

# CAMBIOS BIOLÓGICOS DEL SUELO ASOCIADOS AL MANEJO DE LA COBERTURA VEGETAL EN UN HUERTO ORGÁNICO DE MANZANO

## Biological Changes in the Soil Related with the Use of Cover Crops in an Organic Apple Orchard

P. Gili<sup>1‡</sup>, C. Aruani<sup>1</sup>, E. Maero<sup>1</sup>, E. Sánchez<sup>2</sup> y M. Sagardoy<sup>3</sup>

### RESUMEN

Se estudió la respuesta a la aplicación de distintos tipos de cobertura vegetal en el espacio interfilar de la actividad de los microorganismos del suelo, la biomasa microbiana y la actividad enzimática en un suelo de textura franca del Valle Medio de Río Negro, Argentina, cultivado con manzano (*Malus domestica* Bork cv. Royal Gala) bajo certificación orgánica. En 1999 se practicaron los tratamientos siguientes: 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*), V; y 4) Testigo (vegetación espontánea con pasada de rastra de discos al final del invierno, manejo tradicional que realiza el productor), T. Durante el otoño y la primavera de los años 2001-2002, se tomaron muestras de suelo (0-15 cm) y se analizó el contenido de C orgánico (CO) y nitrógeno total (Nt). Además, se determinó la actividad biológica del suelo medida como el número de bacterias gramo de suelo (BH), C de la biomasa microbiana (CBM) y actividad de las enzimas deshidrogenasa (D), catalasa (C), fosfotriesterasa (P) y ureasa (U). También se calculó el índice de mineralización (IM) de carbono (respiración / materia orgánica) para cada tratamiento. Los tratamientos donde se utilizó trébol frutilla y la dupla alfalfa-festuca mostraron el mejor comportamiento microbiano, enzimático y químico (mayores concentraciones de CO y Nt). Además, los valores de IM indicaron que el mejor equilibrio entre mineralización y humificación del carbono se obtuvo en las coberturas

permanentes. Se concluye que estas coberturas permiten un manejo sustentable de los suelos cultivados con manzano bajo riego.

**Palabras clave:** biomasa microbiana, enzimas del suelo, índice de mineralización.

### SUMMARY

The effects of different cover crops on soil microorganisms, microbial biomass, and enzymatic activity in a loam soil of the middle valley of the Negro River, Argentina, in a certified organic apple orchard (*Malus domestica* Bork cv. Royal Gala) were studied. In 1999, treatments applied to inter-row spaces were 1) permanent alfalfa (*Medicago sativa*) cover plus fescue (*Festuca arundinacea*), F+A; 2) permanent strawberry clover cover (*Trifolium fragiferum*), Tr; 3) annual sowing of common vetch *Vicia sativa*, V; and 4) control (natural grasses and legumes which are disked into soil in late winter, traditional grower management system), T. During fall and spring 2001 and 2002, soil samples (0-15 cm) were collected. In each treatment, both organic carbon (OC) and total nitrogen (Nt) were determined. Biological analyses quantified bacterial populations per g soil (BH), microbial carbon biomass (CBM), and activity of the soil enzymes dehydrogenase (D), catalase (C), phosphotriesterase (P) and urease (U). Additionally, carbon mineralization (respiration / organic matter) index (MI) was calculated for each treatment. The treatments of strawberry clover and alfalfa-fescue showed better microbial enzymatic and chemical behavior (higher concentrations of OC and Nt). MI values indicated that a better balance between mineralization and carbon humification was obtained with permanent cover crops. It was concluded that these cover crops allow for sustainable management of the soil cultivated under apple with irrigation.

**Index words:** microbial biomass, soil enzymes, mineralization index.

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

<sup>‡</sup> Autor responsable (pgili@jetband.com.ar)

<sup>2</sup> Estación Experimental Agropecuaria Alto Valle

<sup>3</sup> Universidad Nacional del Sur (UNS), Departamento de Agronomía. Bahía Blanca, Argentina.

## INTRODUCCIÓN

Mantener la productividad de los ecosistemas es la base para la vida en la tierra (Cihacek *et al.*, 1996) y se reconoce que la continuidad de las funciones físicas, químicas y biológicas de los suelos depende del manejo que se realice con los mismos (Bezdicsek *et al.*, 1996).

La utilización de abonos orgánicos de leguminosas verdes y residuos de cultivos, entre otros, es una alternativa ecológica viable, la cual tiene el doble propósito de incrementar la producción de un cultivo y mejorar la fertilidad del suelo (Dinesh *et al.*, 1998). Singh *et al.* (1992) señalan que el aumento de la productividad en un suelo es posible cuando se produce una mayor cantidad de C orgánico, junto a una estabilización del mismo, fenómeno que mejora las propiedades microbiológicas y físicas de un suelo.

La actividad microbiana juega un papel importante en la regulación de la fertilidad de los suelos. Los procesos microbiológicos se miden usando diversas variables, como biomasa microbiana, respiración y actividades enzimáticas (Nannipieri *et al.*, 1990; Garcia *et al.*, 1994). El cálculo de índices combinando diferentes variables (biomasa/respiración, biomasa/materia orgánica) permite interpretar la dinámica de los procesos biológicos que ocurren en un suelo (Filip, 2002). Más aún, Lal (1998) y Arshad y Martin (2002) indican que las variables biológicas, en periodos cortos, son más sensibles que el contenido de materia orgánica (MO) de un suelo, dado que la MO varía lentamente y sólo es posible detectar los cambios a largo plazo.

En la producción orgánica de frutas, la calidad y, en especial, la fertilidad del suelo, en conjunto con la lucha contra las plagas, son determinantes del éxito económico (Granatstein, 2000). En la práctica, se reconoce que el uso de coberturas verdes, como el agregar abonos orgánicos a los suelos, puede causar una variedad de efectos sobre los microorganismos del suelo y sobre su actividad (Dinesh *et al.*, 1998). En este estudio se plantea la hipótesis de que mediante prácticas conservacionistas y sustentables, como el mantener la vegetación permanente y el usar abonos verdes, se pueden mejorar las propiedades químicas y biológicas de un suelo, además de optimizar la nutrición mineral del monte frutal y disminuir el uso de fertilizantes.

El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de diferentes coberturas verdes sobre la actividad de los microorganismos del suelo, medida como número de bacterias heterótrofas, el C de la biomasa microbiana y

la actividad enzimática y su relación con algunas propiedades edáficas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en un monte orgánico plantado con manzano (*Malus domestica* Bork cv. Royal Gala) en la zona del Valle Medio del Río Negro, Argentina, entre las coordenadas 39° 6' 44" S y 66° 20' O. El clima de la zona es templado, continental y árido. Se caracteriza por una temperatura media anual de 15.8 °C y una precipitación media anual de 305 mm (período 1973-2000) (Dirección Provincial de Aguas, 1995). El material originario de estos suelos es aluvial. El régimen de humedad corresponde al arídico y el de temperatura es térmico, lo que refleja condiciones de déficit hídrico durante todo el año, siendo máximo durante el verano, con elevadas temperaturas edáficas medias anuales, de 15 a 22 °C (Consortio Iconas Latinoconsult, 1991). Los suelos pertenecen al orden Entisol, son de textura franca y presentan 16% de arcilla, 37% de limo y 47% de arena; se clasifican como Torriorhentes típicos, franco gruesos, mixtos, térmicos (Soil Survey Staff, 1998) y están ubicados en la Terraza Aluvial Reciente (planicie de inundación) de alta actividad morfogénica.

En el año 1999, en el espacio interfilar del huerto de manzano se instalaron los siguientes tratamientos, en un diseño completamente aleatorizado: 1) cobertura permanente de alfalfa (*Medicago sativa*) y festuca (*Festuca arundinacea*) (13 y 17 kg de semilla por hectárea, respectivamente), A+F; 2) cobertura permanente de trébol frutilla (*Trifolium fragiferum*) (19 kg ha<sup>-1</sup>), Tr; 3) siembra anual de vicia *Vicia sativa* durante el mes de marzo (50 kg ha<sup>-1</sup>), V; 4) Testigo (vegetación espontánea con pasada de rastra de disco en el mes de septiembre, manejo tradicional que realiza el productor), T. Las semillas de alfalfa, vicia y trébol frutilla se inocularon, en el primer año de implantación, con cepas específicas de rizobios. En los años sucesivos, la siembra de *V. sativa* se realizó con semilla sin inocular. Se utilizó un sistema de riego por microaspersión. Cuando las pasturas implantadas y naturales alcanzaron una altura entre 50 y 60 cm, se realizó un corte a 12 cm del suelo y el material segado se dejó descomponer naturalmente en la superficie del suelo. Durante el ciclo de crecimiento se realizaron, en promedio, entre tres y cuatro cortes anuales.

El incremento del caudal de la represa El Chocón, en el año 2001, se trasladó al río Negro y esto provocó

inundación del área de estudio en los meses de junio, julio y agosto (invierno). El anegamiento no afectó a las pasturas perennes, pero sí a *V. sativa* que no se recuperó.

En el otoño y la primavera de los años 2001 y 2002, se tomó una muestra de suelo en cada tratamiento; cada una de ellas compuesta de 50 submuestras (0-15 cm), con el propósito de medir las siguientes variables biológicas: 1) número de bacterias heterótrofas aerobias (BH), expresado como unidades formadoras de colonias (ufc) por gramo de suelo seco (Zuberer, 1994); 2) contenido de carbono de la biomasa microbiana (CBM), utilizando el método de la respiración inducida por sustrato (SIR) (Anderson y Domsch, 1978; Öhlinger, 1996); y 3) actividad de las enzimas deshidrogenasa (D) (Casida *et al.*, 1964), catalasa (C) (Johnson y Temple, 1964), ureasa (U), mediante el método de la urea remanente (Tabatabai, 1994) y fosfotriesterasa (P), mediante la determinación de p-nitrofenol liberado a partir de p-nitrofenilfosfato (Tabatabai y Bremner, 1969; Eivazi y Tabatabai, 1977). Además, se determinó nitrógeno total (Nt) y carbono orgánico (CO) (Jackson, 1982). Todos los estudios químicos, microbiológicos y enzimáticos se realizaron por triplicado. Además, se calculó el índice de mineralización del carbono (respiración / materia orgánica) (IM) para cada tratamiento estudiado (Dommergues, 1960).

El diseño estadístico fue en bloques completos al azar con estructura factorial, con tres factores: tratamientos (A+F, Tr, V y T), estaciones (otoño-primavera) y años (2001-2002), con cuatro, dos y dos niveles, respectivamente. Para evaluar los resultados obtenidos se utilizó el análisis de varianza; se analizaron las variables biológicas, Nt y CO, comparando las medias por la prueba de Tukey, con un nivel de significancia de 0.05. Se utilizó la correlación simple entre las variables biológicas y el Nt y CO del suelo, empleando el Statistical Analysis System (SAS Institute, 1991).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

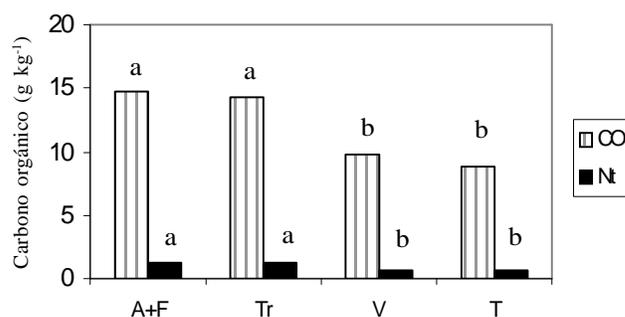
Las concentraciones de CO y Nt, en el espacio interfilas de manzanos, fueron mayores donde se utilizaron enmiendas orgánicas (Figura 1); sin embargo, esos incrementos variaron con el tipo de MO agregada; esto se manifiesta en los tratamientos A+F y Tr, donde los incrementos fueron altamente significativos, 60% mayores respecto a los tratamientos V y T. Se considera que la MO es el indicador más simple de la calidad del suelo, la cual varía cualitativamente de acuerdo con el tipo de ecosistema y posterior manejo. La incorporación

de C a los suelos aumenta el tamaño y la actividad de la biomasa microbiana (Ritz *et al.*, 1997). Estas enmiendas proveen mayor energía y condiciones más favorables para la proliferación microbiana y la producción de manzanos.

Los análisis de varianza para las variables biológicas presentaron interacciones significativas (tratamiento-estación-año), por ello se analizaron los efectos principales (épocas de muestreo / estación y tratamientos) en forma separada para cada año. En el Cuadro 1 se resumen los resultados de P de las pruebas F del análisis de varianza de las variables biológicas estudiadas, que se emplearán en la discusión de cada una en particular.

En el Cuadro 2 se muestra el CBM, el cual es un componente vivo y dinámico de la MO del suelo, y se le considera un buen indicador del estado y los cambios del CO (Rice *et al.*, 1996), razón por la cual se evaluó esta variable en las diferentes coberturas vegetales en suelos cultivados con manzanos.

En la primavera de 2001 se observó un incremento en todos los tratamientos, con respecto al otoño, aun en el T, donde la diferencia fue de 38%. Estos altos valores pueden explicarse por factores ambientales favorables para el desarrollo de microorganismos y el crecimiento de las plantas con importantes aportes de exudados radiculares. Resultados similares obtuvieron Blume *et al.* (2002), quienes estudiaron variaciones estacionales en suelos superficiales y subsuperficiales y no detectaron variaciones significativas en el CBM, aunque la actividad metabólica se incrementó 83% en una de las estaciones estudiadas. En otoño de 2001, el CBM presentó



**Figura 1. Carbono orgánico y de nitrógeno total en un suelo sembrado con distintas coberturas verdes y cultivadas con manzano.**

A+F = cobertura permanente de alfalfa (*Medicago sativa*) y festuca (*Festuca arundinacea*); Tr = cobertura permanente de trébol frutilla (*Trifolium fragiferum*); V = siembra anual de vicia (*Vicia sativa*); T = testigo, manejo tradicional. Letras iguales indican diferencias no significativas (Tukey,  $\alpha < 0.05$ ).

**Cuadro 1. Resumen de los valores de probabilidad de las pruebas de F de los análisis de varianza de las variables biológicas analizadas en 2001 y 2002.**

Efectos	Variables biológicas <sup>†</sup>					
	BH	CBM	D	C	U	P
<b>2001</b>						
Tratamiento (Trat)	0.53504	0.001951 <sup>†</sup>	0.078438	0.00000 <sup>†</sup>	0.419651	0.000014 <sup>†</sup>
Estación (Est)	0.858	0.001486 <sup>†</sup>	0.068317	0.000994 <sup>†</sup>	0.830168	0.048675
Trat x Est	0.01396 <sup>†</sup>	0.306542	0.004499 <sup>†</sup>	0.492492	0.942075	0.651385
<b>2002</b>						
Tratamiento	0.038876	0.002904 <sup>†</sup>	0.246729	0.00000 <sup>†</sup>	0.000014 <sup>†</sup>	0.00000 <sup>†</sup>
Estación	0	0.992968	0.829287	0.297946	0.00000 <sup>†</sup>	0.009195 <sup>†</sup>
Trat x Est	0.006499 <sup>†</sup>	0.999999	0.313977	0.00001 <sup>†</sup>	0.00004 <sup>†</sup>	0.970197

<sup>†</sup> Significativo con  $\alpha < 0.05$ .

<sup>‡</sup> BH = número de bacterias heterótrofas aerobias; CBM = contenido de carbono de la biomasa microbiana; D = deshidrogenasa; C = catalasa; U = ureasa; P = fosfotriesterasa.

comportamientos similares en los suelos con coberturas perennes y anuales; no obstante, el tratamiento con Tr difirió significativamente, con valores de biomasa 1.9 veces superiores a los obtenidos con la cobertura natural (T). Estos resultados coinciden con la disponibilidad de CO que provee de energía y conduce un aumento del CBM (Dinesh *et al.*, 1998).

En el año 2002 no se observaron diferencias estacionales en los valores del CBM, en el otoño; en la primavera, los tratamientos A+F fueron 30 y 38% más bajos, respectivamente, comparados con el tratamiento Tr.

El CBM representa una medida sensible a los cambios en el uso de los suelos (Díaz-Ravina *et al.*, 1995); los valores indican que la cobertura con Tr podría adoptarse como práctica de manejo en estos suelos cultivados con manzano.

Si bien la concentración de CO y Nt varió con los diferentes abonos orgánicos aplicados a los suelos, estas diferencias no permitieron observar una proliferación significativa de bacterias aerobias heterótrofas (Cuadro 3). Estos resultados coinciden con los de Bolton

*et al.* (1985), quienes no observaron diferencias en el recuento de bacterias en suelos de Washington (EE. UU.) sembrados con trigo y abonos verdes de leguminosas.

La correlación entre bacterias aerobias (ufc g<sup>-1</sup>) y las actividades enzimáticas evaluadas no fueron significativas ( $r = 0.22$ ), datos que coinciden con los obtenidos por Frankenberger y Dick (1983), en EE. UU.

Entre las enzimas ensayadas, se observó una alta actividad en la mayoría de los suelos con cobertura con Tr, comparado con los suelos T, sin enmienda. Estos resultados coinciden con diversos autores (Speir y Ross, 1978; Perucci *et al.*, 1984) quienes encontraron que la actividad de muchas enzimas no sólo depende de la cantidad, sino también del tipo de MO. Sin embargo, la enzima deshidrogenasa, durante el periodo experimental, no presentó diferencias entre los tratamientos (Cuadro 4). La medición de la actividad de la D, que interviene en la cadena respiratoria, podría usarse como un índice de la actividad oxidativa de la célula; por lo tanto, constituye una medida de la actividad promedio de la población de microorganismos viables (Beyer *et al.*, 1993).

**Cuadro 2. Valores medios de carbono de la biomasa microbiana (CBM) en un suelo tratado con coberturas verdes y cultivado con manzano.**

Tratamiento	2001		2002	
	Otoño	Primavera	Otoño	Primavera
	----- mg C 100 g <sup>-1</sup> suelo -----			
Trébol	85.5 a <sup>†</sup>	93.2 a	95.4 a	107 a
Alfalfa + festuca	64.8 ab	91.8 ab	65.9 b	65.9 b
Vicia	63.6 ab	71.5 c	91.8 a	91.6 a
Testigo	45.5 b	73.9 bc	85.2 ab	83.8 ab

<sup>†</sup> Valores con la misma letra, en una columna, son estadísticamente iguales (Tukey,  $\alpha < 0.05$ ).

**Cuadro 3. Bacterias aerobias en un suelo tratado con distintas coberturas verdes y cultivado con manzano.**

	2001		2002	
	Otoño	Primavera	Otoño	Primavera
	----- log nat ufc g <sup>-1</sup> -----			
Trébol	7.6 b <sup>†</sup>	8.0 a	7.7 b	6.7 a
Alfalfa + festuca	7.9 ab	8.1 a	8.0 a	6.8 a
Vicia	7.9 ab	7.9 ab	7.5 b	6.8 a
Testigo	7.9 ab	7.7 ab	7.6 b	7.0 a

<sup>†</sup> Valores con la misma letra, en una columna, son estadísticamente iguales (Tukey,  $\alpha < 0.05$ ). ufc = unidades formadoras de colonias.

**Cuadro 4. Valores medios de la actividad de la deshidrogenasa en un suelo tratado con coberturas verdes y cultivado con manzano.**

Tratamiento	2001		2002	
	Otoño	Primavera	Otoño	Primavera
	$\mu\text{g } 2,3,5 \text{ trifenilformazan (TPF) g}^{-1} \text{ h}^{-1}$			
Trébol	2.7 ab <sup>†</sup>	3.8 a	2.2 a	2.8 a
Alfalfa + festuca	2.2 ab	2.3 ab	2.4 a	2.2 a
Vicia	4.5 a	1.6 ab	2.1 a	2.1 a
Testigo	2.6 ab	1.6 ab	2.2 a	2.0 a

<sup>†</sup> Valores con la misma letra, en una columna, son estadísticamente iguales (Tukey,  $\alpha < 0.05$ ).

Estos resultados indican que las enmiendas utilizadas en este estudio no provocaron un estímulo en la actividad de los microorganismos, aun en los suelos con mayor concentración de CO y Nt.

No obstante, en el otoño de 2001, en el suelo trabajado con *V. sativa*, la actividad de la D duplicó su valor respecto a los otros tratamientos, pero debido a la variabilidad de los resultados esa diferencia no fue significativa. El incremento se puede atribuir a la incorporación de la pastura en el mes de marzo y, dado que esa enzima interviene en la oxidación de la MO de los suelos, su mayor actividad indica una mayor mineralización de la MO agregada (Dick *et al.*, 1996). Este efecto no se observó en el muestreo de primavera, en el cual los valores de la actividad de la D en el tratamiento V son iguales al testigo (T), lo cual podría atribuirse a la inundación invernal. Distintos autores observaron una correlación positiva entre la actividad de la deshidrogenasa y el contenido de MO en suelos cultivables (Nannipieri *et al.*, 1990; Malcomes, 1991). Sin embargo, esto no se observó en el presente trabajo, en los dos períodos estudiados.

**Cuadro 5. Valores medios de la actividad de la catalasa en un suelo tratado con distintas coberturas verdes y cultivado con manzano.**

Tratamiento	2001		2002	
	Otoño	Primavera	Otoño	Primavera
	$\text{mmol H}_2\text{O}_2 \text{ transformada g}^{-1} \text{ min}^{-1}$			
Trébol	24.9 a <sup>†</sup>	25.4 a	29.4 a	21.4 a
Alfalfa + festuca	22.9 a	25.8 a	22.8 b	22.9 a
Vicia	19.3 b	21.9 b	14.5 c	19.9 a
Testigo	14.7 c	18.3 b	13.6 c	19.8 a

<sup>†</sup> Valores con la misma letra, en una columna, son estadísticamente iguales (Tukey,  $\alpha < 0.05$ ).

En los Cuadros 5 y 6 se observa el efecto positivo de los abonos verdes perennes en la actividad de las enzimas catalasa y fosfotriesterasa.

La actividad enzimática varía con el tipo de abonos orgánicos agregados, posiblemente debido a la cantidad de CO incorporado a los suelos (Dinesh *et al.*, 1998).

Se sabe que entre los sistemas de enzimas óxidoreductasas, la catalasa puede usarse como una medida de la actividad biológica, ya que actúa como una enzima intracelular y la actividad remanente fuera de la célula microbiana se asocia con la MO o la sorción sobre los minerales arcillosos (Stotzky, 1974). La actividad de esta enzima, en el 2001 (Cuadro 5), en los suelos con coberturas perennes (Tr y A+F), en ambas estaciones, presentó diferencias significativas, con un incremento superior a 30%, con respecto al tratamiento T. Similar comportamiento se observó en el otoño de 2002, donde los valores en los tratamientos mencionados fueron 2.2 y 1.7 veces mayores que en T. La catalasa correlacionó positivamente con el CO ( $r = 0.52$ ,  $P < 0.05$ ) y Nt ( $r = 0.54$ ,  $\alpha < 0.05$ ); esto coincide con las afirmaciones de García *et al.* (1997), quienes mostraron que esta enzima constituye óxidoreductasas asociadas a la actividad aeróbica del suelo y se relaciona con la fertilidad del mismo.

Con respecto a la actividad de la fosfotriesterasa, en ambos años, los mejores tratamientos fueron Tr y A+F con incrementos superiores a 30%, respecto al T. Los resultados de ambas enzimas coinciden con los obtenidos por Martens *et al.* (1992), quienes, al comparar sistemas de manejo en condiciones de campo, observaron que el uso de leguminosas mejoró la estructura del suelo e incrementó la actividad enzimática, con respecto a un sistema de manejo convencional. La actividad de la P no correlacionó con la concentración de carbono orgánico del suelo.

**Cuadro 6. Valores medios de la actividad fosfotriesterasa en un suelo tratado con distintas coberturas verdes y cultivado con manzano.**

	2001		2002	
	Otoño	Primavera	Otoño	Primavera
	$\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ h}^{-1}$			
Trébol	239.5 a <sup>†</sup>	256.7 a	266.9 a	307.7 a
Alfalfa + festuca	181.0 a	235.9 a	229.0 a	255.6 a
Vicia	161.0 b	172.3 b	170.6 b	206.7 b
Testigo	132.0 b	155.7 b	142.4 b	170.6 b

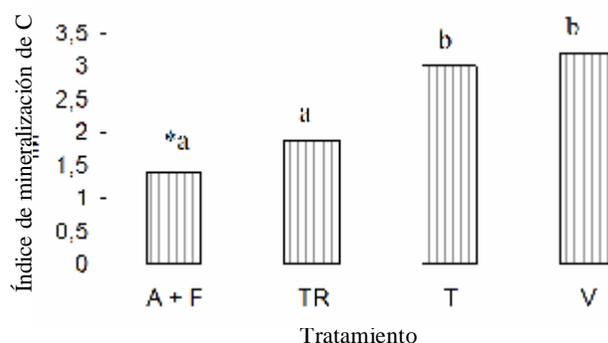
<sup>†</sup> Valores con la misma letra, en una columna, son estadísticamente iguales (Tukey,  $\alpha < 0.05$ ).

En la zona estudiada, la producción frutícola tradicional demanda anualmente el uso de fertilizantes químicos, en especial nitrogenados y micronutrientes, en cantidades altas (Sanchez, 1995). La urea es uno de los fertilizantes más utilizados en los suelos de la región, por ello, la ureasa cumple un papel importante, debido a que su actividad garantiza la producción potencial de amonio.

En el Cuadro 7 se observa que la actividad de la U en el 2001, en ambas estaciones, en los suelos con A+F y Tr, si bien no presenta diferencias significativas, sí tiene un incremento de 30% respecto a T. Estos resultados coinciden con la actividad de la D, donde si bien se evidenció el efecto positivo de ambas enmiendas, las diferencias no fueron significativas. En la primavera de 2002, los resultados obtenidos en Tr y V fueron 3.0 y 3.5 veces mayores que los del tratamiento T. Mc Garity y Myers (1967) enfatizan que la ureasa extracelular es adsorbida en arcillas y MO, por ello, los suelos tienen valores de actividad ureásica que no están necesariamente relacionados en forma directa con los números o las actividades de los organismos ureolíticos viables. Estos efectos podrían motivar los resultados obtenidos, puesto que las enmiendas que aportaron mayor cantidad de MO no permitieron la liberación de la U en los suelos.

Los índices que combinan variables químicas y biológicas son más representativos de la dinámica y el balance de los procesos que ocurren en un suelo (Van Bruggen y Semenov, 2000; Filip, 2002). En consecuencia, en este estudio se utilizó el índice de mineralización de carbono (respiración / MO), cuyos resultados se presentan en la Figura 2.

A semejanza de las otras variables biológicas y químicas analizadas, los suelos sembrados con trébol frutilla y alfalfa + festuca fueron los que presentaron valores más cercanos a 1 (valor que indica un balance



**Figura 2. Índice de mineralización de carbono para los diferentes tratamientos aplicados en un suelo cultivado con manzanos.** A+F = cobertura permanente de alfalfa (*Medicago sativa*) y festuca (*Festuca arundinacea*); Tr = cobertura permanente de trébol frutilla (*Trifolium fragiferum*); V = siembra anual de vicia (*Vicia sativa*); T = testigo, manejo tradicional. \* Letras iguales indican diferencias no significativas (Tukey  $\alpha < 0.05$ ).

equilibrado entre mineralización y humificación del carbono). Los resultados biológicos tienen la misma tendencia que el IM, la actividad microbiana permitiría este balance en los suelos con coberturas perennes. En el suelo testigo y con cobertura de *V. sativa*, el índice se desplazó hacia valores superiores a 2, probablemente a causa de una mayor producción de  $\text{CO}_2$ , en relación con la materia orgánica disponible en el suelo. Estos resultados indican que hay un desequilibrio en el balance de mineralización y humificación, con un gasto de CO del suelo, lo cual afecta la fertilidad y calidad del mismo.

## CONCLUSIONES

- Los resultados indican que la utilización de coberturas vegetales perennes y, en particular, trébol frutilla, incrementó la concentración de carbono orgánico y nitrógeno total, variables que fueron determinantes en la actividad microbiana y enzimática. El carbono de la biomasa microbiana manifestó un efecto positivo en el tratamiento trébol frutilla; la catalasa y fosfotriesterasa en los tratamientos trébol frutilla y alfalfa más festuca.
- El índice de mineralización resultó una variable adecuada para detectar los cambios producidos con las diferentes coberturas; los tratamientos alfalfa más festuca y trébol frutilla mostraron el mejor equilibrio entre mineralización y humificación del carbono.
- Los resultados demuestran que el empleo de coberturas vegetales perennes, en montes frutales, contribuiría a lograr un manejo sustentable en el tiempo en los suelos del Valle Medio del Río Negro, cultivados con manzano bajo riego.

**Cuadro 7. Valores medios de la actividad de la ureasa en un suelo tratado con distintas coberturas verdes y cultivadas con manzano.**

Tratamiento	2001		2002	
	Otoño	Primavera	Otoño	Primavera
	$\mu\text{g}$ de urea hidrolizada $\text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$			
Trébol	89.8 a <sup>†</sup>	91.6 a	38.3 a	199.0 a
Alfalfa + festuca	84.2 a	80.6 a	59.8 a	74.2 b
Vicia	87.5 a	73.3 a	47.0 a	236.6 a
Testigo	59.8 a	65.5 a	39.6 a	68.0 b

<sup>†</sup> Valores con la misma letra, en una columna, son estadísticamente iguales (Tukey,  $\alpha < 0.05$ ).

## AGRADECIMIENTOS

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

## LITERATURA CITADA

- Anderson, J. P. E. and K. H. Domsch. 1978. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biol. Biochem.* 10: 215-221.
- Arshad, M. and S. Martin. 2002. Identifying critical limits for soil quality indicators in agroecosystems. *Agric. Ecosyst. Environ.* 88: 153-160.
- Beyer, L., C. Wachendorf, D. C. Elsner, and R. Knabe. 1993. Suitability of the dehydrogenase activity assay as an index of soil biological activity. *Soil Biol. Biochem.* 16: 52-56.
- Bezdicsek, D. F., R. I. Papendick, and R. Lal. 1996. Introduction: importance of soil quality to health and sustainable land management. pp. 1-8. *In: J. W. Doran and A. J. Jones (eds.). Methods for assessing soil quality. Special Publication 49. Soil Science Society of America. Madison, WI, USA.*
- Blume, E., M. Bischoff, J. M. Reichert, T. Moorman, A. Konopka, and R. F. Turco. 2002. Surface and subsurface microbial biomass, community structure and metabolic activity as a function of soil depth and season. *Appl. Soil Ecol.* 20: 171-181.
- Bolton Jr., H., L. F. Elliott, R. I. Papendick, and L. Bezdicsek. 1985. Soil microbial biomass and selected soil enzyme activities: effect of fertilization and cropping practices. *Soil Biol. Biochem.* 8: 167-177.
- Casida Jr., L. E., D. A. Klein, and T. Santoro. 1964. Soil dehydrogenase activity. *Soil Sci.* 98: 371-376.
- Cihacek, L. J., W. L. Anderson, and A. W. Barak. 1996. Linkages between soil quality and plant, animal and human health. pp. 9-23. *In: J. W. Doran and A. J. Jones (eds.). Methods for assessing soil quality. Special Publication 49. Soil Science Society of America. Madison, WI, USA.*
- Consorcio Iconas Latinoconsult. 1991. Estudio para el aprovechamiento integral del río Negro, Argentina. Etapa II. Informe Edafológico. Consorcio Iconas Latinoconsult. Buenos Aires, Argentina.
- Díaz-Ravina, M., M. J. Acea, and T. Caballas. 1995. Seasonal changes in microbial biomass and nutrient flush in forest soils. *Biol. Fertil. Soils* 19: 220-226.
- Dick, R. O., D. P. Breakwell, and R. F. Turco. 1996. Soil enzyme activities and biodiversity measurements as integrative microbiological indicators. pp. 247-271. *In: J. W. Doran and A. J. Jones (eds.). Methods for assessing soil quality. Special Publication 49. Soil Science Society of America. Madison, WI, USA.*
- Dinesh, R., P. Dubey, and G. Shyam. 1998. Soil microbial biomass and enzyme activities as influenced by organic manure incorporation into soil of a rice-rice system. *Agron. J.* 181: 173178.
- Dirección Provincial de Aguas. 1995. Informe Técnico Meteorológico. Series Históricas. Valores estadísticos. Dirección Provincial de Aguas. Río Negro, Argentina.
- Dommergues, Y. 1960. La notion de coefficient minéralization du carbone dans les sols. *Agron. Trop.* 15: 53-59.
- Eivazi, F. and M. A. Tabatabai. 1977. Phosphatases in soil. *Soil Biol. Biochem.* 9: 167-172.
- Filip, Z. K. 2002. International approach to assessing soil quality by ecological parameters. *Agric. Ecosyst. Environ.* 88: 169-174.
- Frankenberger, W. T. and W. A. Dick. 1983. Relationships between enzyme activities and microbial growth and activity indices in soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47: 945-951.
- García, C., T. Hernández, F. Costa, and B. Ceccanti. 1994. Biochemical parameters in soil regenerated by the addition of organic wastes. *Waste Manage. Res.* 12: 457-466.
- García, C., T. Hernández, E. Roldán, and J. Albaladejo. 1997. Biological and biochemical quality of a semiarid soil after induced revegetation. *J. Environ. Qual.* 26: 1116-1122.
- Granatstein, D. 2000. Tree fruit production with organic farming methods. <http://organic.tfrec.wsu.edu/OrganicIFP/OrganicFruitProduction/Index.html>. (Consulta: mayo 30, 2001).
- Jackson, M. L. 1982. Análisis químicos de suelos. Trad. al español por J. M. Beltrán. Omega. Barcelona, España.
- Johnson, J. L. and K. L. Temple. 1964. Some variables affecting the measurement of catalase activity in soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 28: 207-209.
- Lal, R. 1998. Land use and soil management effects on soil organic carbon dynamics on Alfisols in Western Nigeria. pp. 109-126. *In: R. Lal, J. M. Kimble, R. F. Follet, and B. A. Stewart (eds.). Soil processes and carbon cycle. CRC Press. Boca Raton, FL, USA.*
- Malcomes, H. P. 1991. Existing alternative test to measure side-effects of pesticides on soil microorganisms: dehydrogenase activity. *Toxicol. Environ. Chem.* 30: 167-176.
- Martens, D. A., J. B. Johanson, and W. T. Frankenberger Jr. 1992. Production and persistence of soil enzymes with repeated addition of organic residues. *Soil Sci.* 153: 53-61.
- Mc Garity, J. W. and M. G. Myers. 1967. A survey of urease activity in soils of Northern New South Wales. *Plant Soil* 27: 217-238.
- Nannipieri, P., S. Grego, and B. Ceccanti. 1990. Ecological significance of the biological activity in soil. pp. 293-355. *In: J. M. Bollag and G. Stotzky (eds.). Soil biochemistry. Volume 6. Marcel Dekker. New York, NY, USA.*
- Öhlinger, R. 1996. Soil respiration by titration. pp. 95-98. *In: F. Schinner, R. Öhlinger, E. Kandeler, and R. Margesin (eds.). Methods in soil biology. Springer-Verlag. Berlin, Germany.*
- Perucci, P., L. Scarapioni, and M. Businelli. 1984. Enzyme activities in a clay-loam soil amended with various crop residues. *Plant Soil* 81: 345-351.
- Rice, C. W., T. B. Moorman, and M. Beare. 1996. Role of microbial biomass carbon and nitrogen in soil quality. pp. 203-217. *In: J. W. Doran and A. J. Jones (eds.). Methods for assessing soil quality. Special Publication 49. Soil Science Society of America. Madison, WI, USA.*
- Ritz, K., R. E. Wheatley, and B. S. Griffiths. 1997. Effects of animal manure application and crop plants upon size and activity of soil microbial biomass under organically grown spring barley. *Biol. Fertil. Soils* 24: 372-377.
- Sanchez, E. 1995. Managing micronutrients in apples and pears. *Proc. Oregon Hort. Soc.* 86: 62-67.
- SAS Institute. 1991. SAS/STAT User's guide. Versión 6. 4<sup>th</sup> ed. Vol. 1 and 2. SAS Institute. Cary, NC, USA.

- Singh, Y., B. Singh, and C. S. Khind. 1992. Nutrient transformations in soils amended with green manures. *Adv. Soil Sci.* 20: 237-309.
- Soil Survey Staff. 1998. *Keys to Soil Taxonomy*. 8<sup>th</sup> ed. US Department of Agriculture. Pocahontas Press. Blacksburg, VA, USA.
- Speir, T. W. and D. J. Ross. 1978. Soil phosphatase and sulphatase. pp. 195-250. *In*: R. G. Burns (ed.). *Soil enzymes*. Academic Press. New York, NY, USA.
- Stotzky, G. 1974. Activity, ecology and population dynamics of microorganisms in soil. pp. 57-135. *In*: A. Laskin and H. Lechevalier (eds.). *Microbial ecology*. CRC Press. Cleveland, OH, USA.
- Tabatabai, M. A. 1994. Soil enzymes. pp. 775-833. *In*: R. W. Weaver, J. S. Angle, and P. S. Bottomley (eds.). *Methods of soil analysis. Part 2. Microbiological and biochemical properties*. SSSA Book Series 5. Soil Science Society of America. Madison, WI, USA.
- Tabatabai, M. A. and J. M. Bremner. 1969. Use of *p*-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. *Soil Biol. Biochem.* 1: 301-307.
- Van Bruggen, A. H. C and A. M. Semenov. 2000. In search of biological indicators for soil health and disease suppression. *Appl. Soil Ecol.* 15: 13-24.
- Zuberer, D. A. 1994. Recovery and enumeration of viable bacteria. pp. 119-144. *In*: R. W. Weaver, J. S. Angle, and P. S. Bottomley (eds.). *Methods of soil analysis. Part 2. Microbiological and biochemical properties*. Book Series 5. Soil Science Society of America. Madison, WI, USA.