

POBLACIONES MICROBIANAS Y CONTENIDO DE CARBONO Y NITROGENO DEL SUELO EN SISTEMAS DE SIEMBRA DIRECTA Y LABRANZA CONVENCIONAL

L. CRESPO¹, LI. PICONE¹, YE. ANDREOLI¹, FO. GARCIA²

¹Unidad Integrada EEA INTA – FCA UNMP. CC 276. (7620) Balcarce. Buenos Aires. Argentina.

²INPOFOS/PPI/PPIC Cono Sur. Av. Santa Fe 910. Acassuso. Buenos Aires. Argentina.

E-mail: lpicone@balcarce.inta.gov.ar

Recibido 15 de julio de 2000, aceptado 5 de marzo de 2001

MICROBIAL POPULATIONS AND SOIL CARBON AND NITROGEN CONTENT IN NO-TILL AND CONVENTIONAL TILLAGE

The objective of this study was to compare the evaluate the effects of no-tillage and conventional tillage on soil carbon and nitrogen contents, and on the composition of some selected microbial populations. We measured the contents of total soil organic carbon and nitrogen, mineralizable nitrogen, and the number of aerobic bacteria, nitrifiers and denitrifiers at 0 to 7.5 and 7.5 to 15 cm depths of a Petrocalcic Paleudoll of Balcarce, Argentina. No-tillage increased soil organic carbon and nitrogen concentration by 11 and 10%; respectively, at the soil surface (0-7.5 cm) in relation to conventional tillage. Mineralizable nitrogen in the 0-7.5 cm soil layer of no-tillage was 52% higher than on conventional tillage. Mineralizable nitrogen was a more sensitive indicator than either soil organic carbon or nitrogen of changes caused by tillage treatments. Tillage practices did not affect the quantitative composition of population of the aerobic bacteria. Higher population of denitrifiers was registered under no-tillage when the water content represented 81% of water filled- pore space, corresponding to gravimetric water content of 0.25 g g⁻¹.

Key words: Conventional tillage, No-tillage, Carbon, Nitrogen, Microorganisms.

INTRODUCCION

En el sudeste de la Provincia de Buenos Aires históricamente se ha utilizado la labranza convencional para la producción de grano; sin embargo, en los últimos años, numerosos productores han comenzado a utilizar prácticas conservacionistas como una alternativa de manejo (Echeverría *et al.* 1994). La superficie bajo siembra directa que comprende los partidos de Gral Alvarado, Gral Pueyrredón, Balcarce, Lobería, Necochea y Tandil fue de 67.912, 104.610 y 144.284 has en las campañas 1997/1998, 1998/99 y 1999/00; respectivamente, observándose un mayor crecimiento de la superficie sembrada en los cultivos de maíz y trigo (EEA INTA Balcarce 2000). La adopción de estos sistemas de labranza ha generado un gran interés en conocer sus efectos favorables, como así también sus consecuencias adversas sobre el ambiente suelo.

En un suelo típico de la Pampa Ondulada y sin laboreo, Alvarez *et al.* (1995) determinaron mayores contenidos de materia orgánica y una mayor intensidad de

mineralización del carbono. Coincidentemente, en el noroeste de la provincia de Buenos Aires se observó una acumulación significativa de carbono orgánico y nitrógeno total en la capa superficial de un suelo bajo siembra directa (Díaz Zorita 1999). No obstante, la magnitud del cambio en las propiedades de los suelos con el sistema de labranza depende de las diferencias existentes en los suelos y climas, entre los sitios estudiados (Buschiazzo *et al.* 1998), como así también del nivel inicial de materia orgánica del suelo (Fenster, Peterson 1979), de la cantidad de residuos y rotación de cultivos (Havlin *et al.* 1990), y de la fertilización nitrogenada (Ismail *et al.* 1994), entre otros factores.

Los cambios referidos fundamentalmente al equilibrio aire-agua, a la temperatura y disponibilidad de sustratos como consecuencia del efecto del tipo de labranza, determinan la actividad y el tipo de poblaciones microbianas predominantes en el suelo (Paul, Clark 1989). Doran (1980) encontró que el número de microorganismos aeróbicos en los

primeros 7,5 cm de suelo fue mayor en suelos no laboreados que en los laboreados; la relación se invirtió a los 7,5-15 cm de profundidad. La población de microorganismos desnitrificadores en superficie fue 7,31 veces mayor en suelos sin laboreo en comparación con los laboreados (Doran 1980); por el contrario, Staley (1982) no observó diferencias entre ambas labranzas.

La adopción de la siembra directa, un sistema de labranza totalmente distinto del tradicional, implica la necesidad de investigar sus efectos en cada situación particular dentro de las condiciones climáticas y factores edáficos imperantes del lugar, para lograr que la misma pueda ser aplicada con éxito. Los objetivos de este trabajo fueron comparar los efectos de dos sistemas de labranza, siembra directa (SD) y labranza convencional (LC) sobre: I) el contenido de carbono y nitrógeno orgánico total, y nitrógeno mineralizable, y II) el tamaño de la población de bacterias aeróbicas, nitrificadoras y desnitrificadoras, en los 15 cm superficiales de un suelo del sudeste de la Provincia de Buenos Aires.

MATERIALES Y METODOS

El presente trabajo se llevó a cabo en un ensayo de labranzas establecido por el Grupo de Fertilidad y Manejo de Suelos, a partir de 1992 en el campo experimental de la Unidad Integrada EEA INTA-Facultad de Ciencias Agrarias de Balcarce, Provincia de Buenos Aires (37° 45'S y 58° 18'O). Previamente a la implementación del ensayo, el sitio experimental tuvo una historia agrícola muy prolongada bajo LC. A partir de 1992 las rotaciones, en las parcelas bajo SD y LC, fueron trigo, soja, trigo, maíz, maíz, girasol y maíz durante las campañas 1992/93, 1993/94, 1994/95, 1995/96, 1996/97, 1997/98, 1998/99; respectivamente. El sitio experimental responde a las características de un Paleudol Petrocálcico que pertenece a la serie Balcarce familia fina, mixta, térmica, con una textura superficial franca y un nivel de fósforo disponible Bray de 10 mg P kg⁻¹. El diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones, siendo los sistemas de labranza (SD y LC) los tratamientos evaluados en las parcelas fertilizadas anualmente con 120 kg N ha⁻¹, como urea. A la siembra se aplicó superfosfato triple de calcio (120 kg ha⁻¹), en bandas por debajo y al costado de la semilla, para que la disponibilidad de fósforo no fuera limitante. El tamaño de la unidad experimental fue de 120 m² (3X40m).

En los años de evaluación, las labranzas

efectuadas en las parcelas bajo LC consistieron en rastra de discos, arado de reja y vertedera, y rastra de discos con rastra de dientes. Bajo SD, se efectuó el control químico de las malezas en barbecho mediante una sola aplicación de glifosato (0,96 kg i.a. ha⁻¹) y 2,4-D (0,24 kg i.a. ha⁻¹) en mezcla. El control de malezas durante el crecimiento del cultivo se realizó, en ambos sistemas de manejo, aplicando una mezcla de metolaclofloro (2 kg i.a. ha⁻¹) y atrazina (1,5 kg i.a. ha⁻¹) en preemergencia.

Los muestreos de suelo, realizados a dos profundidades (0-7,5 y 7,5-15 cm), se efectuaron el 3 de abril de 1997 en un cultivo de maíz que estaba en madurez fisiológica, y el día 24 de septiembre de 1998 durante el período de barbecho previo a la siembra de maíz (22 de octubre) y a la aplicación de herbicidas, cuando el suelo tenía rastrojo de girasol. En la primera fecha de muestreo se determinó el contenido de carbono y nitrógeno orgánico total, nitrógeno mineralizable, pH y número de bacterias aeróbicas, nitrificadoras y desnitrificadoras; y en la segunda fecha, se estableció el número de bacterias aeróbicas, nitrificadoras y desnitrificadoras.

Carbono, nitrógeno orgánico y pH fueron determinados en muestras de suelo secas al aire, molidas y tamizadas por 0,5 mm, excepto para pH para el cual se emplearon muestras tamizadas por 2 mm; mientras que para nitrógeno mineralizable y los recuentos de microorganismos se emplearon muestras de suelo que mantenían su humedad original de campo, pero que fueron tamizadas por 4,5 mm antes de ser analizadas.

Carbono orgánico total se realizó según Walkley y Black (1934), y nitrógeno orgánico total por la técnica de Bremner y Mulvaney (1982). El pH se determinó con un electrodo de vidrio en una relación suelo:agua de 1:2,5. Como un indicador biológico del nitrógeno potencialmente mineralizable, se estimó la producción de NH₄ bajo condiciones anaeróbicas incubando las muestras de suelo a 40°C (Bundy, Meisinger 1994). Se cuantificó el número de bacterias aeróbicas por dilución en placas de Petri conteniendo agar triptico de soja (Martin 1975); y el número más probable de desnitrificadores siguiendo la técnica descrita por Tiedje (1994), de microorganismos que oxidan amonio usando las soluciones nutritivas formuladas por Soriano y Walker (1968,1973) y de microorganismos que oxidan nitrito utilizando el medio indicado por Belser (1977). La población de bacterias aeróbicas se expresó como log₁₀ de unidades formadoras de colonias por g de suelo seco (UFC g⁻¹) y el resto de los microorganismos como el número más probable por g de suelo seco (NMP g⁻¹). El porcentaje del espacio poroso total lleno de agua se calculó según la fórmula: (contenido de agua gravimétrica x densidad aparente) / porosidad total) x 100. Para calcular la porosidad total se asumió una densidad real de 2,65

Mg m⁻³ (Baver *et al.* 1972).

Se efectuaron análisis de varianzas, por separado para cada fecha, usando el procedimiento GLM del SAS (SAS Institute 1985). Como la profundidad es una medida repetida los datos se analizaron como parcela dividida, siendo profundidad la subparcela. La diferencia entre las medias fue evaluada usando el test de diferencias mínimas significativas. Correlaciones simples fueron realizadas para identificar las relaciones posibles entre las fracciones de carbono y nitrógeno.

RESULTADOS Y DISCUSION

El sistema de labranza afectó significativamente ($P < 0,05$) la concentración de carbono (C) orgánico total. A la profundidad de 0 a 7,5 cm, la concentración de C orgánico total fue superior en un 11% bajo SD con respecto a LC; mientras que en los 7,5 a 15 cm la diferencia entre ambas labranzas fue menos marcada, 5%, pero aún significativa ($P < 0,05$) (Figura 1). Como ha sido informado por Havlin *et al.* (1990) y Carter (1992), la mayor

acumulación de C orgánico en la capa superior del suelo bajo SD ha sido resultado de la deposición de residuos vegetales en superficie y de la falta de alteración mecánica del suelo.

La comparación del contenido de C orgánico total entre las dos profundidades muestra evidencias de una cierta estratificación bajo SD. En este tratamiento, para la profundidad de 7,5 a 15 cm, la concentración de C orgánico fue significativamente ($P < 0,05$) menor en un 9% en relación con la capa superficial, observándose que bajo LC el C orgánico no varió significativamente ($P > 0,05$) con la profundidad (Figura 1). Estos resultados son consistentes con los obtenidos por otros investigadores en distintas localidades de la Argentina (Alvarez *et al.* 1995; Cosentino *et al.* 1996; Díaz Zorita 1999).

Generalmente, los niveles de C o nitrógeno (N) en el suelo se expresan como concentraciones (g kg⁻¹ de suelo). Sin embargo, Doran y Parkin (1996) concluyeron que los efectos de las diferentes prácticas de manejo de suelo y cultivo sobre la acumulación de C y nutrientes se explican mejor al expresar los valores de estos en volumen (kg ha⁻¹), especialmente cuando se hace referencia a la calidad del suelo. En este mismo ensayo, Ferreras (1996) encontró que la densidad aparente no varió con el tipo de labranza, la cual fue de 1,46 y 1,44 Mg m⁻³ en la capa de 0-7,5 cm para SD y LC; respectivamente. Asumiendo estas densidades se calculó la cantidad de C orgánico la cual fue significativamente ($P < 0,05$) superior en el suelo bajo SD (36,6 Mg C ha⁻¹) en comparación con LC (32,1 Mg C ha⁻¹). Después de cinco años bajo SD, el suelo tuvo una ganancia promedio de 4,5 Mg C ha⁻¹ en los 7,5 cm del perfil, los niveles de C fueron aumentando a tasas promedios de 90 g C m⁻² año⁻¹.

En la Tabla 1 se muestran los valores estimados de los ingresos de C al suelo, a partir de los distintos cultivos realizados desde que se inició el ensayo. Los mayores ingresos de C ocurrieron con los cultivos de trigo y maíz, coincidiendo con el mayor rendimiento. De acuerdo a esta estimación, la mayor acumulación de C orgánico bajo SD no se debería a los efectos diferenciales del laboreo sobre el rendimiento de los cultivos, ya que la biomasa aérea estimada y la cantidad promedio

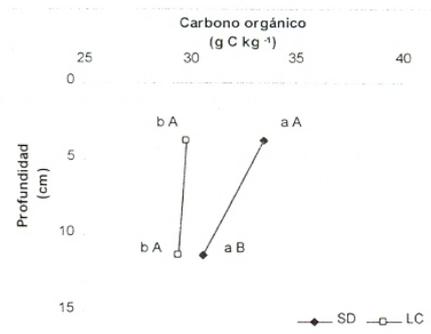


Figura 1. Concentración de carbono orgánico total del suelo, en los 0-7,5 y 7,5-15 cm de profundidad en siembra directa (SD) y labranza convencional (LC). Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre labranzas dentro de cada profundidad; mientras que letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre profundidades dentro de cada labranza.

Figure 1. Concentration of total soil organic carbon, at 0 to 7.5 and 7.5 to 15 cm depths in no-till (SD) and conventional tillage (LC). Different lowercase letters indicate significant differences ($P < 0,05$) between tillage treatments within each depth; while different capital letters indicate significant differences ($P < 0,05$) between depths within each tillage.

Tabla 1. Ingresos estimados de residuo (parte aérea) y carbono al suelo, bajo siembra directa (SD) y labranza convencional (LC).

Table 1. Estimated inputs of residues (top) and carbon to the soil under no-tillage (SD) and conventional tillage (LC).

Año	Cultivo	Labranza	Rendimiento grano kg ha ⁻¹	Residuo kg ha ⁻¹	Carbono del residuo kg ha ⁻¹
92/93	Trigo	SD	5750	9790	4406
		LC	6100	10386	4674
93/94	Soja	SD	2990	4878	2195
		LC	2500	4079	1835
94/95	Trigo	SD	5488	9344	4205
		LC	6479	11032	4964
95/96	Maíz	SD	7355	8989	4045
		LC	6346	7756	3490
96/97	Maíz	SD	8579	10485	4718
		LC	10251	12529	5638

Se asumió un índice de cosecha de 38% (incluye hojas caídas de R5-R8) para soja, 45% para maíz (Andrade 1995) y 37% para trigo (Slafer *et al.* 1993). En todos los cultivos, los residuos tienen 45% de carbono. Datos de rendimiento de trigo y maíz obtenidos de R. Rizzalli y A. Berardo (comunicación personal), Bergh (1997), y Rizzalli (1998).

Assumed harvest index of 38% (including falling leaves from R5 to R8) for soybean, 45% for corn (Andrade 1995), and 37% for wheat (Slafer *et al.* 1993). For all crops, residues have 45% of carbon. Wheat and corn yield obtained from R. Rizzalli and A. Berardo (personal communication), Bergh (1997), and Rizzalli (1998).

de C del rastrojo que retornó al suelo fue similar bajo SD (3914 kg C ha⁻¹) y LC (4120 kg C ha⁻¹). Posiblemente, una menor intensidad de mineralización de la materia orgánica del suelo como resultado de menores temperaturas, conjuntamente con la falta de incorporación y mezclado de los residuos con el suelo sean las causas del mayor contenido de C orgánico bajo SD.

El N orgánico total muestra el mismo comportamiento que C orgánico total en superficie, siendo significativamente ($P < 0,05$) mayor bajo SD (2,35 g N kg⁻¹) en comparación con LC (2,12 g N kg⁻¹); en la capa de 7,5-15 cm no hubo diferencias significativas ($P > 0,05$) entre ambas labranzas (Figura 2). Esta propiedad no presentó variaciones significativas ($P > 0,05$) con la profundidad por efecto de la labranza, aunque tendió a disminuir en mayor proporción hacia la capa subsuperficial en el suelo bajo SD (Figura 2). Al igual que con C orgánico, luego de cinco

años bajo SD, hubo una ganancia neta significativa ($P < 0,05$) de N orgánico de 0,28 Mg N ha⁻¹ en los 7,5 cm del suelo.

Los mayores contenidos de N mineralizable se registraron en los 7,5 cm superficiales de las parcelas bajo SD; por debajo de esta profundidad no hubo diferencias entre los dos sistemas de labranza (Figura 3). En este mismo suelo, tres años después (1994/95) de iniciado el ensayo de labranza, Bergh (1997) encontró valores mayores de N mineralizable bajo SD con respecto a LC para el estrato superficial de 5 cm. Esto último indicaría que el N mineralizable es una variable que responde en forma temprana a los tratamientos de manejo. Este mayor reservorio de N lábil en el suelo manejado con SD, probablemente sea resultado de una menor mineralización del N. Las menores temperaturas y la menor oxigenación del suelo bajo SD disminuirían la tasa de mineralización, y por consiguiente el tamaño de esta fracción lábil de N sería mayor (Franzluebbers *et al.*

SD en otoño (abril) como en primavera (septiembre) y en las dos profundidades, no fue significativamente ($P>0,05$) diferente al del suelo bajo LC. La población varió desde un mínimo de $6,1 \log_{10} \text{UFC g}^{-1}$ hasta un máximo de $8,3 \log_{10} \text{UFC g}^{-1}$, en el muestreo de otoño; y desde $6,5$ hasta $7,0 \log_{10} \text{UFC g}^{-1}$, en el muestreo de primavera. Bolton *et al.* (1985), y Verstraete y Voets (1977) tampoco obtuvieron diferencias significativas entre los sistemas de labranzas; según los últimos autores, como consecuencia de los errores inherentes a la técnica empleada.

En el muestreo de otoño, la población de microorganismos que oxidan amonio (*Nitrosomonas sp.*) fue afectada significativa-

mente ($P<0,05$) por el sistema de labranza, siendo SD la que presentó el mayor número de *Nitrosomonas sp.* ($3,85 \log_{10} \text{NMP g}^{-1}$) en superficie. Sin embargo, esta situación se revirtió en los 7,5-15 cm de profundidad donde la densidad de microorganismos que oxidan amonio del suelo bajo LC, $3,81 \log_{10} \text{NMP g}^{-1}$, fue significativamente ($P<0,1$) superior a la observada bajo SD (Figura 4a). Bajo SD, en superficie, se registró un contenido de agua más adecuado para la actividad microbiana, $0,20 \text{ g g}^{-1}$ que equivale al 62% del espacio total de poros llenos de agua; mientras que bajo LC el valor del contenido de agua fue de $0,15 \text{ g g}^{-1}$, próximo al punto de marchitez permanente para estos suelos. Según Linn y Doran (1984), el

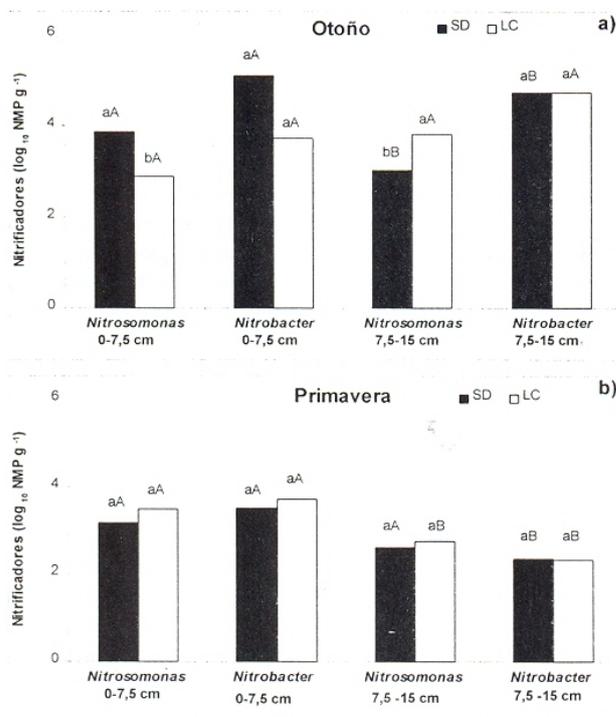


Figura 4. Número más probable (NPM) de bacterias que oxidan amonio y nitrito, en el muestreo de otoño (a) y primavera (b), y a las profundidades de 0-7,5 y 7,5-15 cm, en siembra directa (SD) y labranza convencional (LC). Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas ($P<0,05$ o $0,1$) entre labranzas dentro de cada profundidad; mientras que letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas ($P<0,05$) entre profundidades dentro de cada labranza.

Figure 4. Most probable number (MPN) of ammonium and nitrite oxidizers, on Autumn (a) and Spring (b), at 0-7.5 and 7.5-15 cm depths in no-till (SD) and conventional tillage (LC). Different lowercase letters indicate significant differences ($P<0,05$ or $0,1$) between tillage treatments within each depth; while different capital letters indicate significant differences ($P<0,05$) between depths within each tillage.

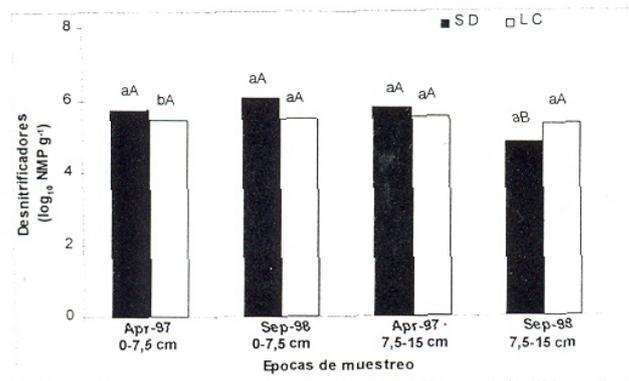


Figura 5. Número más probable (NPM) de desnitrificadores, en el muestreo de otoño y primavera, para 0-7,5 y 7,5-15 cm de profundidad en siembra directa (SD) y labranza convencional (LC). Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre labranzas dentro de cada profundidad; mientras que letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre profundidades dentro de cada labranza. Figure 5. Most probable number (MPN) of denitrifiers, on Autumn and Spring at 0-7,5 and 7,5-15 cm depths in no-till (SD) and conventional tillage (LC). Different lowercase letters indicate significant differences ($P < 0,05$) between tillage treatments within each depth; while different capital letters indicate significant differences ($P < 0,05$) between depths within each tillage.

60% del espacio poroso lleno de agua representa el balance de agua y aire necesario para obtener la máxima actividad microbiana aeróbica. El horizonte subsuperficial en SD con un contenido de agua de $0,22 \text{ g g}^{-1}$ tendría un espacio de poros llenos de agua superior al umbral mencionado por Linn y Doran (1984); mientras que bajo LC el contenido de agua fue menor, $0,19 \text{ g g}^{-1}$. Por el contrario, la población de microorganismos que oxidan nitrito (*Nitrobacter* sp.) no fue afectada significativamente ($P > 0,05$) por la labranza, aunque se observó una tendencia a favor de la SD, especialmente en la capa superficial (Figura 4a). Rímolo (1998) reportó que la población de nitrificadores fue igual o mayor en suelos bajo SD que bajo LC. En el muestreo de primavera, el NMP de microorganismos que oxidan amonio y nitrito no difirió ($P > 0,05$) estadísticamente entre los dos sistemas de labranza, tanto para 0-7,5 como 7,5-15 cm (Figura 4b). En este momento el suelo bajo SD en superficie, alcanzó un contenido de agua de $0,25 \text{ g g}^{-1}$ (81% del espacio poroso lleno de agua) afectando el número de microorganismos nitrificadores que son aerobios estrictos; mientras que bajo LC el contenido de agua de la capa superficial fue de $0,22 \text{ g g}^{-1}$. En general, la población de bacterias nitrificadoras siguió las mismas variaciones estacionales que la de

las bacterias aeróbicas, fue mayor en otoño que en primavera como resultado del efecto combinado de las condiciones ambientales previas a la toma de las muestras de suelo. Durante junio, julio, agosto y comienzos de septiembre hubo una extensa sequía (las precipitaciones totalizaron 48 mm) que mantuvo muy bajos los contenidos de humedad. De hecho, los niveles de nitratos obtenidos en el muestreo de primavera fueron muy bajos, promediando $4,4 \text{ mg N-NO}_3 \text{ kg}^{-1}$. A su vez, el efecto de la estación del año sobre el tamaño de la comunidad microbiana fue más marcado en las bacterias nitrificadoras que en las bacterias aeróbicas, lo cual es razonable si se considera que aquellas son un grupo muy específico de organismos. El pH no ayuda a explicar las diferencias en biomasa microbiana entre las dos labranzas, ya que no presentó diferencias significativas ($P > 0,05$). Los valores de pH promedios fueron 5,55 y 5,51 para SD y LC en 0-7,5 cm, respectivamente; y 5,51 y 5,45 para SD y LC en los 7,5-15 cm, respectivamente.

En cuanto a la población de desnitrificadores, el NMP bajo SD fue significativamente ($P < 0,05$) superior que bajo LC, para el muestreo de otoño y en la capa superficial (Figura 5). En primavera la diferencia en el NMP de desnitrificadores fue más marcada entre ambas labranzas, aunque no significativa

(Figura 5). Un ambiente menos aireado dado por un mayor contenido de agua bajo SD favoreció el crecimiento de estos microorganismos anaeróbicos facultativos. Rímolo (1998) también observó una mayor población desnitrificadora asociada a una reducida aireación bajo SD. A diferencia de las bacterias aeróbicas y nitrificadoras, el número de desnitrificadores incrementó entre el primer y segundo momento de muestreo. Este incremento podría ser una respuesta a la precipitación ocurrida antes del muestreo la cual disminuyó la aireación y estimuló la población de microorganismos desnitrificadores, pero reprimió la de las bacterias nitrificadoras.

Los resultados muestran que el N mineralizable respondió en mayor medida que el C y N orgánico total del suelo al impacto de las labranzas, indicando que aquel sería un índice más sensible a los cambios producidos por las prácticas de manejo. Existen diferencias en las poblaciones microbianas por efecto de los sistemas de labranzas asociadas a cambios en el contenido de agua del suelo.

REFERENCIAS

- Alvarez R, Díaz R, Barbero N, Santanatoglia O, Blotta L. 1995. Soil organic carbon, microbial biomass and CO₂-C production from three tillage systems. *Soil Till. Res.* 33:17-28
- Andrade FH. 1995. Analysis of growth and yield of maize, sunflower and soybean grown at Balcarce, Argentina. *Field Crops Res.* 41:1-12.
- Baver LD, Gardner WH, Gardner WR. 1972. The Soil as a Disperse System. En John Wiley (ed.). *Soil Physics.* New York. p.1- 41.
- Belser LW. 1977. Nitrate reduction to nitrite, a possible source of nitrite for growth of nitrite-oxidizing bacteria. *Appl. Environ. Microbiol.* 34:403-410.
- Bergh RG. 1997. Dinámica del nitrógeno, crecimiento y rendimiento de trigo bajo siembra directa y labranza convencional. Tesis Magister Scientiae. Facultad de Ciencias Agrarias Balcarce. Universidad Nacional de Mar del Plata. 75 p.
- Bolton HJR, Elliot LF, Papendick RI, Bezdicke DF. 1985. Soil microbial biomass and selected soil enzyme activities: effect of fertilization and cropping practices. *Soil Biol. Biochem.* 17:297-302.
- Bremner JM, Mulvaney CS. 1982. Nitrogen Total. En: A.L. Page *et al.* (Eds). *Methods of Soil Analysis. Part 2 Chemical and Microbiological Properties 2nd ed.* Agron. Monog. 9 ASA-SSSA. Madison, Wisconsin. p. 595-624.
- Bundy LG, Meisinger JJ. 1994. Nitrogen Availability Indices. En: R.W. Weaver *et al.* (Eds.) *Methods of Soil Analysis. Microbiological and Biochemical Properties. Part 2.* ASA-SSSA. Madison, Wisconsin. p. 951-979.
- Buschiazzo DE, Panigatti JL, Unger PW. 1998. Tillage effects on soil properties and crop production in the subhumid and semiarid Argentinean Pampas. *Soil Till. Res.* 49:105-116.
- Carter MR. 1992. Influence of reduced tillage systems on organic matter, microbial biomass, macro-aggregate distribution and structural stability of the surface soil in a humid climate. *Soil Till. Res.* 23:361-372.
- Cosentino D, Costantini A, Segat A. 1996. Variaciones en carbono orgánico, carbono de biomasa microbiana y su relación con algunas propiedades físicas de un suelo sometido a diferentes sistemas de labranza. *Actas XV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.* Santa Rosa. La Pampa. p. 49.
- Díaz Zorita M. 1999. Efectos de seis años de labranzas en un Hapludol del noroeste de Buenos Aires, Argentina. *Ciencia del Suelo* 17:31-36.
- Doran JW. 1980. Soil microbial and biochemistry changes associated with reduced tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44:765-771.
- Doran JW, Parkin TB. 1996. Quantitative Indicators of Soil Quality: A Minimum Data Set. En: J. W. Doran and A. J. Jones (Eds.). *Methods for Assessing Soil Quality.* SSSA Spec. Publ. 49. SSSA. Madison, Wisconsin. p. 25-37.
- Echeverría H, Studdert G, Elverdin J, Sarlangue H. 1994. Siembra directa de trigo en el Sudeste Bonaerense. *Visión Rural* 8: 33-38.
- EEA INTA Balcarce. 2000. Informe Final del Proyecto Intensificación de la Producción de Granos (IPG). Area de Agronomía. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Balcarce. 30 p.
- Fenster CR, Peterson GA. 1979. Effects on no-tillage fallow as compared to conventional tillage in a wheat fallow system. Nebraska. Agriculture Experimental Station. Res. Bull. 289.
- Ferreras LA 1996. Efecto de los sistemas de labranza sobre las propiedades físicas de un suelo del Sudeste Bonaerense. Tesis Magister Scientiae. Facultad de Ciencias Agrarias Balcarce. Universidad Nacional de Mar del Plata. 62 p.
- Franzluebbers AJ, Hons FM, Zuberer DA. 1995. Tillage and crop effects seasonal soil carbon and nitrogen dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59: 1618-1624.
- García FO, Bergh R, Rizzalli R, Fabrizzi K, Ferrari J. 2000. Dinámica de fracciones mineralizables del nitrógeno orgánico del suelo bajo siembra directa y labranza convencional. *Actas CD . XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.*

- lo. Mar del Plata. Buenos Aires.
- Havlin JL, Kissel DE, Maddux LD, Claassen MM, Long JL. 1990. Crop rotation and tillage effects on soil organic carbon and nitrogen. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54:448-452.
- Ismail I, Blevins RL, Frye WW. 1994. Long-term no tillage effects on soil properties and continuous corn yields. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 193-198.
- Linn DM, Doran JW. 1984. Effect of water-filled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and nontilled soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48:1267-1272.
- Martin JK. 1975. Comparison of agar media for counts of viable soil bacteria. *Soil Biol. Biochem.* 7:401-402.
- McCarty GW, Meisinger JJ. 1997. Effects of N fertilizer treatments on biologically active pools in soils under plow and no tillage. *Biol. Fertil. Soils* 24:406:412.
- McCarty GW, Lyssenko NN, Starr JL 1998. Short-term changes in soil carbon and nitrogen pools during tillage management transition. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62:1564-1571.
- Paul EA, Clark FE 1989. Occurrence and Distribution of Soil Organisms. *En: EA Paul and FE Clark (Eds.). Soil Microbial and Biochemistry.* Academic Press, San Diego. California. p. 74-90.
- Rimolo M. 1998. Procesos microbiológicos del suelo. Experiencias del INTA mirando hacia el futuro. Seminario Siembra Directa. Buenos Aires. p.117-126.
- Rizzalli RH 1998. Siembra directa y convencional de maíz ante distintas ofertas de nitrógeno. Tesis Magister Scientiae. Facultad de Ciencias Agrarias Balcarce. Universidad Nacional de Mar del Plata. 56 p.
- Slafer G, Satorre E, Andrade F. 1993. Increases in grain yield in bread wheat from breeding and associated physiological changes. *En: G. Slafer (Ed). Genetic Improvement of Field Crops.* University of Melbourne. New York. p. 1-68.
- Staley TE 1982. *In vitro* nitrogen-¹⁵ labeled nitrate reduction by submerged conventional and no-till soils from Maryland and West Virginia-products and rates. *Soil Sci.* 134:325-335.
- SAS Institute 1985. SAS user's guide: Statistic. Version 5 de SAS Inst., Cary, North Carolina.
- Soriano S, Walker N. 1968. Isolation of ammonia oxidizing autotrophic bacteria. *J. Appl. Bacteriol.* 31:493-497.
- Soriano S, Walker N. 1973. The nitrifying bacteria in soils from Rothamsted classical fields and elsewhere. *J. Appl. Bacteriol.* 36:532-529.
- Tiedje JM. 1994. Denitrifiers. *En: RW Weaver et al. (Eds.) Methods of Soil Analysis. Chemical and Microbiological Properties. Part 2.* SSSA Book series. N°5. Madison, Wisconsin. p. 245-265.
- Verstraete W, Voest JP. 1977. Soil microbial and biochemical characteristics in relation to soil management and fertility. *Soil Biol. Biochem.* 9:253-258.
- Walkley A, Black IA. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-38.