

## EVOLUCION DEL CARBONO Y NITROGENO DE LA BIOMASA MICROBIANA DURANTE EL DESARROLLO DEL CULTIVO DE TRIGO

J L FERRARI, F O GARCIA, H E ECHEVERRIA

Unidad Integrada INTA-FCA Balcarce (UIB) CC 276 (7620) Balcarce-Buenos Aires-Argentina

### EVOLUTION OF MICROBIAL BIOMASS CARBON AND NITROGEN DURING THE WHEAT GROWING SEASON

Seasonal changes of soil microbial biomass carbon and nitrogen during the wheat growing season were studied in four sites of the Pampean Region of Argentina (Anguil, Balcarce, Bordenave and Paraná) using the fumigation-incubation method. Treatments included two levels of nitrogen fertilization: 0 and 120 kg ha<sup>-1</sup> under conventional tillage at the four sites, and the same Nnitrogen levels under zero tillage at Balcarce. The difference in the amount of NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N between fumigated and nonfumigated samples was the most appropriate method to estimate microbial biomass by fumigation-incubation. Fluctuations in the size and C/N ratio of microbial biomass were observed. Microbial biomass was a source of nitrogen for wheat. Immobilization of nitrogen fertilizer in the microbial biomass pool was observed in only one case (Bordenave).

**Key words:** Microbial biomass - Carbon - Nitrogen - Wheat

### INTRODUCCION

Los microorganismos heterotróficos controlan el flujo de carbono y el ciclo de nutrientes en ecosistemas terrestres (Voroney, Paul 1984). El ciclo biológico del nitrógeno en el suelo está fuertemente ligado a la dinámica del carbono siendo el metabolismo de este último la fuerza conductora que gobierna esta relación (van Veen *et al.* 1985). La biomasa microbiana (BM) del suelo es un agente de cambio, que a través de los procesos de inmovilización y mineralización, puede reponer considerables cantidades de nitrógeno en formas mucho más lábiles que el nitrógeno en componentes húmicos que constituyen la mayor parte de la materia orgánica (MO) del suelo (Jenkinson, Ladd 1981). Por lo tanto, la BM afecta la capacidad del suelo para suministrar nutrientes a las plantas a través del reciclado de la MO (Bonde, Rosswall 1987) y se comporta como una fracción más sensible que la MO a los cambios producidos por el manejo del suelo (Echeverría *et al.* 1992/93). Por otra parte, los cambios estacionales en la humedad y temperatura del suelo, la incorporación de raíces de cultivo, productos de la rizósfera y residuos de cultivo pueden tener gran efecto en la BM del suelo y su actividad (Ross 1987). Por esto, cuantificar el carbono y el nitrógeno en la BM a través del tiempo puede contribuir a un conocimiento más detallado de los procesos de inmovilización y de mineralización en relación al ciclo de los cultivos.

Para el cultivo de trigo en Balcarce (Argentina) se observaron diferencias significativas en el tiempo en el contenido de nitrógeno en la BM del suelo (NBM), debido posiblemente a cambios en los factores ambientales y a la interrelación BM-cultivo; sin embargo,

no se observó una inmovilización marcada del nitrógeno agregado como fertilizante (Videla *et al.* 1996). Santanatoglia *et al.* (1994) tampoco encontraron evidencias de inmovilización de nitrógeno, evaluando la descomposición de residuos en el doble cultivo trigo-soja bajo siembra directa.

La determinación del contenido de NBM por fumigación-incubación (FI) se realiza por diferencia entre el contenido de las formas minerales de dicho elemento en una muestra fumigada con cloroformo y una sin fumigar, luego de un período de incubación de 10 días (Jenkinson, Powlson 1976). En la bibliografía se reportan diferentes alternativas de cálculo de dicha fracción (Shen *et al.* 1984; Voroney, Paul 1984; Franzluebbers *et al.* 1994a), un objetivo preliminar de este trabajo fue determinar la estimación más conveniente.

Considerando la heterogeneidad de los suelos de la Región Pampeana, se plantea como objetivo conocer los cambios estacionales de la BM durante el ciclo del cultivo de trigo, para distintos sistemas de labranzas y niveles de fertilización en diferentes zonas agroecológicas. En particular, es de interés conocer si los microorganismos son verdaderos competidores del nitrógeno del suelo y/o del fertilizante y cuáles serían las condiciones ambientales que controlan el proceso de inmovilización.

### MATERIALES Y METODOS

Se utilizaron muestras compuestas de suelo tomadas a 20 cm de profundidad de ensayos de fertilización nitrogenada en trigo de las EEA INTA de Anguil, Balcarce, Bordenave y Paraná (Argentina) en la campaña 1994/95. Estos ensayos fueron realizados en labranza convencional con diferentes dosis de nitrógeno

bajo la forma de urea aplicadas a la siembra, en un diseño en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones. Las dosis evaluadas en este trabajo fueron 0 y 120 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno. Los momentos de muestreo fueron a la siembra, macollaje, antesis y madurez fisiológica. Para Balcarce, se incluyó un muestreo en el momento de encañazón y también se tomaron muestras de parcelas en siembra directa con las mismas dosis de nitrógeno. Las muestras de suelo fueron almacenadas en heladera a 5 °C hasta su análisis. En la Tabla I se presenta una descripción de los suelos empleados y algunas características del manejo de los mismos.

Las determinaciones del carbono de la BM (CBM) y NBM se realizaron según el método FI (Jenkinson, Powelson 1976). Se pesaron por duplicado 50 g de suelo húmedo previamente tamizado por 4,8 mm. La humedad se ajustó al 50% de la capacidad de retención. Debido a que las muestras de suelo no fueron analizadas en forma inmediata, se las preincubó durante 5 días a 25 °C. Uno de los duplicados de cada muestra fue fumigado (F) con cloroformo libre de alcohol en desecador al vacío durante 18-24 horas. Posteriormente se extrajo el fumigante mediante vacío y las muestras se incubaron en frascos herméticos de 1,25 l durante 10 días a 25°C con 15 ml de NaOH 0,4N para captar el CO<sub>2</sub> producido. De igual forma se procedió con el duplicado restante de cada muestra sin fumigar, testigo (T), disminuyendo la concentración de NaOH a 0,2N. Finalizado el periodo de incubación se tituló el álcali remanente con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,1N, previamente se agregaron 6 ml de BaCl<sub>2</sub> al 20% para precipitar los carbonatos y timolftaleína como indicador. En ambos casos se preparó un blanco sin suelo, a partir del cual se calcularon los mg de carbono por kg de suelo. Luego se realizó una extracción de cada muestra de suelo con 200 ml de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,5N. Una alícuota de 25 ml del extracto fue destilada para determinar el contenido de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> por el método de microdestilación por arrastre de vapor (Bremner, Keeney 1966). Por el mismo método también se determinaron los contenidos iniciales de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. El cálculo de la BM se realizó según Shen *et al.* (1984):

$$CBM = Pc/kc \quad NBM = Pn/kn$$

donde Pc es el pulso de carbono (F-T) y kc la constante de mineralización (0,45). Pn es el pulso de nitrógeno (F-T) y kn la constante de mineralización (0,68). Se recalculó el NBM considerando solamente el N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> de F y T. Para los análisis estadísticos de las variables CBM y NBM en cada localidad se empleó un diseño de mediciones repetidas en el tiempo, donde la parcela principal fue el nivel de nitrógeno y las subparcelas los momentos de muestreo. Se realizó un test de diferencias mínimas significativas cuando se encontraron diferencias significativas a un valor de P<0,05.

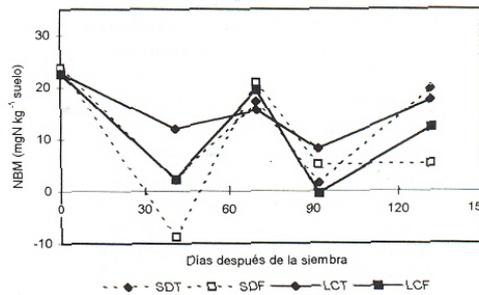


Figura 1: Evolución del nitrógeno en la biomasa microbiana (NBM) en el cultivo de trigo en el suelo de Balcarce, valores calculados considerando N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> más N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. SDT: siembra directa testigo sin fertilizar. SDF: siembra directa fertilizada. LCT: labranza convencional testigo sin fertilizar. LCF: labranza convencional fertilizada.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Métodos de cálculo del NBM por fumigación-incubación

En la Figura 1 se observa la evolución del NBM para el suelo de Balcarce. En el muestreo de macollaje (41 días después de la siembra) se destaca la caída de esta variable sobre todo en los tratamientos fertilizados, llegando a valores negativos en siembra directa, lo que no es biológicamente posible. Esto podría ser explicado porque los niveles de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en las muestras fumigadas en este tratamiento son más altos al comienzo (promedio: 31,4 mgN kg<sup>-1</sup>suelo; desvío standard: 2,2) que al final del periodo de incubación (promedio: 20,7 mgN kg<sup>-1</sup>suelo; desvío standard: 6,6). Nicolardot y Chaussod (1986) constataron una baja del tenor de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en el curso de los primeros días de incubación en suelos fumigados, sugiriendo que podría deberse a inmovilización o bien desnitrificación favorecida por la presencia de carbono soluble. Es probable que ésta sea la explicación en el tratamiento fertilizado en siembra directa donde existe mayor cantidad de carbono

Tabla 1: Algunas características de los suelos estudiados. SD: siembra directa. LC: labranza convencional.

Localidad	Clasificación	Textura	Materia orgánica (%)	pH (1:2,5)	Fósforo disp. (mg kg <sup>-1</sup> )	Cultivo antecesor
Anguil	Haplustol éntico	Franca	1,7	6,5	18,3	trigo
Balcarce SD	Argiudol típico	Franca	5,1	5,9	--	maíz
Balcarce LC	Argiudol típico	Franca	5,3	6,1	22,3	maíz
Bordenave	Haplustol típico	Franca	2,8	6,4	40,0	sorgo
Paraná	Argiudol ácuico	Franca-Arcillosa	2,8	6,4	--	maíz

lábil. Ocio y Brookes (1990) encontraron valores cercanos a cero del NBM medidos por FI cuando incorporaron paja de trigo al suelo, mientras que obtuvieron sobre las mismas muestras de suelo mayores valores con los métodos de concentración de ATP y fumigación-extracción. Estos autores concluyeron que con el método FI no se obtienen valores reales en estos tratamientos debido a una inmovilización durante el período de incubación.

Voroney y Paul (1984) trabajando con nitrógeno y carbono marcados, propusieron calcular el NBM mediante la obtención de una  $kn$  fluctuante según la relación C/N del suelo fumigado:

$$kn = -0,014(C_f/N_f) + 0,39$$

donde  $C_f$  es el carbono del suelo fumigado y  $N_f$  el  $N-NH_4^+$  del suelo fumigado menos el inicial. Cuando la relación  $C_f/N_f$  varió entre 6 y 13 obtuvieron valores de  $kn$  entre 0,30 y 0,20. Para el suelo de Balcarce los valores de  $kn$  no se encuentran dentro de dicho rango, lo que se traduce en relaciones C/N en la BM muy pequeñas (menores a 4 y en algunos casos valores negativos) las cuales no son coincidentes con la literatura (Stevenson 1986).

Franzluebbers *et al.* (1994a) propusieron recalculer el NBM mediante una  $kn$  fluctuante según:

$$kn = kc10,2/(C_f/N_f)$$

El valor 10,2 corresponde a la relación C/N de la BM obtenida por dichos autores. Esto constituye una adaptación de la metodología propuesta por Shen *et al.* (1984) quienes le asignaron un valor de 6,7 a la relación C/N de la BM, promedio de numerosas experiencias realizadas *in vitro*. Además, propusieron un valor de 4,45 para la relación pulso de carbono/pulso de nitrógeno, obtenido de la correlación entre ambas variables con datos de 47 suelos obtenidos por distintos autores, lo que da como resultado el valor de  $kn$  de 0,68. Recalculando el nitrógeno en la BM según Franzluebbers *et al.* (1994a) se obtiene:

$$NBM = N_f/kn$$

$$NBM = N_f/kc 10,2/(C_f/N_f)$$

$$NBM = CBM/10,2$$

Esto implica anular el pulso de nitrógeno y por lo tanto el NBM resulta una función directa del CBM, dando como resultado una relación constante C/N de la BM en el tiempo. Sin embargo, esta relación puede variar como ha sido reportado por varios autores (Patra *et al.* 1990; Ross 1987; Hassink *et al.* 1991). Esta metodología imposibilita hacer un seguimiento de dicha relación, como también del pulso de nitrógeno. Otros autores (Carter, Rennie 1984; Nicolardot, Chaussod 1986, Hassink *et al.* 1991), utilizaron para el cálculo de  $kn$  sólo el  $NH_4^+$  del tratamiento fumigado menos el  $NH_4^+$  del no fumigado. Esta sería una alternativa factible para el cálculo del NBM por FI, y fue la utilizada para analizar estadísticamente dicha variable.

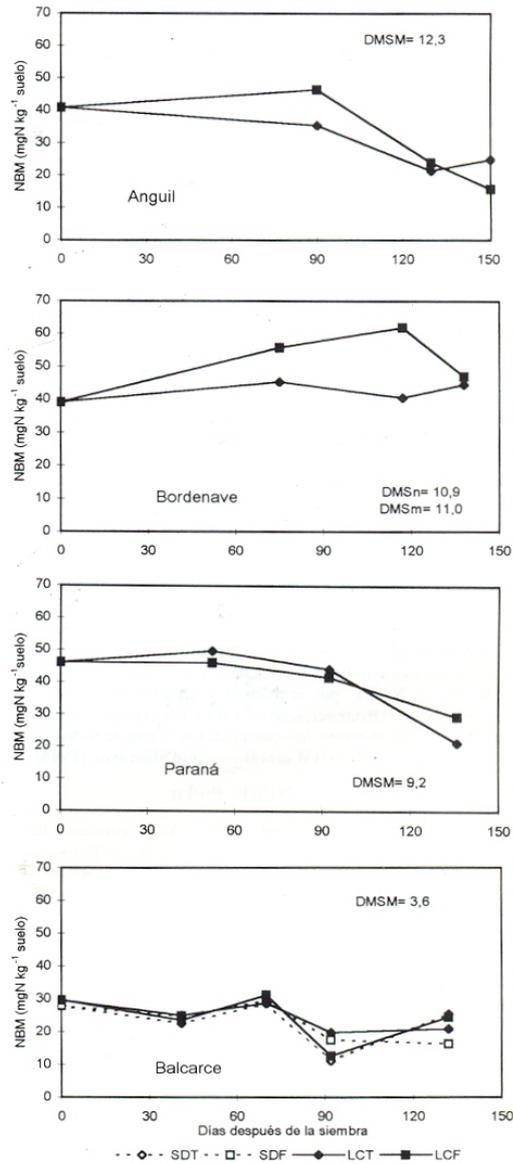


Figura 2: Evolución del nitrógeno en la biomasa microbiana (NBM) en el cultivo de trigo en suelos de distintas localidades, valores calculados considerando  $N-NH_4^+$ . SDT: siembra directa testigo sin fertilizar. SDF: siembra directa fertilizado. LCT: labranza convencional testigo sin fertilizar. LCF: labranza convencional fertilizado. DMSM: diferencia mínima significativa para la comparación del promedio de tratamientos de fertilización entre muestreos. DMSm: diferencia mínima significativa para la comparación entre muestreos en un mismo tratamiento de fertilización. DMSn: diferencia mínima significativa para la comparación entre tratamientos de fertilización en un mismo muestreo.

### Evolución del NBM

En la Figura 2 se presentan los valores de NBM para los suelos de las distintas localidades. Sólo se encontraron diferencias significativas entre tratamientos de fertilización para el suelo de Bordenave en el muestreo de floración y en una cantidad relativamente pequeña del nitrógeno agregado (17,8%). Esto implicaría que no hubo inmovilización de nitrógeno del fertilizante, lo que concuerda con lo obtenido en experiencias anteriores (Videla *et al.* 1996). Se encontraron diferencias significativas entre fechas de muestreo para todos los suelos. En los suelos de Balcarce, Paraná y Anguil se observó una disminución significativa del nitrógeno en la BM hacia el final del ciclo del cultivo, lo que permitiría pensar que la BM fue una fuente de nitrógeno para el cultivo de trigo. En el suelo de Balcarce no se observaron diferencias significativas entre sistemas de labranzas, es posible que al muestrear hasta 20 cm se diluya el efecto de este tratamiento. Dalal *et al.* (1991) observaron una marcada disminución del NBM en labranza cero con la profundidad (0-2,5; 2,5-5; 5-10 cm). Carter y Rennie (1984) encontraron mayores diferencias entre labranza cero y convencional a 0-5 cm que a 5-10 cm de profundidad. Además encontraron una mayor inmovilización de nitrógeno en labranza cero y una declinación del pulso de  $\text{NH}_4^+$  hacia el final del ciclo del cultivo. Esto último concuerda con nuestros resultados. También se debe destacar que fue el primer año de siembra directa, por lo que es posible que no haya transcurrido el tiempo suficiente para observar un efecto significativo debido a este tratamiento.

Rice y Smith (1984) encontraron una rápida inmovilización del fertilizante, mayor en labranza cero que en convencional y lo relacionaron a un mayor contenido de carbono orgánico total del suelo en el primer tratamiento. Okereke y Meints (1985) encontraron diferentes grados de inmovilización según los suelos estudiados. Vos *et al.* (1993) también observaron inmovilización del nitrógeno agregado como fertilizante. Todos estos autores midieron la inmovilización mediante la determinación de nitrógeno orgánico marcado en el suelo. Zagal y Persson (1994) observaron un rápido incremento en el nitrógeno (tanto marcado como sin marcar) en la BM luego de agregar nitrógeno y glucosa hasta los 14 días, para luego disminuir rápidamente. En cambio, el nitrógeno orgánico marcado aumentó y se mantuvo constante hasta el final del período de medición (90 días). Estos autores señalaron que la BM está contenida en esta medida pero una parte importante del nitrógeno agregado ha pasado a formas orgánicas (a través de la BM) que no están dentro de la misma. Janzen (1990) concluyó que la liberación de nitrógeno desde las raíces es un camino importante en el ciclo de este nutriente,

siendo una inmovilización biológica alternativa, donde el nitrógeno inorgánico es asimilado por la planta y liberado dentro del suelo en forma orgánica. Todo esto sugiere que no es suficiente para describir el proceso de inmovilización medir solamente el NBM, puesto que por estas dos vías (nitrógeno inorgánico-microorganismos-nitrógeno orgánico y nitrógeno inorgánico-planta-nitrógeno orgánico) puede producirse inmovilización de nitrógeno sin ser detectado en la BM del suelo.

### Evolución del CBM y relación C/N

Se encontraron diferencias significativas entre fechas de muestreo en CBM para los suelos de Bordenave, Paraná y Balcarce (Figura 3). En los suelos de Bordenave y Paraná se observó un incremento significativo en el último muestreo. Para el suelo de Anguil si bien se observó una tendencia similar, debido a la alta variabilidad entre bloques no se obtuvieron diferencias significativas. En el suelo de Balcarce se observó un aumento significativo hacia la floración del cultivo. Franzluebbers *et al.* (1994a) obtuvieron un patrón estacional similar en cultivo de trigo y citando a Xu y Juma (1993) sostuvieron que el mismo se debería al incremento en la entrada de carbono de productos rizosféricos al suelo antes y durante la floración. La rizodeposición, definida como la pérdida de materiales orgánicos desde las raíces cuando estas crecen a través del suelo, puede estimular el crecimiento microbiano y su actividad en la rizósfera (Jensen 1996). Franzluebbers *et al.* (1995) observaron grandes cambios estacionales, sugiriendo que el aumento del CBM durante el período de crecimiento de los cultivos es debido a rizodeposición, y en el período de barbecho a la adición de restos de cosecha de cultivos.

No se observaron diferencias significativas entre tratamientos de fertilización en todos los suelos estudiados. En el suelo de Balcarce no se encontraron diferencias significativas entre sistemas de labranzas, al igual que para NBM debido posiblemente a la profundidad de muestreo (0-20 cm), como también a que fue el primer año de siembra directa. van Gestel *et al.* (1992) observaron una marcada disminución del CBM al muestrear cada 2,5 cm hasta 10 cm de profundidad, mientras que solo en los 2,5 cm superficiales encontraron diferencias entre siembra convencional y directa. Franzluebbers *et al.* (1994b) obtuvieron diferencias importantes entre sistemas de labranzas en los 5 cm superficiales.

La relación C/N en la BM en general se encuentra dentro del rango citado en la bibliografía (Stevenson 1986) (Figura 4). Sin embargo en los suelos de Anguil y Paraná en el último muestreo y en el suelo de Balcarce en los muestreos de macollaje y floración se observó un incremento en dicha relación. Esto indicaría un crecimiento desbalanceado de la BM por la formación de materiales

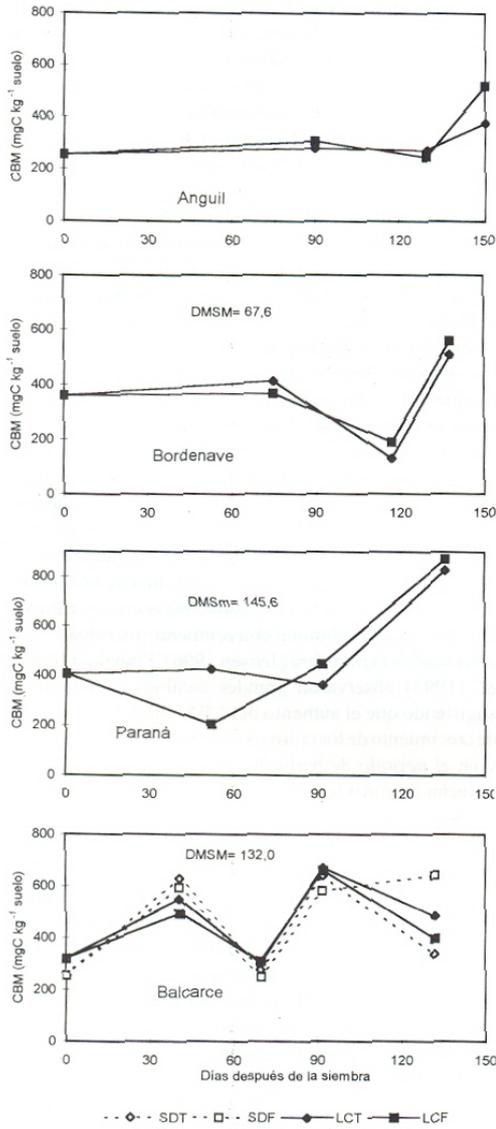


Figura 3: Evolución del carbono en la biomasa microbiana (CBM) en el cultivo de trigo en suelos de distintas localidades. SDT: siembra directa testigo sin fertilizar. SDF: siembra directa fertilizado. LCT: labranza convencional testigo sin fertilizar. LCF: labranza convencional fertilizado. DMSM: diferencia mínima significativa para la comparación del promedio de tratamientos de fertilización entre muestreos. DMSm: diferencia mínima significativa para la comparación entre muestreos en un mismo tratamiento de fertilización.

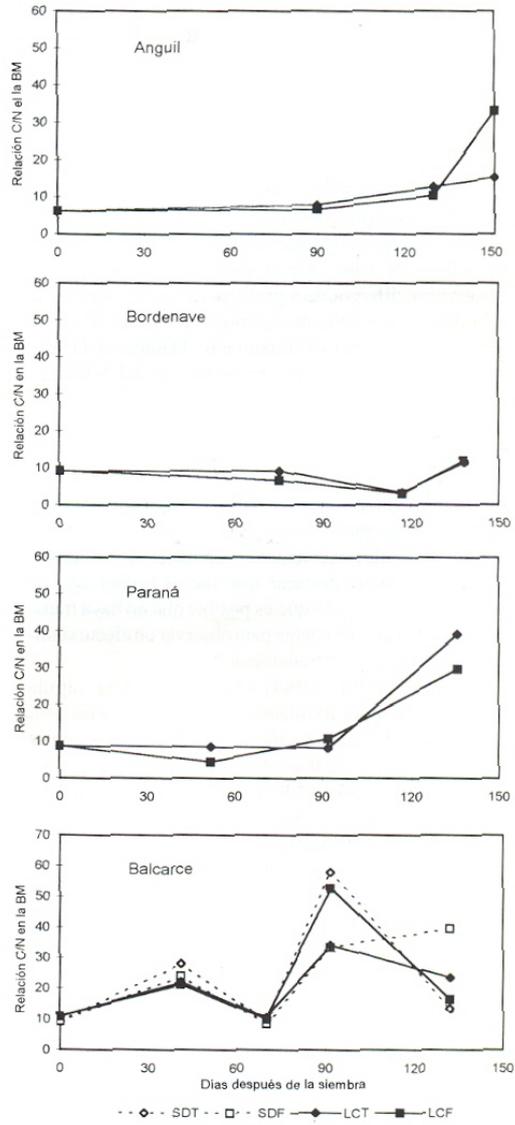


Figura 4: Relación C/N en la biomasa microbiana (BM) en suelos de las distintas localidades. SDT: siembra directa testigo sin fertilizar. SDF: siembra directa fertilizado. LCT: labranza convencional testigo sin fertilizar. LCF: labranza convencional fertilizado.

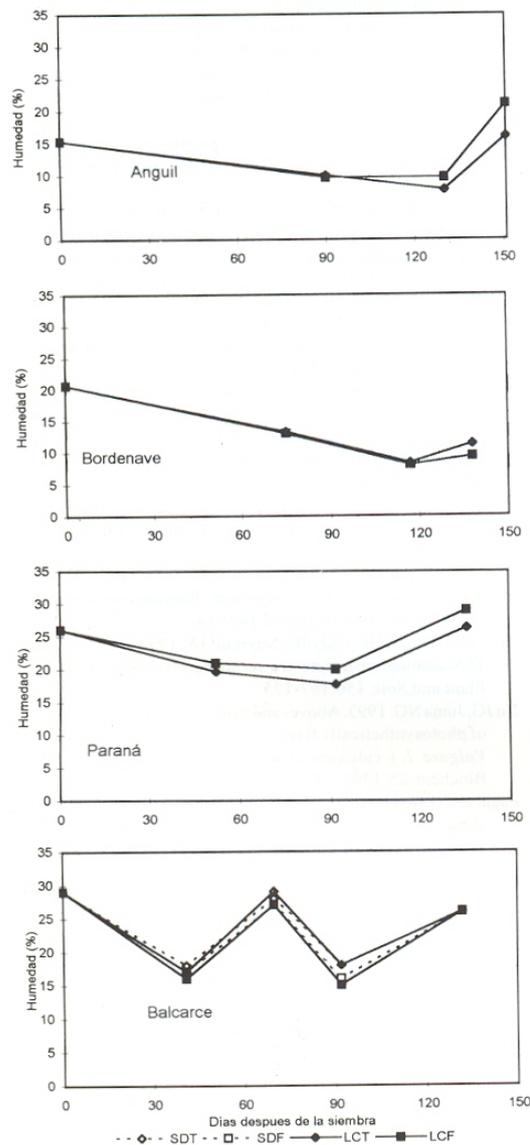


Figura 5: Contenido de humedad para los suelos de las distintas localidades. SDT: siembra directa testigo sin fertilizar. SDF: siembra directa fertilizado. LCT: labranza convencional testigo sin fertilizar. LCF: labranza convencional fertilizado.

intracelulares de reserva, polímeros extracelulares y/o una variedad de metabolitos de bajo peso molecular (Zagal, Persson 1994). Ross (1987) también encontró una relación inversa entre el pulso de carbono y el de nitrógeno en distintas épocas del año sobre pasturas. Es posible que este crecimiento desbalanceado pueda deberse también a una absorción de nitrógeno por el cultivo. Ocio *et al.* (1991) no encontraron una variación importante en la relación C/N en el tiempo, aunque no incluyeron la presencia de cultivos en sus tratamientos, mientras que Hassink *et al.* (1991) observaron mayor variación en la relación C/N en labranza convencional que en directa llegando a valores de 30 y 14, respectivamente. Sin embargo, en el muestreo de floración para el suelo de Balcarce se llegó a valores anormalmente altos en los tratamientos de siembra directa testigo y la-branza convencional fertilizado.

No se observó una tendencia definida del CBM con la humedad del suelo (Figura 5). En el suelo de Paraná se observó un incremento del CBM que coincide con un aumento en la humedad del suelo, siendo el coeficiente de determinación  $r^2=0,40$  significativo a un nivel de 0,05. En los suelos de Anguil y Bordenave los coeficientes de correlación no fueron significativos a un nivel de 0,05. En el suelo de Balcarce se obtuvo una relación inversa entre dichas variables  $r^2=0,50$  significativo a un nivel de 0,05. Ross (1987) encontró una correlación negativa del pulso de  $CO_2$  y la humedad del suelo, mientras que Hassink *et al.* (1991) observaron un gran incremento en la BM al rehumedecerse el suelo luego de un período muy seco y poca fluctuación en años sin valores extremos de humedad. van Gestel *et al.* (1993) encontraron un decrecimiento del CBM con la desecación del suelo y concluyeron que el tipo y fisiología de los microorganismos influyen su susceptibilidad al secado del suelo.

## REFERENCIAS

- Bonde TA, Rosswall T. 1987. Seasonal variation of potentially mineralizable nitrogen in four cropping systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51:1508-1514
- Bremner JM, Koeny DR. 1966. Determination and isotopic-ratio analysis of different forms of nitrogen in soils. III Exchangeable ammonium, nitrate and nitrite by extraction distillation methods. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 30:577-582.
- Carter MR, Rennie DA. 1984. Dynamics of soil microbial N under zero and shallow tillage for spring wheat, using  $^{15}N$  urea. *Plant and Soil.* 76:157-164
- Dalal RC, Henderson PA, Glasby JM. 1991. Organic matter and microbial biomass in a Vertisol after 20 yr of zero-tillage. *Soil Biol. Biochem.* 23:435-441
- Echeverría H, Bergonzi R, Ferrari J. 1992/93. Carbono y nitrógeno de la biomasa microbiana de suelos del Sudeste Bonaerense. *Ciencia del Suelo.* 11/12:36-41

- Franzluebbers AJ, Hons FM, Zuberer DA. 1994a. Seasonal changes in soil microbial biomass and mineralizable C and N in wheat management systems. *Soil Biol. Biochem.* 26:1469-1475
- Franzluebbers AJ, Hons FM, Zuberer DA. 1994b. Long-term changes in soil carbon and nitrogen pools in wheat management systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58:1639-1645.
- Franzluebbers AJ, Hons FM, Zuberer DA. 1995. Tillage and crop effects on seasonal soil carbon and nitrogen dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59:1618-1624
- Hassink J, Lebbink G, van Veen JA. 1991. Microbial Biomass and activity of a reclaimed-polder soil under a conventional or a reduced-input farming system. *Soil Biol. Biochem.* 23:507-513
- Janzen HH. 1990. Deposition of nitrogen into the rhizosphere by wheat roots. *Soil Biol. Biochem.* 22:1155-1160
- Jenkinson DS, Ladd JN. 1981. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. En *Soil Biochemistry*, Vol. 5. Paul E A, Ladd, JN. Dekker, New York (USA). 415-471
- Jenkinson DS, Powlson DS. 1976. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. Methods for measuring soil biomass. *Soil Biol. Biochem.* 8:209-213
- Jensen ES. 1996. Rhizodeposition of N by pea and barley and its effect on soil N dynamics. *Soil Biol. Biochem.* 28:65-71
- Nicolardot B, Chaussod R. 1986. Mesure de la biomasse microbienne dans les sols cultivés III. - Approche cinétique et estimation simplifiée de la azote facilement minéralisable. *Rev. Ecol. Biol. Sol.* 23:233-247
- Ocio JA, Brookes PC. 1990. An evaluation of methods for measuring the microbial biomass in soils following recent additions of wheat straw and the characterization of the biomass that develops. *Soil Biol. Biochem.* 22:685-694
- Ocio JA, Brookes PC, Jenkinson DS. 1991. Field incorporation of straw and its effects on soil microbial biomass and soil inorganic N. *Soil Biol. Biochem.* 23:171-176
- Okereke GU, Meints VW. 1985. Immediate immobilization of labeled ammonium sulfate and urea nitrogen in soils. *Soil Science.* 140:105-109
- Patra DD, Brookes PC, Coleman K, Jenkinson DS. 1990. Seasonal changes of soil microbial biomass in an arable and a grassland soil which have been under uniform management for many years. *Soil Biol. Biochem.* 22:739-742
- Rice CW, Smith MS. 1984. Short-term immobilization of fertilizer nitrogen at the surface of no-till and plowed soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48:295-297
- Ross DJ. 1987. Soil microbial biomass estimated by the fumigation-incubation procedure: seasonal fluctuations and influence of soil moisture content. *Soil Biol. Biochem.* 19:397-404
- Santanatoglia OJ, Alvarez R, Barbero N, Russo M. 1994. Descomposición de la cobertura de rastrojo y evolución de su contenido de nitrógeno en el doble cultivo trigo-soja bajo siembra directa. *Ciencia del Suelo.* 12:63-67
- Shen SM, Pruden G, Jenkinson DS. 1984. Mineralization and immobilization of nitrogen in fumigated soil and the measurement of microbial biomass nitrogen. *Soil Biol. Biochem.* 16:437-444
- Stevenson FJ. 1986. Cycles of soil carbon, nitrogen, phosphorous, sulfur and micronutrients. John Wiley, New York (USA). 164-166
- van Gestel M, Ladd JN, Amato M. 1992. Microbial biomass responses to seasonal change and imposed drying regimes at increasing depths of undisturbed topsoil profiles. *Soil Biol. Biochem.* 24:103-111
- van Gestel M, Mercckx R, Vlassak K. 1993. Microbial biomass responses to soil drying and rewetting, the fate of fast- and slow-growing microorganisms in soils from different climates. *Soil Biol. Biochem.* 25:109-123
- van Veen JA, Ladd JN, Amato M. 1985. Turnover of carbon and nitrogen through the microbial biomass in a sandy loam and a clay soil incubated with [<sup>14</sup>C(U)]glucose and [<sup>15</sup>N](NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> under different moisture regimes. *Soil Biol. Biochem.* 17:747-756
- Videla CC, Ferrari JL, Echeverría HE, Travasso MI. 1996. Transformaciones del nitrógeno en el cultivo de trigo. *Ciencia del Suelo.* 14:1-6
- Voroney RP, Paul E A. 1984. Determination of kC and kN in situ for calibration of the chloroform fumigation-incubation method. *Soil Biol. Biochem.* 16:9-14
- Vos GJM, Duquet B, Vedy JC, Neyroud JA. 1993. The course of <sup>15</sup>N-ammonium nitrate in a spring barley cropping system. *Plant and Soil.* 150:167-175
- Xu JG, Juma NG. 1993. Above- and below-ground transformation of photosynthetically fixed carbon by two barley (*Hordeum Vulgare L.*) cultivars in a Typic Cryoboroll. *Soil Biol. Biochem.* 25:1263-1272
- Zagal E, Persson J. 1994. Immobilization and remineralization of nitrate during glucose decomposition at four rates of nitrogen addition. *Soil Biol. Biochem.* 26:1313-1321