuesta de especies muy variables en cuanto a su hábito de crecimiento, cobertura del suelo y aporte de biomasa.

En el tratamiento V se observó un aumento de MO y Nt solamente en superficie (0-7,5 cm). En tanto que en la profundidad 15-30 cm no se detectaron diferencias entre los tratamientos.

La comparación del contenido de MO y Nt entre las profundidades marca una evidencia de estratificación en los tratamientos A+F y Tr, al disminuir notablemente en la profundidad 15-30 cm con respecto a las dos restantes. El índice de estratificación (cociente entre la concentración de la MO en la capa 0-7,5 cm con respecto a la 15-30 cm de profundidad) fue mayor en A+F, Tr y V (2,34, 2,5 y 4, respectivamente) que en T (1,3). Según Franzluebbers (2003), ambientes con niveles de estratificación superiores a 2 podrían considerarse como estabilizados bajo condiciones de manejo conservacionistas de suelos.

La concentración de  $\text{K}^{+}$  fue mayor ( $p < 0,05$ ) en el tratamiento Tr respecto a V y T, para todos los niveles del factor profundidad, mientras que A+F se observó incremento en superficie (0-7,5 cm). En todos los tratamientos con coberturas verdes manifestaron un incremento ( $p < 0,05$ ) en la concentración  $\text{K}^{+}$  en superficie (0-7,5 cm), (Tabla 1).

Tabla 1. Concentración de materia orgánica (MO), nitrógeno total (Nt), fósforo disponible y, calcio, magnesio y potasio, intercambiables en los distintos tratamientos coberturas y profundidades de suelo.

Table 1. Concentration of soil Organic matter (OM), total nitrogen (Nt), available phosphorus and, exchangeable calcium, magnesium and potassium among soil treatments and sampling depths

Letras minúsculas diferentes en sentido horizontal indican diferencias significativas entre tratamientos cobertura en cada profundidad (Tukey  $p < 0,05$ ). Letras mayúsculas diferentes en sentido vertical indican diferencias significativas entre profundidades en cada tratamiento (Tukey  $p < 0,05$ ).

A+F: alfalfa + festuca; Tr: trébol; V: vicia; T: testigo.

Different lower case letters in each line show significant differences between soil management cover treatments within each soil depth (Tukey  $p < 0.05$ ). Different capital letters in each column show significant differences between soil depth within each treatments (Tukey  $p < 0.05$ ).

A+F: alfalfa + fescue; Tr: clover; V: vetch; T: control

Profundidad (cm)	TRATAMIENTOS							
	MO g kg <sup>-1</sup>				Nt g kg <sup>-1</sup>			
	A+F	Tr	V	T	A+F	Tr	V	T
0-7,5	28,4 a A	27,7 a A	19,3 a A	9,0 b A	1,2 a A	1,2 a A	0,9 a A	0,5 b A
7,5-15	20,2 a A	23,5 a A	11,6 ab B	8,5 b A	0,8 a A	0,9 a A	0,6 ab B	0,4 b A
15-30	12,1 a B	6,9 a B	7,7 a B	6,9 a A	0,5 a B	0,3 a B	0,4 a B	0,3 a A
	K <sup>+</sup> mg kg <sup>-1</sup>				P mg kg <sup>-1</sup>			
0-7,5	507 a A	612 a A	250 b A	339 b A	11,5 a A	6,9 b A	12,9 a A	6,0 b A
7,5-15	250 b B	319 a B	183 b B	257 b B	6,4 a B	5,7 b A	8,6 a B	5,2 b A
15-30	164 b C	296 a B	109 b C	187 b C	7,4 ab B	6,2 b A	8,1 a B	5,7 c A
	Ca <sup>+2</sup> mg kg <sup>-1</sup>				Mg <sup>+2</sup> mg kg <sup>-1</sup>			
0-7,5	4.442 a B	3.656 b A	2.534 c B	2.294 c B	332 a A	140 c B	252 b B	150 c A
7,5-15	5.336 a A	3.735 b A	2.720 c B	2.614 c B	329 a A	264 b A	269 b B	154 c A
15-30	5.576 a A	2.908 c B	3.500 c A	2.854 c A	234 b B	154 c C	331 a A	198 b A

El mayor ( $p < 0,05$ ) contenido de P disponible se manifestó en V respecto a los restantes tratamientos en las tres profundidades analizadas y solo en los primeros 7,5 cm de suelo en el tratamiento A+F. Estos resultados son comparables a los obtenidos por otros autores (Dick, 1983; Merwin & Warren, 1994), quienes trabajaron en suelos de igual clase textural utilizando como cobertura una mezcla de ryegrass perenne (*Lolium perenne* L.) y festuca (*Festuca rubra* L.). La acumulación de P cerca de la superficie es un fenómeno de los suelos no labrados debido al aporte de nutrientes que genera el incremento de la MO (Ismail *et al.*, 1994). Caso inverso puede observarse en el tratamiento T donde la baja concentración de P puede deberse a la absorción por parte del cultivo del P disponible producto de la rápida mineralización de la MO en condiciones ambientales óptimas (temperatura y disponibilidad de humedad).

La concentración de Ca<sup>+2</sup> en el tratamiento A+F se incrementó en un 50% con respecto a T en las tres profundidades analizadas, mientras que dicho aumento fue de 35% para las dos primeras profundidades del tratamien-

to Tr. El contenido de Mg duplicó su valor en los primeros 15 cm en el tratamiento A+F respecto a T. La distribución de Mg<sup>+2</sup> en los diferentes niveles de profundidad en cada tratamiento fue variable (Tabla 1).

Los valores de densidad aparente de cada tratamiento y para cada profundidad no presentaron diferencias significativas (datos no presentados) y oscilaron entre 1,51 y 1,62 Mg m<sup>-3</sup>.

### Relaciones C orgánico, N y P

Estas relaciones reflejan el equilibrio dinámico de la actividad microbiana y podrían indicar cambios en la composición de la MO en suelos con diferentes tratamientos. El análisis de la variación de las relaciones C/N y C/P se muestran en la Tabla 2. La relación C/N muestra diferencia significativa entre tratamientos pero no entre profundidades de muestreos en cada uno de ellos. Los tratamientos A+F y Tr indica una relación intermedia y la MO es menos humificada y enriquecida de carbono, predominando probablemente el proceso de inmovilización

Tabla 2. Relaciones carbono/nitrógeno y carbono/fósforo en cada tratamiento y profundidad de suelo.

Table 2. Carbon/nitrogen and carbon/phosphorus ratios for each treatment and soil depth.

Letras minúsculas diferentes en sentido horizontal indican diferencias significativas entre tratamientos para cada profundidad (Tukey  $p < 0,05$ ). Letras mayúsculas diferentes en sentido vertical indican diferencias significativas entre profundidades en cada tratamiento (Tukey  $p < 0,05$ ).

A+F: alfalfa + festuca; Tr: trébol; V: vicia; T: testigo.

Different lower case letters in each line show significant differences between soil management cover treatments within each soil depth (Tukey  $p < 0.05$ ). Different capital letters in each column show significant differences between soil depth within each treatment (Tukey  $p < 0.05$ ).

A+F: alfalfa + fescue; Tr: clover; V: vetch; T: control.

Profundidad (cm)	C/N				C/P			
	A+F	Tr	V	T	A+F	Tr	V	T
0-7,5	14 a	14 a	12 b	11 b	275 a A	233 a A	88 b A	92 b A
7,5-15	15 a	15 a	10 b	12 b	225 a A	240 a A	133 a A	96 b A
15-30	14 a	13 a	10 b	12 b	123 b B	64 b B	82 b A	61 b A

sobre el de mineralización. En las coberturas perennes, al no removerse la biomasa aportada al suelo, la mineralización se hace más lenta y la oferta de N para los cultivos es más gradual. Mientras que en los tratamientos V y T manifestó una alta velocidad de mineralización y en consecuencia, mayor disponibilidad de N para las plantas durante la estación de crecimiento pero a su vez con mayor riesgo de pérdida en el agua de riego.

La relación C/P fue mayor en los primeros 15 cm en el tratamiento A+F y Tr respecto a T. Además, en los tratamientos con coberturas perennes la relación superficial es el doble respecto al estrato 15-30 cm. Estos valores son más elevados que los reportados por Dick (1983) en suelos no labrados. Según dicho autor se requiere una relación C/P menor a 200 para una mineralización neta de P, mientras que si la relación es superior se producirá una inmovilización del P inorgánico. En los tratamientos V y T se observan relaciones C/P inferiores a 200 e indican que el proceso de mineralización de P es más rápido que en los tratamientos con coberturas perennes.

### Agregación

En la Tabla 3 se muestra la distribución de los agregados. Se observa un dominio significativo del porcentaje de macroagregados (100-2.000  $\mu$ ) en los tratamientos con coberturas perennes, indicando una mayor estabilidad de los mismos. Esta situación es semejante a la informada por Cambardella & Elliot (1993), quienes encontraron el mayor grado de estabilidad en suelos francos no labrados y más aún en los suelos con cobertura nativa. El activo sistema radicular de la festuca realiza

presión sobre las partículas del suelo, favoreciendo su unión y la acción cementante de las sustancias orgánicas (polisacáridos y poliurónicos) derivados de la síntesis microbiana, en la zona de la rizósfera, ejercen mayor estabilidad sobre los agregados (Walsh *et al.*, 1996). Haynes *et al.* (1991) encontraron que las gramíneas superaban a las leguminosas en la generación de agregados estables mayores de 200  $\mu$ . Haynes & Francis (1993) demostraron que los agregados mayores de 250  $\mu$  son estabilizados por raíces e hifas, cuya existencia está vinculada al manejo del suelo.

Los agregados de menor tamaño (0-100  $\mu$ ) predominaron en el tratamiento T, esta fracción sufrió un incremento a expensas de la desagregación de los macroagregados, coincidiendo con el modelo estructural de Six *et al.* (1999); Haynes & Francis (1993). Cabe agregar, que la fracción de los microagregados al ser más estable es capaz de resistir las fuerzas de rotura producida por la maquinaria que en un monte frutal es muy intensa (Di Prinzio *et al.*, 1998).

En la Tabla 3 se observan diferencias significativas en el contenido y distribución del CO y Nt en los diferentes tratamientos y fracciones de agregados. El CO aumentó significativamente en los microagregados en los tratamientos A+F y Tr, respecto a T. Mientras que en los macroagregados se observó un incremento de CO en todos los tratamientos con coberturas verdes, respecto al tratamiento T, de vegetación espontánea y labranza con rastra de discos. El CO de los macroagregados es el más dinámico de la MO, es una mezcla heterogénea de productos orgánicos de diferentes grados de descomposición y el más afectado por la labranza. Ésta modifica la

Tabla 3. Distribución porcentual de macro y microagregados y contenidos medios de carbono orgánico (CO) y nitrógeno total (Nt) en los macro y microagregados del suelo en cada tratamiento.

Table 3. Percentage distribution of macro and micro aggregates and organic carbon and total nitrogen concentration in soil macro and micro aggregates for each treatment.

Letras distintas en sentido vertical difieren significativamente ( $p < 0,05$ ).

A+F: alfalfa + festuca; Tr: trébol; V: vicia; T: testigo.

Different letters in column show significant differences (Tukey  $p < 0,05$ ).

A+F: alfalfa + fescue; Tr: clover; V: vetch; T: control.

Tratamiento	Tamaño de agregados							
	0-100 $\mu$		100-2.000 $\mu$		0-100 $\mu$		100-2.000 $\mu$	
	(% Agregados)		CO (g kg <sup>-1</sup> )		Nt (g kg <sup>-1</sup> )			
A+F	47,7 b	52,3 a	8,9 a	9,6 a	0,8 a	0,5 a		
Tr	46,4 b	53,6 a	7,5 a	9,6 a	0,8a	0,3 ab		
V	77,8 a	22,2 b	3,9 ab	9,5 a	0,6ab	0,2 b		
T	79,4 a	20,2 b	3,1 b	4,0 b	0,4b	0,2 b		

protección y localización de los compuestos orgánicos, aumentando la velocidad de biodegradación de los mismos (Balesdent *et al.*, 2000), y por lo tanto disminuye la agregación del suelo, por una reducción de la MO de los macroagregados, situación que se refleja en el tratamiento T.

El contenido de Nt en los microagregados fue mayor en los tratamientos A+F y Tr, mientras que en los macroagregados solamente se manifestaron diferencias en el tratamiento A+F, respecto a T. Estas diferencias podrían ser debidas a la fijación biológica de N que producen las leguminosas. Resultados similares fueron reportados por Galantini *et al.* (2002) en molisoles de la Región Pampeana.

## CONCLUSIONES

Después de cuatro años de implantadas las coberturas sobre el espacio interfilas, se manifestó un efecto positivo en los tratamientos con coberturas verdes respecto al tratamiento testigo. El tratamiento de mayor relevancia fue A+F que incrementó en distintas cantidades los contenidos de MO, Nt, P, Ca<sup>+2</sup> y Mg<sup>+2</sup> principalmente en las profundidades 0-7,5 y 7,5-15 cm. Le sigue en menor magnitud Tr que influyó en los tenores de MO, Nt en los 15 cm superficiales y V incrementó los contenidos de fósforo disponible. Asimismo, las coberturas perennes afectaron la distribución del tamaño de los agregados, generando un incremento de la fracción de los macroagregados, promoviendo en los suelos una mayor estabilidad estructural frente al tratamiento testigo con pasada doble de rastra de discos.

Los resultados obtenidos en este trabajo sugieren que la utilización de coberturas vegetales, principalmente con especies perennes redundarían en un manejo más sustentable del suelo que el manejo convencional de la región con rastra de discos.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por la Secretaría de Investigación de la Universidad Nacional del Comahue y la Estación Experimental INTA Alto Valle.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez, R; R Días; N Barbero; O Santanatoglia & L Blotta. 1995. Soil organic carbon, microbial biomass and CO<sub>2</sub>-C production from three tillage systems. *Soil Till. Res.* 33: 17-28.
- Aruani, MC & S Behmer. 2004. Efecto de la granulometría y la compactación del suelo sobre la distribución de raíces en manzano. *Revista RIA de Investigaciones Agropecuarias (Argentina)* 33(2): 55-66.
- Aruani MC & E Sánchez. 2002. Manzano. Distribución de micronutrientes en suelo. *Rev. FCA, U.N. Cuyo.* Tomo XXXIV N° 1: 25-29.
- Balesdent, J; C Chenu & M Balabane. 2000. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil Till. Res.* 53: 215-230.
- Boethgen, WE. 1992. Dinámica del nitrógeno en sistemas de rotación cultivo-pasturas. *Revista INIA de Investigaciones Agronómicas (Uruguay)* 1: 13-25.

- Bremner, JM. 1960. Determination of nitrogen in soil by the Kjeldahl method. *J. Agric. Sci.* 55: 1-23.
- Cambardella, CA & ET Elliot. 1993. Carbon and nitrogen distribution in aggregates from cultivated and native grassland soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57: 1071-1076.
- CIL. 1991. Estudio para el aprovechamiento integral del Río Negro, Argentina. 243 p. Etapa II. Informe Edafológico. Consorcio Inconas Latinoconsult S.A. (CIL), Buenos Aires, Argentina.
- Crespo, L; LI Picote; YE Andreoli & FO García. 2001. Poblaciones microbianas y contenido de carbono y nitrógeno del suelo en sistemas de siembra directa y labranza convencional. *Ciencia del Suelo (Argentina)* 19(1): 30-38.
- De Orellana, JA & MA Pilatti. 1994. La estabilidad de agregados como indicador edáfico de sostenibilidad. *Ciencia del Suelo (Argentina)* 12(2): 75-80.
- Dick, WA. 1983. Organic carbon, nitrogen and phosphorus concentrations and pH in soil profiles as affected by tillage intensity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47: 102-107.
- Di Prinzio, A; D Jorajuría; S Behmer; CD Ayala & A Aragon. 1998. El tráfico en el monte frutal: El tapiz vegetal y la distribución de la compactación. *Agro-Ciencia (Chile)* 14(2): 283-288.
- Elliott, ET. 1986. Aggregate structure and carbon, nitrogen and phosphorus in native and cultivated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 627-633.
- Franzluebbers, AJ. 2003. Conservation tillage and stratification on soil properties: a summary of the special issue in Soil and Tillage Research (2002) ISTRO 16<sup>th</sup> Conference, Brisbane (Australia). In: CD.
- Galantini, JA; RA Rosell; G Brunetti & N Senesi. 2002. Dinámica y calidad de las fracciones orgánicas de un Haplustol durante la rotación de trigo-leguminosas. *Ciencia del Suelo (Argentina)* 20: 17-26.
- Galantini, JA & RA Rosell. 1997. Organic fractions, N, P and S changes in an Argentine semiarid Haplustoll under different crop sequences. *Soil Till. Res.* 42: 221-228.
- Hanna, R; FG Zalom & CL Elmore. 1995. Integrating cover crops into grapevine pest and nutrition management: The transition phase. *Sustainable Agriculture Technical Reviews* 7: 48-52.
- Havlin, JL; DE Kissel; LD Maddux; MM Claasen & JL Long. 1990. Crop rotation and tillage effects on soil organic carbon and nitrogen. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 448-452.
- Haynes, RJ & GS Francis. 1993. Changes in microbial biomass C, soil carbohydrate composition and aggregate stability induced by growth of selected crop and forages species under field conditions. *Journal of Soil Science* 44: 665-675.
- Haynes, RJ; RS Swift & RC Stephen. 1991. Influence of mixed cropping rotations (pasture-arable) on organic matter content stable aggregation and clod porosity in a group of soil. *Soil and Tillage Research.* 19: 77-87.
- Ismail, I; RL Blevins & WW Frye. 1994. Long-term no-tillage effects on soil properties and continuous corn yields. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 193-198.
- Klik, A; J Rosner & W Loiskandi. 1998. Effects of temporary and permanent soil cover on grape yield and soil chemical and physical properties. *Soil Water Conserv.* 53: 249-253.
- Lal, R. 1991. Soil structure and sustainability. *J. Sustainable Agric.* 1: 67-91.
- Littell, RC; GA Milliken; WW Stroup & RD Wolfinger. 1996. SAS System for Mixed Models. Cary, NC: SAS Institute Inc. 633 pp.
- Merwin, IA & CS Warren. 1994. Orchard groundcover management impacts on apple tree growth and yield, and nutrient availability and uptake. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 119: 209-215.
- Richter, M; M Conti & G Maccarini. 1982. Mejoras en la determinación de cationes intercambiables y capacidad de intercambio catiónico en los suelos. *Rev. Fac. de Agronomía* 3(2): 145-155.
- Sainju, UM & P Singh. 1997. Winter cover crops for sustainable agricultural systems: Influence on soil properties, water quality, and crop yields. *Hort Science* 32: 21-28.
- Six, J; ET Elliot & K Paustian. 1999. Aggregate and soil organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63: 1350-1358.
- Soil Survey Staff. 1996. Keys to Soil Taxonomy. 644 p. 7<sup>th</sup> ed. USDA. Natural Resources Conservation Service. Agric. Handb. 436. U.S. Gov. Print Office, Washington, DC, USA.
- SAS Institute. Inc. 2000. SAS, versión 8.2. CD. Cary, North Caroline, USA.
- Walsh, BD; S Salmins; DJ Buszard & AF MacKenzie. 1996. Impact of soil management systems on organic dwarf apple orchards and soil aggregate stability, bulk density, temperature and water content. *Can. J. Soil Sci.* 76: 203-209.
- Wolkowski, RP. 1990. Relationship between wheel-traffic-induced soil compactation, nutrient availability, and crop growth: a review. *J. Prod. Agric.* 3: 460-469.