

# CAMBIOS BIOLÓGICOS EN SUELOS FERTILIZADOS CON NITRÓGENO CULTIVADOS CON MANZANO EN EL ALTO VALLE DE RÍO NEGRO

PERLA GILI; CRISTINA ARUANI; PABLO REEB & ELIZABETH AUN

Universidad Nacional del Comahue (UNCo), Facultad de Ciencias Agrarias, CP 8303, Cinco Saltos, Río Negro, Argentina.  
Correo electrónico: pgili@jetband.com.ar

Recibido: 11-11-08

Aceptado: 19-08-09

## RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de la fertilización nitrogenada, en diferentes momentos del ciclo productivo del manzano, sobre el tamaño de la población microbiana del suelo, sobre el carbono de la biomasa microbiana y la actividad enzimática y su relación con algunas propiedades edáficas. Se ensayaron dos dosis de nitrógeno, aplicadas como nitrato de amonio en dos momentos: el 50% a caída de los pétalos (octubre) y el 50% restante cercano a la cosecha (marzo), correspondiendo a dosis de 100 ( $N_1$ ) y 200 ( $N_2$ ) kg ha<sup>-1</sup> y un testigo sin agregado de N ( $N_0$ ), durante los periodos 2005-2006 y 2006-2007. Se muestreó el suelo antes y después de cada fertilización. Se determinó: nitrato, nitrógeno total, carbono orgánico, carbono de la biomasa microbiana, actividad de la deshidrogenasa y catalasa. Se calcularon los índices de mineralización del carbono, proporción del carbono orgánico como carbono de la biomasa microbiana y cociente metabólico. El nitrógeno incorporado al suelo aumentó significativamente el contenido de nitratos en primavera y otoño, en ambas temporadas, y ejerció sobre la biota un comportamiento diferencial según el estado fenológico de las plantas de manzano. En la temporada 2005-2006, la actividad biológica, medida a través del carbono de la biomasa microbiana, respiración microbiana y deshidrogenasa, se incrementó significativamente con la fertilización de octubre. En la temporada 2006-2007 no se manifestó efecto de la fertilización nitrogenada. La dosis más elevada de nitrógeno ( $N_2$ ) no tuvo diferencias con respecto a ( $N_1$ ) en los resultados químicos y biológicos. Las prácticas de manejo en manzanos, fertilización y poda, generaron cambios en las variables biológicas.

**Palabras clave.** Fertilización nitrogenada, Indicadores biológicos, Manzano.

## BIOLOGICAL CHANGES IN NITROGEN FERTILIZED SOIL OF APPLE ORCHARDS IN THE ALTO VALLE OF RIO NEGRO

### ABSTRACT

The aim of this study was to determine the effect of nitrogen application at different moments during the apple crop cycle on the population of soil microorganisms in terms of microbial biomass carbon, enzymatic activity and edaphic properties. Nitrate content, total nitrogen, organic carbon, microbial biomass carbon, deshydrogenase and catalase activity were determined and the carbon mineralization index, the proportion of microbial biomass carbon in organic carbon and the metabolic coefficient ( $qCO_2$ ) were calculated. Nitrogen was applied as ammonium nitrate ( $NH_4NO_3$ ) at two rates, 100 ( $N_1$ ) and 200 kg N ha<sup>-1</sup> ( $N_2$ ), and on two times, 50% at petal fall (October) and the rest at harvest (March), and the results compared with a control treatment without N ( $N_0$ ). The experiment was repeated over two growing seasons, 2005-2006 and 2006-2007. Soil samples were taken before and after each fertilization. Nitrogen addition had differential effects on soils chemical and biological properties depending on the season and plant phenology. In autumn and spring, soil nitrates ( $NO_3^-$ ) increased significantly and soil biota was modified during both growing seasons. In the 2005-2006 season, spring nitrogen additions increased soil biota activity in terms of C-BM, RE and Dh-asa; whereas in the second growing season, 2006-2007, nitrogen addition had no effect on soil chemical and biological properties. Soil biological activity was affected by orchard management practices, fertilization and pruning.

**Key words.** Nitrogen fertilization, Biological indicators, Apple.

## INTRODUCCIÓN

En el Valle del Río Negro y Neuquén se produce el 85% del cultivo de manzana del país, siendo una actividad muy importante ya que las exportaciones de manzanas y peras representan el 79% del valor de las exportaciones argentinas de frutas frescas. Los números prece-

dentos indican una aparente dependencia económica de la región del Alto Valle con la fruticultura, la cual es la principal actividad económica regional. El uso de fertilizantes nitrogenados es uno de los insumos más importantes en la producción frutícola dado que estos suelos son pobres en materia orgánica (MO) y nutrientes. La utilización racional del suelo implica la preservación de la MO

y de la microflora asociada para no deteriorar la estructura y la capacidad de regular la disponibilidad de macro y micronutrientes (Stevenson & Cole, 1999).

La productividad y sustentabilidad de los ecosistemas dependen de la capacidad de los suelos de funcionar como un sistema diverso y resiliente, soportar una productividad primaria y secundaria neta sostenible y proteger la calidad del ambiente. Este concepto involucra a las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Harris & Bezdicek, 1994). Los procesos de descomposición son llevados a cabo por los microorganismos edáficos, por ello, las actividades biológicas del suelo resultan de importancia fundamental para entender las modificaciones que se producen a causa de la deposición superficial de los residuos (Lupwayi *et al.*, 1998; Abril, 2003), aplicación de fertilizantes y prácticas de manejo. Lal (1998) y Arshad & Martín (2002) indican que los parámetros biológicos, en períodos cortos de tiempo, son más sensibles a un cambio en el manejo que el contenido de MO de un suelo, ya que esta varía muy lentamente y sólo es posible detectar los cambios en el largo plazo. Estudios relacionados con la aplicación de fertilizantes de nitrógeno inorgánico, muestran efectos significativos sobre los microorganismos y enzimas en suelos con plantas superiores y residuos de cultivos (Klose & Tabatabai, 2000). Algunos autores sugieren que la combinación de diferentes variables, carbono de la biomasa microbiana y carbono orgánico total (C-BM/COT), permiten interpretar la dinámica de los procesos metabólicos de la biota del suelo (Filip, 2002). Dicha relación es mayor cuando hay disponibilidad de sustrato de fácil descomposición.

Por lo expuesto, la hipótesis del trabajo fue que la fertilización nitrogenada produce un incremento en la actividad biológica y enzimática del suelo. En tal sentido, el objetivo fue determinar el efecto de distintas dosis de fertilizante nitrogenado, aplicado en diferentes momentos del ciclo productivo del manzano, sobre el tamaño de la población de microorganismos del suelo, medido como carbono de la biomasa microbiana y la actividad enzimática, y su relación con algunas propiedades edáficas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en un monte con manzanos (*Malus domestica* Borck) cultivar *Red Delicious*, de 15 años, ubicado en la localidad de Cinco Saltos provincia de Río Negro entre las coordenadas 38° 56' S y 57° 59' O. La distancia de plantación fue de 2,7 m entre plantas y 3,7 m entre filas, el monte no fue fertilizado durante los seis años previos al estudio.

El material originario de los suelos es aluvial, pertenecen al orden Aridisol, clasificados como Haplocambides típicos (Soil

Survey Staff, 1996) y están ubicados en la terraza aluvial sub-reciente. El régimen de humedad corresponde al árido y el de temperatura estérnico, lo que refleja condiciones de déficit hídrico durante todo el año, siendo máxima la temperatura durante el verano. Estos suelos solamente son cultivables con riego.

La parcela de estudio estaba compuesta de nueve filas, en las cuales los tratamientos fueron ubicados en un diseño completamente aleatorizado, tomando una hilera para cada tratamiento, es decir, tres repeticiones por tratamiento. Los tratamientos de fertilización fueron dos dosis de nitrato de amonio, 100 (N<sub>1</sub>) y 200 kg N ha<sup>-1</sup> (N<sub>2</sub>), aplicados en dos momentos: la mitad de la dosis en caída de pétalo (5 de octubre) y la siguiente próxima a la cosecha (18 de marzo), y un testigo sin fertilizar (N<sub>0</sub>). Los ensayos se realizaron durante las temporadas 2005-2006 y 2006-2007. En ambos ciclos, se extrajeron muestras (seis sub-muestras) de suelo a 0-30 cm de profundidad en diferentes momentos del ciclo fenológico, comenzando al inicio de floración antes de fertilizar (septiembre), entre 25 a 30 días posteriores a la primera y segunda dosis de fertilización (octubre y abril, respectivamente). Se determinó la concentración de nitratos, con la humedad del suelo en el momento de la extracción, con un equipo de medición rápida (Merck reflectoquant), que expresa el resultado directamente en mg kg<sup>-1</sup> de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, el valor obtenido se expresó en suelo seco a estufa. Además, se extrajeron muestras de suelo de 0-15 cm en el mismo momento que la anterior con el propósito de medir variables químicas y biológicas. Las muestras de suelos fueron secadas al aire, en el laboratorio, y tamizadas por malla de 2 mm. Las variables químicas analizadas fueron las siguientes: nitrógeno total (Nt) y carbono orgánico total (COT), mediante el método de Jackson, 1982. Las variables biológicas fueron respiración microbiana (RE) (mg CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup>), por incubación de 10 g de suelo a 28 °C durante 10 días determinando el CO<sub>2</sub> capturado en NaOH 0,1 M, titulando con HCl 0,1 M (Weaver *et al.*, 1994); carbono de la biomasa microbiana (C-BM) (mg C 100 g<sup>-1</sup> suelo), utilizando el método de la respiración inducida por sustrato (SIR) (Anderson & Domsch, 1978; Öhlinger, 1996). Se incubó a 24 °C, los resultados del contenido de C de la biomasa microbiana por gramo de suelo seco (105°C) se calcularon aplicando la siguiente ecuación: Peso C-BM (mg C 100 g<sup>-1</sup>) = 40,04 y + 0,37, donde y = tasa de producción de CO<sub>2</sub> (mL CO<sub>2</sub> 100g<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>) = (B-S) N 22 100 0,515/ sse t, donde B: volumen de HCl consumido por el blanco (mL), S: volumen de HCl consumido por el suelo (mL), N: normalidad del HCl, 22: factor de conversión (1 meq CO<sub>2</sub> = 22 mg CO<sub>2</sub>), 100: factor de conversión para expresar el resultado cada 100 g de suelo seco, 0,515: factor de conversión (0,515 mL CO<sub>2</sub> = 1 mg CO<sub>2</sub>), sse: peso del suelo seco a estufa, t: tiempo de incubación; actividad deshidrogenasa (Dh-asa) por reducción de 2,3,5 cloruro de trifetil tetrazolio (TTC) a trifetil formazan (TPF) (µg TPF g<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>) y detectada por espectrofotometría (Weaver *et al.*, 1994) y actividad catalasa (C) (Jonson & Temple, 1964), (µmol H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> transformada g<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup>), basada en la descomposición del peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), a la muestra de suelo se le agregó H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 10 V, se agitó y se añadió SO<sub>4</sub>H<sub>2</sub>, se filtró y el remanente de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> se tituló con KMnO<sub>4</sub>. Se calcularon, el cociente metabólico (qCO<sub>2</sub>) (Frioni, 1999, Paul & Clark, 1996) como cociente entre RE y C-BM; el índice de mineralización del carbono (IM) como cociente entre RE y materia orgánica (Abril & Bucher, 2001); proporción de carbono de la biomasa microbiana del carbono orgánico total del suelo, cociente entre C-BM y COT (Carter, 1991). Los análisis químicos y biológicos se realizaron por triplicado.

La relación entre las variables medidas se estudió y resumió a través del análisis de componentes principales (CP) (Peña, 2002). El diseño estadístico fue una experiencia factorial con diseño completamente aleatorizado y los factores dosis de nitrógeno, fecha de muestreo (setiembre, octubre y abril) y temporadas (2005-2006 y 2006-2007). A las CP que resumieron la información se realizó un análisis de varianza contemplando la correlación en el tiempo. Se utilizó el test DGC (Di Rienzo, 2002) para discriminación de medias cuando los efectos fueron significativos, con un nivel de significancia del 0,05.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las concentraciones, al comienzo del ensayo, de COT y Nt fueron de  $20 \text{ g kg}^{-1}$  y  $1,7 \text{ g kg}^{-1}$  respectivamente, estas magnitudes se consideran medias a altas para la región del Alto Valle del Río Negro. La relación C/N de la materia orgánica del suelo fue de 12.

En la Figura 1 se presentan las variables en el plano principal. Las variables de mayor contribución en la formación de la CP1 fueron C-BM, RE, Dh-asa y los índices IM y C-BM/COT. La variable C y el cociente  $q\text{CO}_2$  fueron las de mayor importancia en la CP2 y la variable nitratos en la CP3.

Las tres componentes explican el 84,4% de la inercia total, la variación de la información explicada por la CP1, CP2 y CP3 fue de 52, 19 y 13%, respectivamente. La correlación entre las CP y las variables se describen en la Tabla 1.

El análisis de la varianza de las variables de la CP1 presentó diferencias significativas entre temporadas, tratamientos de fertilización y fechas de muestreo ( $p=0,022$ ). En la Tabla 2 se consignan los valores medios de las variables de la CP1. En la primera temporada se observa que la relación C-BM/COT, que indica la proporción del carbono orgánico como biomasa microbiana, presentó los

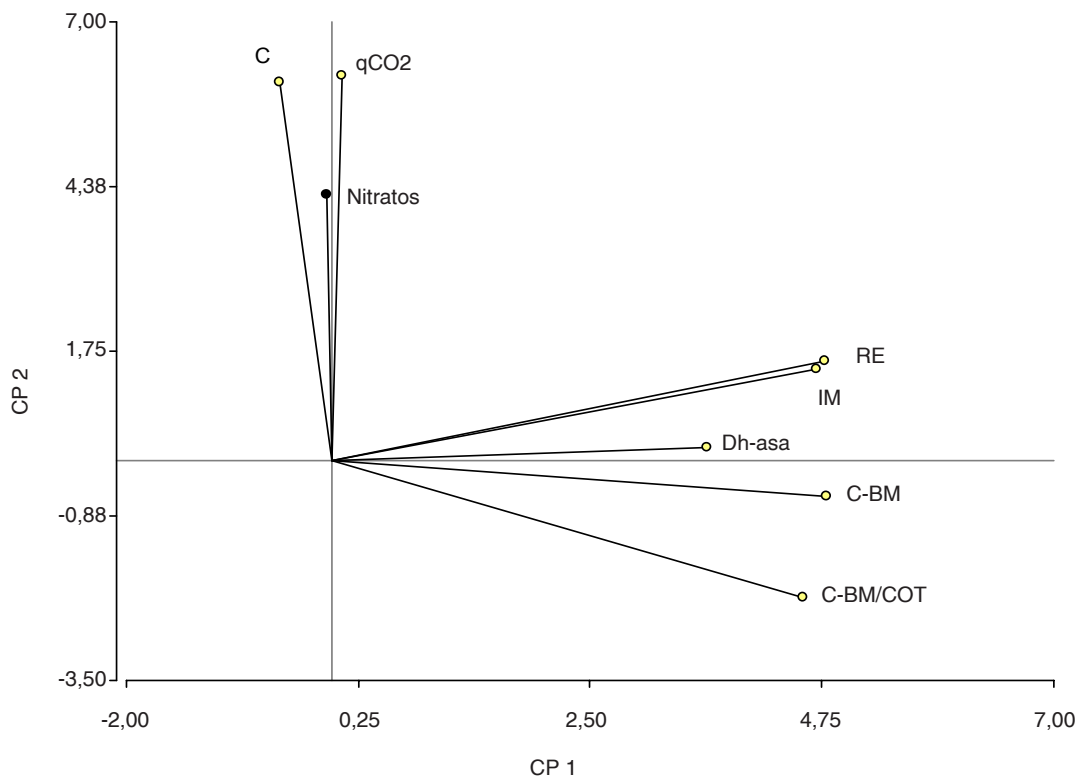


Figura 1. Representación de las variables biológicas y químicas en el plano principal.

Figure 1. Representation of biological and chemical variables in the principal plane

C-BM: carbono de la biomasa microbiana; C: catalasa; DH-asa: deshidrogenasa; RE; respiración; IM: índice de mineralización;  $q\text{CO}_2$ : cociente metabólico; COT: carbono orgánico total; C-BM/COT: relación carbono de la biomasa microbiana y carbono orgánico total.

Tabla 1. Coeficientes de correlación (r) entre las componentes principales y las variables biológicas y químicas.

Table 1. Correlation coefficients between principal components (CP) and biological and chemical variables.

Variabes	CP 1	CP 2	CP 3
C-BM	<b>0,97</b>	-0,07	0,11
C	-0,10	<b>0,74</b>	0,20
Dh-asa	<b>0,73</b>	0,03	0,10
RE	<b>0,96</b>	0,20	-0,09
Nitratos	-0,01	<b>0,52</b>	<b>0,74</b>
IM	<b>0,95</b>	0,18	-0,18
C-BM/COT	<b>0,92</b>	-0,27	0,13
qCO <sub>2</sub>	0,02	<b>0,75</b>	-0,59

C-BM: carbono de la biomasa microbiana; C: catalasa; Dh-asa: deshidrogenasa; RE: respiración; IM: índice de mineralización; C-BM/COT: relación carbono de la biomasa microbiana y carbono orgánico total; qCO<sub>2</sub>: cociente metabólico.

valores más elevados en octubre en los suelos tratados con N en la temporada 2005-2006. Este resultado puede atribuirse a una mejor relación C/N que favoreció la descomposición de sustratos fácilmente degradables. El IM también presentó el mismo comportamiento, a causa de una mayor producción de CO<sub>2</sub> en relación con el contenido de materia orgánica disponible. En otoño, los valores de este índice descendieron y fueron semejantes a los del suelo testigo sin fertilizar.

En la temporada 2006-2007 en otoño, en los suelos fertilizados el IM fue ligeramente mayor a 1, indicando el equilibrio entre mineralización y humificación del carbono.

En relación a la Dh-asa, en el período 2005-2006, las diferencias fueron significativas en N<sub>2</sub> y N<sub>1</sub> respecto a N<sub>0</sub> como consecuencia de una mayor disponibilidad de nitrógeno para los microorganismos del suelo. Dado que las enzimas deshidrogenasas son parte integral de los microorganismos y el C-BM indica su cantidad, estos resultados muestran que la temperatura y la fertilización permitieron una mayor expresión de la biota del suelo.

En las variables de la CP1 analizadas se observó que en las parcelas fertilizadas ambas dosis mostraron igual comportamiento, posiblemente el exceso de nitratos con el tratamiento N<sub>2</sub> favoreció el lixiviado y por ello no se manifestó una mayor actividad biológica en dicho tratamiento. Estos resultados fueron observados por Aruani *et al.* (2007), quienes analizaron la dinámica de los nitratos en el perfil del suelo y concluyeron que es necesario mejorar la eficiencia de riego, principalmente durante la primavera, para asegurar mayor absorción de los nitratos

por parte de los frutales y evitar las pérdidas de nitratos por lixiviación.

Al realizar el análisis de la varianza de las variables de la CP2 se obtuvo diferencias significativas entre temporadas y fechas de muestreo (p=0,0001). El efecto tratamiento no fue significativo (p=0,52). La catalasa, enzima considerada como indicadora de la actividad microbiana de los microorganismos aerobios (Rodríguez-Kabana & Truelove, 1982) presentó resultados homogéneos entre las fechas de muestreo en la primera temporada, mientras que en la segunda el comportamiento fue diferente mostrando efecto significativo en octubre (Tabla 3).

Los valores promedios obtenidos del cociente metabólico (qCO<sub>2</sub>) fueron de 0,05, en los suelos fertilizados y sin fertilizar. De acuerdo a los resultados obtenidos en suelos forestales por Anderson & Domsch (1993), que presentan similitudes con los suelos estudiados, este valor determina que el monte de manzano podría ser un ecosistema estable y maduro dado que la relación entre la respiración total y la biomasa total disminuye hasta que el ecosistema alcanza el estado de equilibrio o estabilidad. Este índice se relaciona con la hipótesis de optimización energética en ecosistemas en desarrollo, derivada de la teoría ecológica de Odum (1985) sobre la sucesión de los ecosistemas y la eficiencia metabólica de la microflora edáfica.

Del análisis de la varianza de la CP3 se obtuvieron diferencias entre fechas de muestreo y tratamientos de fertilización (p=0,061). No se obtuvo diferencia entre temporadas.

Tabla 2. Valores medios de las variables de la CPI en los diferentes tratamientos y fechas de muestreos. Temporadas 2005-2006 y 2006-2007. Valores seguidos por la misma letra no presentan diferencias significativas entre columnas (Test de DGC  $P < 0,05$ ).  
 Table 2. Mean values of CPI variables for the different sampling dates and treatments. 2005-2006 and 2006-2007 seasons. Values followed by the same letter indicate no significant differences between columns (DGC test,  $P < 0,05$ ).

Tratamientos	Temporada 2005-2006														
	C-BM (mg C 100 g <sup>-1</sup> ss)			Dh-asa ( $\mu$ 2,3,5 TPF g <sup>-1</sup> )			RE (mg C 100 g <sup>-1</sup> ss)			C-BM/COT			IM		
	Set	Oct	Abr	Set	Oct	Abr	Set	Oct	Abr	Set	Oct	Abr	Set	Oct	Abr
N <sub>0</sub>	200,5 c	216,8 c	193,1 c	2,5 c	2,6 c	2,0 c	9,7 c	10,5 c	9,3 c	9,8 c	10,6 c	9,5 c	2,8 c	3,0 c	2,7 c
N <sub>1</sub>	185,9 c	265,7 a	212,4 c	2,3 c	3,7 a	2,7 c	9,0 c	12,9 a	10,3 c	9,8 c	14,1 a	11,2 c	2,8 c	3,9 a	3,2 c
N <sub>2</sub>	192,1 c	311,9 a	181,1 c	2,7 c	4,8 a	2,2 c	9,3 c	15,1 a	8,8 c	9,2 c	15,1 a	8,7 c	2,6 c	4,2 a	2,4 c
	Temporada 2006-2007														
N <sub>0</sub>	184,1 c	158,4 c	101,1 b	3,7 c	2,4 c	0,9 b	8,9 c	7,7 c	4,8 b	9,0 c	7,7 c	4,9 b	2,5 c	2,2 c	3,4 a
N <sub>1</sub>	222,2 c	147,9 c	99,6 b	4,0 c	4,0 c	1,9 b	10,8 c	7,1 c	4,8 b	11,8 c	7,0 c	5,3 b	3,3 c	2,2 c	1,5 b
N <sub>2</sub>	235,8 c	219,7 c	97,6 b	3,2 c	3,3 c	1,2 b	11,4 c	10,6 c	4,7 b	11,3 c	10,6 c	4,7 b	3,2 c	3 c	1,3 b

N<sub>0</sub>: Sin fertilizar; N<sub>1</sub>: 100 kg N ha<sup>-1</sup>; N<sub>2</sub>: 200 kg N ha<sup>-1</sup>

C-BM: carbono de la biomasa microbiana; Dh-asa: deshidrogenasa; RE: respiración; C-BM/COT: relación carbono de la biomasa microbiana y carbono orgánico total; IM: índice de mineralización.

Tabla 3. Valores medios de las variables de la CP2 en las diferentes fechas de muestreos y tratamientos. Valores seguidos por la misma letra no presentan diferencias significativas entre filas (Test de DGC  $P < 0,05$ ).

Table 3. Mean values of CP2 variables for the different sampling dates and treatments. Values followed by the same letter indicate no significant differences between rows (DGC test,  $P < 0.05$ ).

Temporadas	Catalasa ( $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2$ transformada $\text{g}^{-1}$ )			$q\text{CO}_2$		
	Septiembre	Octubre	Abril	Septiembre	Octubre	Abril
2005-2006	17,9 a	18,7 a	17,6 a	0,048 a	0,048 a	0,048 a
2006-2007	20,7 b	25,9 c	19,9 b	0,048 b	0,053 b	0,047 b

$q\text{CO}_2$ : cociente metabólico.

En septiembre el contenido de  $\text{NO}_3^-$  no mostró diferencias entre los tratamientos. En octubre y en abril se observó un incremento muy significativo en la concentración de  $\text{NO}_3^-$  en los tratamientos  $\text{N}_2$  y  $\text{N}_1$  con respecto a  $\text{N}_0$  y significativo entre  $\text{N}_2$  y  $\text{N}_1$ . La fertilización de otoño es aplicada cuando las hojas aún mantienen su actividad fotosintética y parte del nitrógeno absorbido se dirige a los órganos de reserva (ramas y raíces) (Sánchez, 1999), o es consumido por la microfauna del suelo.

En la temporada 2005-2006 los resultados biológicos mostraron un comportamiento diferencial asociado a los estados fenológicos de las plantaciones de manzano. Durante los meses de primavera el monte frutal aumenta su biomasa en forma paulatina, aportando necromasa aérea y exudados radiculares en forma continua. Además, el efecto de la temperatura y la fertilización estimulan las poblaciones microbianas que metabolizan materiales de más fácil descomposición (Loveland & Webb, 2003). La mayor disponibilidad de nitrógeno para los microorganismos del suelo en octubre (Tabla 4) permitió un incremento de las variables de la CP1 como consecuencia de

una mayor disponibilidad de este nutriente. Sin embargo, ésta situación no se manifestó de la misma manera en la temporada 2006-2007, posiblemente debido a que en el monte frutal se realizó una poda severa que minimizó el crecimiento de madera improductiva para la próxima temporada (Arjona & Santonini, 2007). Las hojas por su activa fotosíntesis son la fuente más importante de los fotoasimilados, no obstante, en los primeros estadios de desarrollo actúan como destino de manera similar que las raíces y frutos. En el inicio de brotación, tanto el crecimiento de los ápices vegetativos como los primordios radiculares se producen a expensas de los fotoasimilados acumulados el año anterior. Probablemente las reservas de madera para la brotación (disminuidas por la poda) en la temporada 2006-2007 fueron destinadas al crecimiento vegetativo más que al crecimiento radicular, estableciendo competencia con los fotoasimilados destinados a la raíz (Sánchez, 1999). Esta situación hace que las raíces liberen al suelo menor cantidad de exudados que incluyen compuestos de alto y bajo peso molecular (Hawest *et al.*, 2003). Uren (2007) realizó estimaciones

Tabla 4. Valores medios de nitratos ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en las diferentes fechas de muestreo y tratamientos de fertilización. Valores seguidos por la misma letra no presentan diferencias significativas entre columnas (Test de DGC  $P < 0,05$ ).

Table 4. Mean nitrate content ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) for the different sampling dates and treatments. Values followed by the same letter indicate no significant differences between columns (DGC test,  $P < 0.05$ ).

Tratamientos	Nitratos ( $\text{mg kg}^{-1}$ )		
	Septiembre	Octubre	Abril
$\text{N}_0$	36,9 c	29,5 c	17,6 c
$\text{N}_1$	31,8 c	116,2 b	102,2 b
$\text{N}_2$	46,2 c	221,5 a	220,6 a

$\text{N}_0$ : Sin fertilizar;  $\text{N}_1$ : 100  $\text{kg N ha}^{-1}$ ;  $\text{N}_2$ : 200  $\text{kg N ha}^{-1}$

del carbono fijado por plantas que crecen a campo y calculó que el 50% del carbono fijado por las plantas es respirado por las raíces como CO<sub>2</sub> y 10% es liberado como resto de raíces. Estos valores dependen de la especie, cultivar, condiciones ambientales, edad de la planta, propiedades del suelo, entre otros factores. Las sustancias liberadas, desde las raíces al suelo, como carbono soluble estimulan la actividad microbiana en la rizósfera del suelo (Valè *et al.*, 2005) y produce generalmente un incremento significativo en el C-BM y Dh-asa. Este efecto no se observó en el ciclo 2006-2007, como consecuencia de la práctica de la poda y por ello los valores de las variables de la CPI en la segunda temporada fueron menores.

En ambas temporadas, los resultados biológicos muestran que la fertilización en otoño (Tabla 2) no ejerció el mismo efecto que la que se realizó en octubre. Esto se atribuye a que en primavera las plantaciones de manzanos finalizan la etapa de dormancia y las condiciones metabólicas y hormonales promueven un activo crecimiento. En cambio, en otoño el cultivo entra en estado de reposo vegetativo debido a la acción de inhibidores internos que promueven la disminución del metabolismo, incidiendo estos factores en la proliferación microbiana. Por ello, las variables de la CPI disminuyeron y aún más en la segunda temporada a pesar que después de la fertilización de abril el contenido de nitratos fue mayor en el tratamiento N<sub>2</sub> (Tabla 4).

Si bien 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), es difícil interpretar los resultados de esta enzima en el presente estudio, no se comportó como el C-BM o Dh-asa.

## CONCLUSIÓN

El nitrógeno incorporado al suelo ejerce sobre la biota un comportamiento diferencial según el estado fenológico de las plantas de manzano. En primavera se intensifica la actividad metabólica del frutal y aumenta la actividad biológica del suelo. En otoño el menor aporte de sustancias energéticas al suelo afecta la actividad microbiana.

La dosis más elevada de nitrógeno (N<sub>2</sub>) no tuvo diferencias con respecto a (N<sub>1</sub>) en los resultados químicos y biológicos, la utilización de la menor dosis de fertilizante permitiría que el sistema sea sustentable ecológicamente. Una poda severa cambia la actividad metabólica en el frutal, afectando a los microorganismos del suelo.

## AGRADECIMIENTO

Este trabajo fue financiado por la Secretaría de Investigación de la Universidad Nacional del Comahue.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abril, A & EH Bucher. 2001. Overgrazing and soil carbon dynamics in the Western Chaco of Argentina. *Apple Soil Ecol.* 16: 243-249.
- Abril, A. 2003. ¿Son los microorganismos edáficos buenos indicadores de impacto productivo en los ecosistemas? *Ecología Austral* 13: 195-204.
- Anderson, JPE & KH Domsch. 1978. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biol. Biochem.* 10: 215-221.
- Anderson, JPE & KH Domsch. 1993. The metabolic quotient for CO<sub>2</sub> (qCO<sub>2</sub>) as a specific activity parameters to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. *Soil Biol. Biochem.* 25: 393-395.
- Arjona, C & L Santinoni. 2007. Poda de árboles frutales. 7 Pp. 245-282. *En: Sozzi, G (ed.). Árboles frutales. Ecofisiología, cultivo y aprovechamiento.* Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina. 805 pp.
- Arshad, M & S Martin. 2002. Identifying critical limits for soil quality indicators in agroecosystems. *Agric. Ecosyst. Environ.* 88: 153-160.
- Aruani, MC; EE Sánchez; P Reeb & E Aun. 2007. Variación de la concentración de nitratos en un suelo franco limoso del Alto Valle de Río Negro. *Rev. FCA UN Cuyo* 29(2): 25-33.
- Carter, MR. 1991. The influence of the proportion of organic carbon and nitrogen in the microbial biomass of medium textured soils in a humid climate. *Biol. Fertil. Soils* 11: 135-139.
- Di Rienzo, JA; AW Guzmán & F Casanoves. 2002. A Multiple Comparisons Method based on the Distribution of the Root Node Distance of a Binary Tree. *Journal of Agricultural, Biological, and Environment Statistics* 7(2): 1-14.
- Filip, ZK. 2002. International approach to assessing soil quality by ecological parameters. *Agric. Ecosyst. Environ.* 88: 169-174.
- Frioni, L. 1999. Procesos microbianos. Tomo II. Editorial de la Fundación de la Universidad Nacional de Río Cuarto. Argentina. 286 pp.
- Harris, R & D Bezdicek. 1994. Descriptive aspects of soil quality/health. Pp 23-35. *In: JW Doran: DC Coleman; DF Bezdicek y BA Stewart (eds). Defining soil quality for a sustainable environment. Special Publication Number 5. SSSA. Madison, Wisconsin. USA.*
- Hawes, MC; G Bengough; G Cassab & G Ponce. 2003. Root caps and rhisosphere. *J. Plant Growth Regul.* 21: 352-367.
- Jackson, ML. 1982. Análisis químicos de suelos. Traducción al español de JM Beltrán Omega, Barcelona, España.

- Johnson, JL & KL Temple. 1964. Some variables affecting the measurement of «catalase activity» in soil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 28: 207-209.
- Klose, S & MA Tabatabai, 2000. Urease activity of microbial biomass in soils as affected by cropping systems. *Biol. Fertil. Soils* 31: 191-199.
- 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; JM Kimble; RF Follet & BA Stewart (eds.)*. Soil processes and carbon cycle. CRC Press. Boca Raton, FL, USA.
- Loveland, P & J Webb. 2003. Is there a critical level of organic matter in the agricultural soil of temperate regions? A review. *Soil Till. Res.* 70: 1-18.
- Lupwayi, NZ; WA Rice & GW Clayton. 1998. Soil microbial diversity and community structure under wheat as influenced by tillage and crop rotation. *Soil Biol. Biochem.* 30: 1733-1741.
- Odum, E. 1985. Trends expected in stressed ecosystems. *Bio Science* 35: 419-422.
- Öhlinger, R. 1996. Soil respiration by titration. pp. 95-98 *In: F. Schinner; R. Öhlinger; E. Kandeler & R. Margesin (eds.)*. Methods in soil biology. Springer-Verlag. Berlin, Germany.
- Paul, EA & FE Clark. 1996. Soil Microbiology and Biochemistry, 2<sup>th</sup>. Ed. Academic Press. San Diego, USA. 340 pp.
- Peña, D. 2002. Análisis de datos multivariantes. Capítulo 5. Mc Graw Hill. MCGRAW HILL/Interamericana de España, S.A.U, 539 pp.
- Rodríguez-Kabana, R & B Truelove 1982. Effects of crop rotation and fertilization on catalase activity in a soil of the southeastern United States. *Plant and Soil* 69: 97-104
- Sánchez, EE. 1999. Nutrición mineral de frutales de pepita y carozo. INTA Alto Valle de Río Negro. Argentina. 195 pp.
- Soil Survey Staff. 1996. Keys to Soil Taxonomy. 7<sup>th</sup> Ed. USDA. Natural Resources Conservation Service. Agric. Handb. 436. U. S. Gov. Print Office. Washington, D C, USA. 644 pp.
- Steverson, FJ & MA Cole. 1999. Cycles of soil. 2<sup>th</sup> Ed. John Wiley y Sons. New Cork, USA. 427 pp.
- 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, USA.
- Uren, NC. 2007. Types, amounts and possible functions of compounds released into the rhizosphere by soil-grown plants. Pp. 2-21. *In: R Pinton; Z Varanini & P Nannipieri (eds.)*. The Rhizosphere. Biochemistry and Organic Substances at the Soil-Plant Interface. Taylor and Francis Group, Boca Raton, Florida, USA.
- Valè, M; C Nguyen; E Dambrine & JL Dupouey. 2005. Microbial activity in the rizosphere soil of six herbaceous species cultivated in a greenhouse is correlated with shoot biomass and root C concentrations. *Soil Biol. Biochem.* 37: 2329-2333.
- Weaver, R; J Angle & P Bottomley. 1994. Methods of soil analysis. Part 2: Microbiological and biochemical properties. SSSA Book Series 5. Madison, USA.