

## INVESTIGACIÓN

# ACTIVIDAD MICROBIANA EN UN SUELO DE ORIGEN VOLCÁNICO BAJO DISTINTO MANEJO AGRONÓMICO<sup>1</sup>

## Microbial activity in a volcanic ash soil under different agricultural management

Erick Zagal<sup>2</sup>, Nicasio Rodríguez<sup>3</sup>, Iván Vidal<sup>2</sup> y Lorena Quezada<sup>4</sup>

### ABSTRACT

The microbial activity of a volcanic soil of the Central Valley (Typic Melanoxerand) was measured at the end of a 7 years-old experiment in 6 crop rotations with different agricultural management and soil use intensity. Undisturbed samples of this soil were incubated in laboratory by 30 days under temperature (25 °C) and moisture controlled conditions. C-CO<sub>2</sub> mineralization was determined every 10 days and the N inorganic mineralization by quantifying its increment among days 0 and 30. At the same time, organic carbon (C) was determined in composite samples of the same essay. Quantification of C-CO<sub>2</sub> mineralization was effectively more sensitive than organic C determination to rotation treatments and it evidenced changes early in the fertility of the soil. A significant correlation ( $P \leq 0.05$ ) was found between C and nitrogen (N) mineralization ( $r = 0.61$ ) showing similar effects of agricultural management in both parameters. The organic matter content of the different rotations correlated significantly with microbial activity (mineralized C-CO<sub>2</sub>) confirming by this way the utility of this biological index in the evaluation of soil degradation in function of their use intensity.

**Key words:** mineralized C, soil quality, mineralized N, crop sequence.

### RESUMEN

La actividad microbiana en un suelo de origen volcánico del Valle Central (Typic Melanoxerand) fue medida al término de un experimento de 7 años de duración en 6 rotaciones con distinto manejo agronómico e intensidad de uso del suelo. Muestras no alteradas de este suelo fueron incubadas en laboratorio por 30 días bajo condiciones controladas de temperatura (25 °C) y humedad. El C-CO<sub>2</sub> mineralizado se determinó cada 10 días, y la mineralización de N-inorgánico, cuantificando su incremento, entre el día 0 y 30. Paralelamente, se midió carbono (C) orgánico en muestras compuestas del mismo ensayo. La cuantificación de C-CO<sub>2</sub> mineralizado fue efectivamente más sensible que la medición de C orgánico a los tratamientos de rotación y evidenció tempranamente cambios en la fertilidad del suelo. La mineralización de nitrógeno (N) mostró una correlación significativa ( $P \leq 0,05$ ) con aquella del C ( $r = 0,61$ ) indicando efectos similares de las rotaciones en este parámetro. Los contenidos de materia orgánica de las distintas rotaciones correlacionaron significativamente con la actividad microbiana (C-CO<sub>2</sub> mineralizado), confirmando así la utilidad de este índice biológico para evaluar la degradación de los suelos en función de su intensidad de uso.

**Palabras clave:** C-mineralizado, calidad de suelo, N-mineralizado, rotaciones.

<sup>1</sup>Recepción de originales: 25 de julio de 2001.

<sup>2</sup>Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía, Departamento de Suelos, Casilla 537, Chillán, Chile.

E-mail: ezagal@udec.cl

<sup>3</sup>Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Quilamapu, Casilla 426, Chillán, Chile.

<sup>4</sup>Tesis Ingeniero Agrónomo, Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía, Departamento de Suelos, Chillán, Chile.

## INTRODUCCIÓN

La utilización racional de un suelo implica la preservación de su materia orgánica (MO) y de su microflora asociada, con el objeto de no deteriorar su capacidad para regular la disponibilidad de macro y micronutrientes (Peirano *et al.*, 1992; Stevenson y Cole, 1999). Por todos los aportes benéficos que la MO otorga al suelo se le ha reconocido como un importante componente de su calidad (Elliot *et al.*, 1994).

En el pasado, estudios de la MO y su relación con las prácticas de manejo, han establecido su importancia para la fertilidad del suelo y la productividad de los cultivos (Campbell *et al.*, 1991, 1992). Más recientemente, la MO ha asumido gran importancia como fuente potencial de CO<sub>2</sub> atmosférico, por lo cual, conservar o aumentar sus niveles en el suelo se justifican no tan sólo desde una perspectiva agronómica, sino también desde un punto de vista medioambiental (Elliot *et al.*, 1994).

El contenido de la MO en un suelo está altamente influenciado por las prácticas agronómicas tales como tipo de cultivo, rotaciones y manejo de residuos (Janzen, 1987; Stevenson y Cole, 1999), y aunque ésta evoluciona muy lentamente, algunas de sus fracciones constituyentes pueden ser mucho más sensibles a cambios inducidos por tales prácticas (Omara *et al.*, 1997).

Estas fracciones, antes mencionadas, poseen tiempos de reciclaje que varían desde horas a siglos. En un modelo simple que describe la MO del suelo se consideran dos fracciones: una fracción lábil y una fracción estable (Tate, 1987). La primera es sensible a las modificaciones a corto plazo, influencia la actividad biológica y se comporta como fuente de nutrientes para vegetales y organismos del suelo. La segunda, representada por sustancias húmicas, está involucrada en procesos fisicoquímicos que afectan la estructura e intercambio de iones en el suelo (Bragato y Primavera, 1998).

La fracción lábil representa sólo una pequeña proporción del total de la MO, y es la más dinámica y sensible a través del tiempo. Además, está fuertemente vinculada a la productividad y fertilidad del suelo debido a su capacidad para suministrar nutrientes tales como N, fósforo (P), azufre (S) y micronutrientes (Biederbeck *et al.*, 1994, Stevenson y Cole, 1999). De este modo, la determinación de la fracción lábil provee un parámetro de fertilidad, productividad potencial y sirve como un índice temprano de cambio en la MO total (Dalal y Mayer, 1986).

Se ha propuesto un gran número de métodos para identificar y cuantificar los componentes lábiles de la MO. Estos son los métodos de fraccionamiento físico y los métodos biológicos. Los últimos se basan en el análisis de la población microbiana, el componente más activo y sensible al impacto externo dentro del suelo y que define sus características, especialmente en lo referente a su fertilidad, interviniendo en los procesos de descomposición de residuos, ciclado de nutrientes y transformaciones de la MO del suelo (Zunino *et al.*, 1982; Schnürer *et al.*, 1985; Collins *et al.*, 1992; Lobkov, 1999).

De esta forma, la actividad microbiana del suelo constituye una medida fundamental de importancia ecológica, puesto que por una parte representa el nivel de la actividad biológica involucrando el componente lábil de la MO y, por otra, integra los factores del medio ambiente y su influencia sobre la misma.

La respiración es uno de los parámetros más antiguos y más frecuentemente usados para cuantificar actividad microbiana en el suelo. El uso de este índice microbiológico ha permitido estimar la actividad general de la biomasa y como ésta es influenciada por clima, propiedades físicas y químicas, o prácticas de manejo agrícola, tales como labranza y rotaciones de cultivos (Campbell *et al.*, 1992). Todas las investigaciones se han basado en incubaciones de suelo, ya sea *in situ* o en laboratorio, con medición de productos finales como CO<sub>2</sub> y NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, los cuales

han permitido conocer la mineralización y estabilidad del carbono C en relación a la cantidad y calidad de la MO presente y las prácticas de manejo agronómico. El C y N mineralizado en estos experimentos han sido reportados como excelentes indicadores de cambio en el C y N orgánicos, respectivamente, ya que ellos representan una activa fracción de la MO del suelo (Carter y Rennie, 1982). Por otro lado, se destaca el beneficio de determinaciones simultáneas de C y N mineralizado para comprender mejor el reciclaje de C y N orgánicos en el suelo (Gupta *et al.*, 1994). Collins *et al.* (1992) identificaron variaciones en la mineralización de C como resultado de diferentes rotaciones de cultivo, atribuyendo estas variaciones a la diferente cantidad y disponibilidad de C lábil que cada rotación imprime al suelo, mientras que Omay *et al.* (1997) encontraron que el monocultivo disminuía considerablemente la mineralización de C, al compararlo con una sucesión de cultivos bajo cero labranza.

En el país la actividad microbiana en suelos derivados de cenizas volcánicas fue primeramente investigado por Urbina *et al.* (1969), quienes básicamente estudiaron el efecto de diferentes substratos energéticos sobre la actividad de la micropoblación. En esa oportunidad dichos autores obtuvieron cifras elevadas de CO<sub>2</sub> y N mineral, postulando, además, que una fracción de C incorporado como substrato fácilmente degradable era inmovilizado biológicamente o tal vez fijado en forma de un complejo órgano-mineral. Más recientemente Peirano *et al.* (1992) y Borie *et al.* (1995) determinaron actividad enzimática e hidratos de carbono, respectivamente, como medida de actividad microbiana en suelos cultivados y sus homólogos no cultivados. Al evaluar el efecto del manejo del suelo confirmaron la sensibilidad de los parámetros biológicos para seguir procesos de cambio en la MO y así orientar adecuadas prácticas agronómicas en suelos de origen volcánico.

Aguilera (1990), estudiando la MO en suelos volcánicos, señaló una pérdida de C por efecto

del continuo cultivo del suelo, la cual es más acentuada en aquellos suelos cuyo contenido de C no está muy humificado y, por tanto, su MO es más propensa a ser mineralizada.

En Chile los Andisoles ocupan extensas áreas de gran importancia agrícola y forestal, especialmente en la zona sur del país. Por tanto, el uso de índices que permitan estimar el impacto de las prácticas agrícolas sobre la fertilidad de estos suelos adquiere vital importancia. De este modo será posible mejorar la utilización del recurso suelo, con una visión productiva y sustentable.

Los objetivos de este estudio fueron: a) determinar actividad microbiana en un suelo bajo distinto manejo agronómico en un experimento de corta duración (7 años); b) evaluar la sensibilidad del parámetro actividad microbiana en comparación a C orgánico frente al manejo agronómico; c) establecer su utilidad como indicador biológico temprano de cambios en la fertilidad y calidad del suelo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo se realizó en el Laboratorio de Investigación del Departamento de Suelos de la Universidad de Concepción, Campus Chillán.

### Suelo

En el Campo Experimental Santa Rosa, perteneciente al Centro Regional de Investigación Quilamapu, del Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Chillán (36°31' lat. Sur, 71°54' long. Oeste) se realizó un muestreo de suelo durante el mes de julio de 1999, en un ensayo de evaluación de seis rotaciones establecidas en la temporada 1992/93. El suelo ha sido descrito como serie Diguillín (Typic Melanoxerand) ubicado en la zona centrosur de Chile, derivado de cenizas volcánicas o trumaos que descansa sobre un substratum constituido por toba volcánica y ocasionalmente gravas aluviales, textura franco a franco limosa (Carrasco, 1998). En el

Cuadro 1 se presentan algunas características químicas y físicas del suelo usado en este estudio; corresponden a las subparcelas de alta fertilidad (100%. Ver más abajo).

**Cuadro 1. Características físicas y químicas iniciales de un suelo serie Diguillín a la profundidad 0-10 cm**

**Table 1. Initial physical and chemical characteristics of a Diguillín soil at 0-10 cm depth**

Determinación	Valor
Densidad aparente <sup>1</sup>	1,05 g cm <sup>-3</sup>
Agua a 0,3 bar <sup>2</sup>	45,48%
Agua a 15 bar	29,40%
pH (agua 1:2.5)	5,98
N-NO <sub>3</sub> <sup>3</sup>	8,87 mg g <sup>-1</sup>
P (Olsen)	17,05 mg g <sup>-1</sup>
MO <sup>4</sup>	8,03 %
K <sup>5</sup>	0,33 cmol kg <sup>-1</sup>
Ca	5,75 cmol kg <sup>-1</sup>
Mg	0,65 cmol kg <sup>-1</sup>
Na	0,48 cmol kg <sup>-1</sup>
N-total (Kjeldahl)	0,45%

<sup>1</sup>Método del terrón.

<sup>2</sup>Base peso seco.

<sup>3</sup>Extracción con K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,5M y colorimetría.

<sup>4</sup>Digestión húmeda.

<sup>5</sup>Cationes de intercambio. Extracción con CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub> a pH 7.

El diseño experimental correspondió a bloques completos al azar (4 repeticiones) con parcelas principales (560 m<sup>2</sup>) manejadas con los tratamientos de rotación, y divididas longitudinalmente en dos subparcelas (280 m<sup>2</sup>) que fueron manejadas desde su establecimiento con los niveles de fertilización, alto (100%) y medio (70%) de N-P-K respectivamente. Las rotaciones incluyeron las siguientes especies: remolacha (*Beta vulgaris* L. subsp. *vulgaris*), trigo (*Triticum aestivum* L.), trébol rosado (*Trifolium pratense* L.), frejol (*Phaseolus vulgaris* L.), cebada (*Hordeum vulgare* L.), maíz (*Zea mays* L.), alfalfa (*Medicago sativa* L.), trébol blanco (*Trifolium repens* L.), y fueron las siguientes:

I. Rem/pradera: remolacha-trigo-trébol rosado (2 años) (R-T-TR (2 años)); II. Rem/cultivo: remolacha-trigo-frejol-cebada (R-T-F-C); III. Maíz/pradera: maíz-trigo-trébol rosado (2 años) (M-T-TR (2 años)); IV. Maíz/cultivo: maíz-trigo-frejol-cebada (M-T-F-C); V. Larga rot/alfalfa: remolacha-trigo-maíz-alfalfa (5 años) (R-T-M-A (5 años)); VI. Larga rot/trébol: remolacha-trigo-maíz-trébol blanco (5 años) (R-T-M-TB (5 años)).

Ciclo corto 4 años: rotaciones I, II, III, IV; ciclo largo 8 años: rotaciones VI y VI.

Cada subparcela se muestreó en zig zag, insertando tubos de polivinilcarbonato (PVC) (196,34 cm<sup>3</sup>) a una profundidad de 10 cm, obteniendo cinco repeticiones. Paralelamente se extrajeron diez muestras con barreno para formar una muestra compuesta representativa de cada subparcela. En total se colectaron 240 tubos y 48 muestras compuestas.

#### Determinación de C orgánico

Las muestras compuestas obtenidas en cada subtratamiento fueron analizadas en su contenido de C orgánico mediante oxidación húmeda y colorimetría, de acuerdo a la metodología de la Comisión de Normalización y Acreditación (CNA), Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo (1998). Este procedimiento se realizó en duplicado y se obtuvo la media por subparcela.

#### Determinación de C-CO<sub>2</sub> y N mineralizados

Las muestras no disturbadas obtenidas en terreno mediante tubos de PVC, se usaron para la determinación de la respiración del suelo como medida de la actividad microbiana mediante incubación en laboratorio. Para ello se utilizó como trampa de gases una solución de NaOH 1,0065 M. Las muestras de suelo llevadas previamente a capacidad de campo se ubicaron dentro de frascos (del tipo Mason jars), junto con 25 mL de solución NaOH y fueron sellados herméticamente utilizando parafilm. Luego fueron incubados en

cámara de incubación a una temperatura de 25 °C y humedad constante por 30 días junto con controles (blancos; 3 x 6 rotaciones). El CO<sub>2</sub> desprendido desde la muestra de suelo fue confinado y pudo difundir hasta ser absorbido por la solución alcalina. Cada diez días la cantidad de NaOH remanente fue determinada por titulación con HCl 0,1 M y se reemplazó por una nueva trampa de gases (Anderson, 1982).

Mediante la titulación de la solución de NaOH 1,0065 M, tanto del control como la expuesta a la atmósfera de suelo, se determinó la cantidad de álcali que no reaccionó con CO<sub>2</sub>. Para este propósito, desde la trampa se extrajeron en duplicado alícuotas de 2 mL de NaOH a las que se adicionó 1 mL de BaCl<sub>2</sub> 1,0 M para precipitar el carbono como BaCO<sub>3</sub> insoluble. Se adicionaron gotas de fenolftaleína como indicador ácido-base y se tituló el NaOH no neutralizado directamente con HCl.

Para calcular la cantidad de CO<sub>2</sub> desprendido desde las muestras de suelo se utilizó la fórmula de Anderson (1982). Finalmente los datos se expresaron como µg C-CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> de suelo seco al horno (105 °C). El N inorgánico fue determinado (como NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) para cada muestra compuesta. Para esto, previo a la incubación se mezclaron 5,0 g de suelo húmedo con 20 mL de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,5 M y se agitaron durante 60 min a 180 rpm en agitador recíproco. El sobrenadante fue filtrado con papel Whatman N° 42. En el extracto se cuantificaron NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y NH<sub>4</sub><sup>+</sup> por colorimetría mediante nitración con ácido salicílico y nesslerización respectivamente (Longeri *et al.*, 1979; Robarge *et al.*, 1983).

El mismo procedimiento se realizó con las muestras de suelo al término de los 30 días de su incubación. El N mineralizado se calculó como la diferencia de N inorgánico entre 0 y 30 días de incubación, siendo expresado como µg N g<sup>-1</sup> de suelo seco al horno (105 °C).

### Análisis estadístico

Los datos de C orgánico, C-CO<sub>2</sub> y N mineralizados se procesaron mediante análisis de varianza ANDEVA (P ≤ 0,01), comparaciones múltiples por test de Duncan (P ≤ 0,01) y análisis de correlación (P ≤ 0,01) (Walpole y Myers, 1992).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### C-orgánico

En consideración a que el nivel de fertilización no tuvo efecto significativo (P ≤ 0,05) sobre el C orgánico del suelo (COS), los datos fueron discutidos en base al efecto de la rotación (promedios de parcela completa). Ello concuerda con lo obtenido por El-Haris *et al.* (1983) y Campbell *et al.* (1991) en otros suelos.

Los contenidos de COS se presentan en el Cuadro 2. Ellos se presentaron en el rango de 4,36 a 5,18%, y coincidieron con lo señalado por Nanzyo *et al.* (1993) para Andisoles cultivados, quienes informaron contenidos de 4 a 5%.

Es sabido que diferencias en el contenido de MO como resultado del manejo y uso del suelo, pueden tener profundos efectos sobre las propiedades físicas y fertilidad del suelo; sin embargo, tales diferencias entre tratamientos son difíciles de medir en el corto o mediano plazo (Saffigna *et al.*, 1989). A pesar de ello, luego de siete años se detectaron diferencias significativas (P ≤ 0,05) de COS entre rotaciones (Figura 1), lo cual sugiere mecanismos distintos de estabilización de COS en suelos de origen volcánico comparados con aquéllos que no lo son. De esta forma, se pudo detectar cambios tempranos, especialmente entre los manejos más contrastantes en el uso intensivo del suelo, tales como R-T-M-TB (5) o R-T-M-A (5) comparados con R-T-F-C o M-T-F-C.

**Cuadro 2. C orgánico, C-CO<sub>2</sub> y N-(NO<sub>3</sub><sup>-</sup> + NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) mineralizado (0-10 cm) en un suelo serie Diguillín bajo distinto manejo agronómico**

**Table 2. Organic-C, C-CO<sub>2</sub> and mineralized-N-(NO<sub>3</sub><sup>-</sup> + NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) (0-10 cm) in a Diguillín soil, under different agricultural management**

Rotación <sup>1</sup>	C orgánico (%)	C-CO <sub>2</sub> mineralizado <sup>2</sup> (mg g <sup>-1</sup> )			N - mineralizado (mg g <sup>-1</sup> )
		10 días	20 días	30 días	
R-T-TR (2)	4,45	226,7	427,5	526,8	80,7
R-T-F-C	4,36	226,0	428,1	510,7	60,0
M-T-TR (2)	4,99	306,8	539,9	645,1	64,1
M-T-F-C	4,58	171,4	340,6	420,4	43,4
R-T-M-A (5)	5,04	411,4	721,2	873,7	92,4
R-T-M-TB (5)	5,18	465,6	861,8	1.045,5	106,9
F razón	5,3 <sup>3</sup>			6,0**	3,4*
<sup>3</sup> r		0,75**	0,72**	0,72**	
<sup>4</sup> r				0,61*	

<sup>1</sup>R = remolacha; M = maíz; T = trigo; F = frejol; C = cebada; TR = trébol rosado; TB = trébol blanco; A = alfalfa; (5) = 5 años; (2) = 2 años.

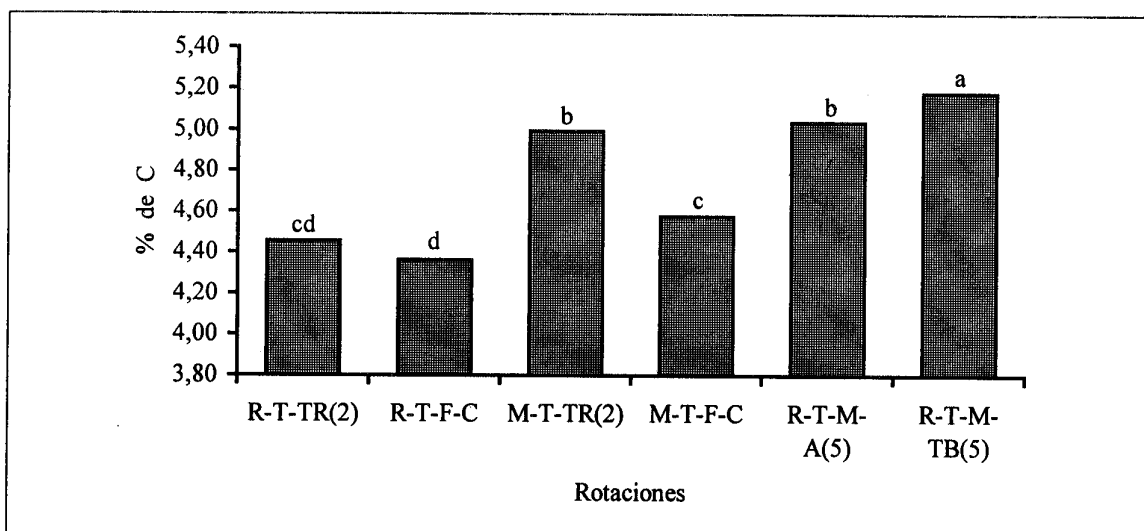
<sup>2</sup>Acumulado.

\*Significativo P ≤ 0,05.

\*\*Significativo P ≤ 0,01.

<sup>3</sup>r Correlación entre C orgánico y C-CO<sub>2</sub>.

<sup>4</sup>r Correlación entre N y C-CO<sub>2</sub> mineralizado.



**Figura 1. C orgánico (%) en muestras compuestas superficiales (0-10 cm) de un suelo serie Diguillín bajo distinto manejo agronómico.**

**Figure 1. Organic C (%) of composite superficial (0-10 cm) soil samples, Diguillín serie, under different agricultural management.**

Letras distintas indican diferencias significativas entre rotaciones según test de Duncan (P ≤ 0,05).

R = remolacha; M = maíz; T = trigo; F = frejol; C = cebada; TR = trébol rosado; TB = trébol blanco; A = alfalfa; (5) = 5 años; (2) = 2 años.

La estabilización y, consecuentemente, el prolongado tiempo de residencia de la MO en estos suelos estaría directamente relacionada con la actividad de superficie del alofán. Esta superficie físico-químicamente activa adsorbe las moléculas orgánicas (ácidos húmicos, fúlvicos, polisacáridos, enzimas) y las protege de posteriores degradaciones microbiológicas (Zunino *et al.*, 1982).

La inclusión de trébol blanco, alfalfa, y trébol rosado incrementó significativamente el contenido de COS en las respectivas rotaciones, excepto en R-T-TR(2), la cual no se diferenció significativamente de R-T-F-C (Figura 1). Tal comportamiento fue atribuido a un bajo rendimiento de TR para la rotación R-T-TR(2) en particular. Aún así, al observar comparativamente las cifras 4,45 y 4,36% de C para R-T-TR(2) y R-T-F-C respectivamente, se advirtió una tendencia favorable a TR.

#### C-CO<sub>2</sub> mineralizado

El análisis de varianza no arrojó efecto significativo ( $P \leq 0,05$ ) de los dos niveles de fertilidad sobre el C-CO<sub>2</sub> mineralizado, por lo cual se trabajó con los resultados medios por parcela completa.

En concordancia con estudios anteriores en otros suelos (Campbell *et al.*, 1991, 1992; Elliot *et al.*, 1994), C-CO<sub>2</sub> mineralizado fue efectivamente sensible a los tratamientos de rotación. Los tratamientos influyeron de manera más altamente significativa ( $P \leq 0,01$ ) sobre la actividad microbiana medida como C-CO<sub>2</sub>, que sobre el COS ( $P \leq 0,05$ ). Por ejemplo, la mayor diferencia en COS se produjo entre R-T-F-C y R-T-M-TB(5), siendo superior esta última rotación en 15,8%, mientras que para C-CO<sub>2</sub> (acumulado a 30 días) esta diferencia fue 59,8% y se produjo entre M-T-F-C y R-T-M-TB(5) (Cuadro 2) (Figura 1 y 3). Además, C-CO<sub>2</sub> discriminó claramente entre M-T-TR(2) y R-T-M-A(5), situación que no se observó mediante análisis de COS. Similares observaciones fueron hechas por Biederbeck *et*

*al.* (1984) y Janzen (1987) trabajando con suelos no volcánicos.

Coincidiendo con los resultados de Schnürer *et al.* (1985), se presentó una correlación positiva entre COS y C-CO<sub>2</sub> mineralizado obteniéndose el valor más alto transcurridos 10 días de incubación ( $r = 0,75$ ) (Cuadro 2). En general, al examinar la evolución diaria del C-CO<sub>2</sub> mineralizado para el primer, segundo o tercer período de 10 días (Cuadro 2, Figura 2) se observó que las mayores cantidades y diferencias entre las rotaciones se produjeron transcurridos los primeros 10 días. Las cantidades determinadas fueron 23, 23, 31, 17, 41, y 47  $\mu\text{g C-CO}_2 \text{ d}^{-1}$  para las rotaciones R-T-TR(2); R-T-F-C; M-T-TR(2); M-T-F-C; R-T-M-A(5) y R-T-M-TB(5), respectivamente. En el segundo período hubo una pequeña disminución del C-CO<sub>2</sub> diario liberado; las cantidades correspondientes fueron: 20, 20, 23, 17, 31, y 40  $\mu\text{g C-CO}_2 \text{ d}^{-1}$ . En el tercer período la evolución diaria de C-CO<sub>2</sub> representa entre 40 a 50% de lo registrado para el segundo período, pero las diferencias entre rotaciones aún permanecen. Las cantidades correspondientes fueron: 10, 8, 11, 8, 15 y 18  $\mu\text{g C-CO}_2 \text{ d}^{-1}$ , respectivamente.

El C-CO<sub>2</sub> mineralizado durante los primeros 10 días de incubación tendría su origen en el componente activo de la MO, e indicaría una acumulación variable de carbono orgánico lábil que resulta de las diferentes prácticas de manejo (Dinwoodie y Juma, 1988) (Figura 2). Se destacan los mayores valores de C-CO<sub>2</sub> mineralizado en las rotaciones que comparativamente presentan la menor intensidad de uso del suelo, R-T-M-TB(5) y R-T-M-A(5), sugiriendo un incremento potencial en la disponibilidad de C y energía para los heterótrofos del suelo (Elliot *et al.*, 1994). Tal disponibilidad sería consecuencia de un suministro constante y abundante de sustratos orgánicos, desde las praderas, tales como raíces, exudados y biomasa vegetal, lo cual favorecería la actividad de los microorganismos. Para el caso de las rotaciones más intensas, Sierra y Rodríguez (1986) indicaron que los cultivos de

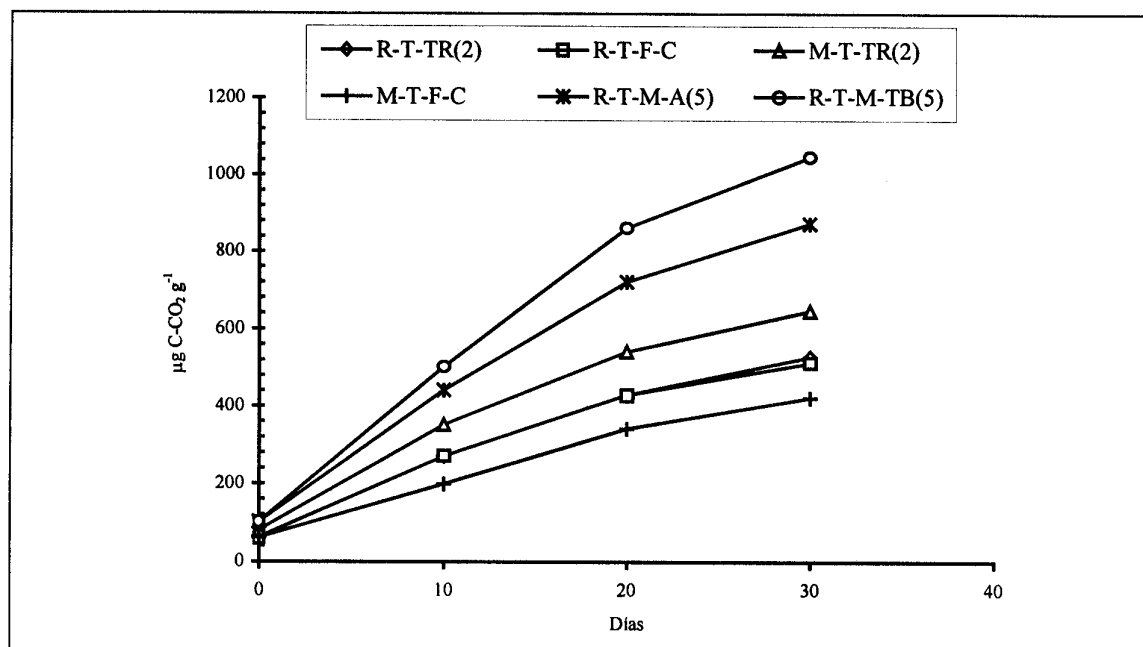


Figura 2. Evolución acumulada de C-CO<sub>2</sub> durante incubación en condiciones controladas (0-10-20-30 días) de muestras superficiales (0-10 cm) no disturbadas de un suelo serie Diguillín bajo distinto manejo agronómico. Figure 2. Accumulated C-CO<sub>2</sub> evolution during laboratory controlled incubation (0-10-20-30 days) of undisturbed superficial (0-10 cm) soil samples, Diguillín serie, under different agricultural management.

R = remolacha; M = maíz; T = trigo; F = frejol; C = cebada; TR = trébol rosado; TB = trébol blanco; A = alfalfa; (5) = 5 años; (2) = 2 años.

cereales y remolacha suministran menores cantidades de residuos al suelo en comparación a las praderas. Johansson (1994) señaló que la MO es preservada por una inadecuada aireación bajo las empastadas, lo cual se traduce en una mayor cantidad y disponibilidad de C orgánico para ser mineralizado por los microorganismos presentes en el sistema. Por otro lado, estos resultados confirman la importancia de las praderas en optimizar la actividad microbiana en el suelo (Lobkov, 1999).

En la Figura 3 se muestran los valores de C-CO<sub>2</sub> mineralizado acumulado al cabo de 30 días de incubación. La rotación R-T-M-TB(5) presentó un valor más alto que R-T-M-A(5). Esta respuesta se sustenta en las condiciones de suelo pedregoso y de poca profundidad efectiva que afectaron el desarrollo radicular de la alfalfa y por ende su rendimiento. Por el contrario, el trébol blanco,

de sistema radicular más superficial no estaría mayormente afectado por tal condición.

La labranza realizada en los sistemas más intensivos (R-T-F-C y M-T-F-C) sugiere un efecto negativo para el crecimiento y actividad microbiana, situación que ha sido reportada por numerosos autores (Schnürer *et al.*, 1985; Follet y Schimel, 1989). En tanto, Doran (1980) señaló que la aradura y cultivo son labores que aceleran los procesos de oxidación de la MO.

Se observaron diferencias significativas ( $P \leq 0,01$ ) entre M-T-TR(2) y M-T-F-C, lo cual indica un efecto benéfico de la pradera de TR sobre los niveles de carbono lábil y conjuntamente refleja la acción del continuo uso del suelo sobre la actividad microbiana. Sin embargo, al comparar R-T-TR(2) con R-T-F-C tal beneficio no resulta significativo, probablemente debido a un



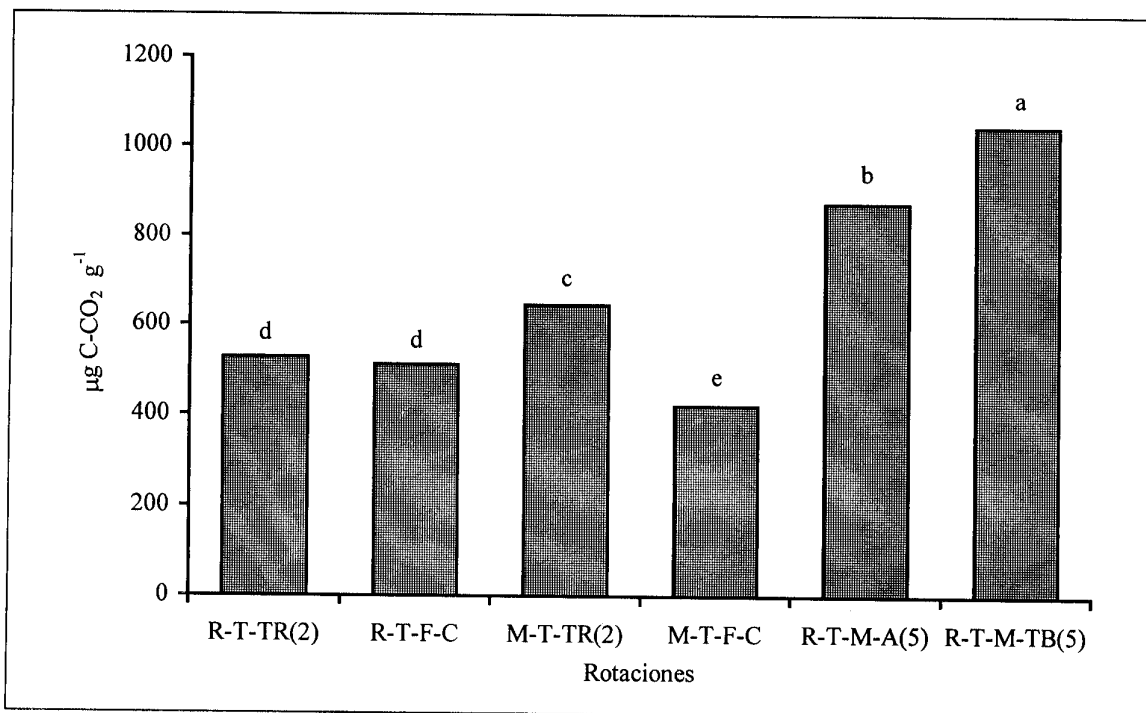


Figura 3. Mineralización (total 30 días) de C-CO<sub>2</sub> durante incubación en condiciones controladas de muestras superficiales (0-10 cm) no disturbadas de un suelo serie Diguillín, bajo distinto manejo agronómico.

Figure 3. Total C-CO<sub>2</sub> mineralization (0-30 days) during laboratory controlled incubation of undisturbed superficial (0-10 cm) soil samples, Diguillín serie, under different agricultural management.

Letras distintas indican diferencias significativas entre rotaciones según test de Duncan ( $P \leq 0,01$ ).

R = remolacha; M = maíz; T = trigo; F = frejol; C = cebada; TR = trébol rosado; TB = trébol blanco; A = alfalfa; (5) = 5 años; (2) = 2 años.

pobre rendimiento de TR para esa rotación. Aún así al observar los valores 526,8 y 510,7 µg C-CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> suelo respectivamente, fue posible observar una tendencia favorable en la rotación con TR (Cuadro 2).

Las cantidades mineralizadas a los 30 días (Cuadro 2, Figura 3) expresadas como porcentaje del C orgánico del suelo (COS) fueron 1,2; 1,2; 1,3; 0,9; 1,7 y 2,0% para las rotaciones R-T-TR(2); R-T-F-C; M-T-TR(2); M-T-F-C; R-T-M-A(5) y R-T-M-TB(5) respectivamente, sugiriendo un efecto de las leguminosas no sólo acumulando C orgánico en este suelo sino también aumentando la velocidad de mineralización.

### N mineralizado

Los valores iniciales de N inorgánico (día 0) fueron 14; 19; 22; 22; 31 y 28 µg N g<sup>-1</sup> de suelo para las rotaciones R-T-TR(2), R-T-F-C, M-T-TR(2), M-T-F-C, R-T-M-A(5) y R-T-M-TB(5), respectivamente.

En el Cuadro 2 se presentan los resultados de N mineralizado al cabo de 30 días de incubación. Los niveles de fertilización no afectaron en un grado significativo ( $P \leq 0,05$ ) la respuesta de N mineralizado. Sin embargo, este parámetro sí respondió significativamente ( $P \leq 0,05$ ) a los diferentes tratamientos de rotación, fluctuando en el rango 43 a 107 µg N g<sup>-1</sup> acumulado en un período de 30 días (Cuadro 2, Figura 4).

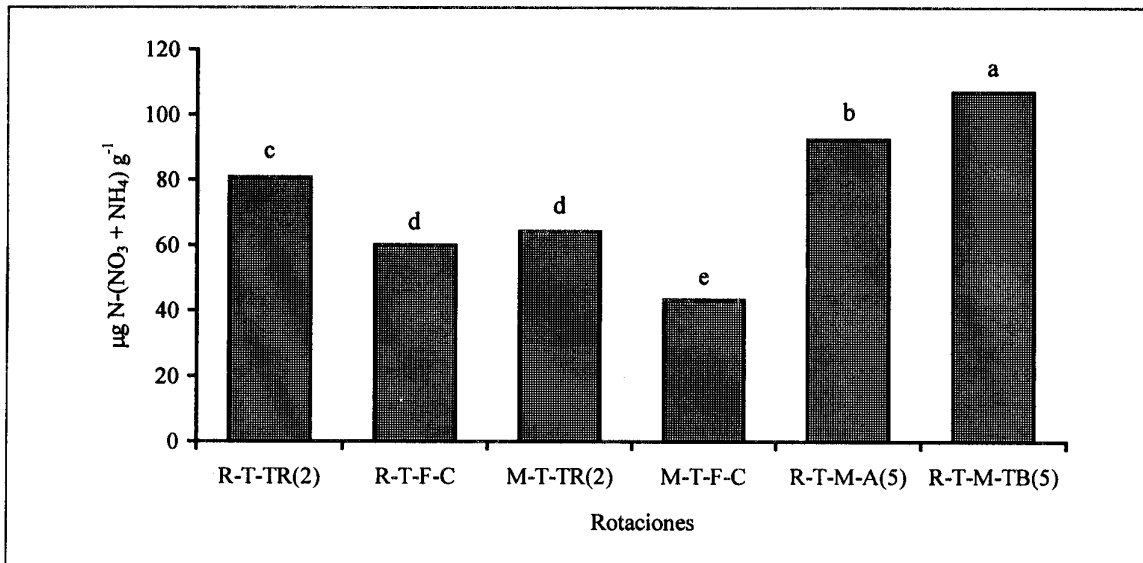


Figura 4. N mineralizado ( $N_0 - N_{30}$  días) durante incubación en condiciones controladas (30 días) de muestras superficiales (0-10 cm) no disturbadas de un suelo serie Diguillín bajo distinto manejo agronómico.

Figure 4. Mineralized N ( $N_0 - N_{30}$  days) during laboratory controlled incubation (30 days) of undisturbed superficial (0-10 cm) soil samples, Diguillín serie, under different agricultural management.

Letras distintas indican diferencias significativas entre rotaciones según test de Duncan ( $P = 0,05$ ).

R = remolacha; M = maíz; T = trigo; F = frejol; C = cebada; TR = trébol rosado; TB = trébol blanco; A = alfalfa; (5) = 5 años; (2) = 2 años.

Debido a que los procesos de mineralización de N y C están íntimamente relacionados, se esperaba una alta correlación entre ambas determinaciones, este valor, aunque significativo ( $P \leq 0,05$ ), alcanzó un  $r = 0,61$  cifra menor a lo informado por otros autores (Campbell *et al.*, 1991) (Cuadro 2). Tal comportamiento es atribuible a un alto coeficiente de variación ( $CV = 26\%$ ) obtenido en los datos de N-mineralizado. Esta situación tendría su origen en la inherente variabilidad espacial de N (Schnitzer y Khan, 1978) sumado al menor número de muestras utilizadas por tratamiento para esta determinación. Pese a ello, los resultados de N mineralizado en general siguieron el comportamiento lógico esperado. El incremento de los años de pradera en R-T-M-TB(5) y R-T-M-A(5) generó un aumento de la mineralización acumulada con relación al resto de los tratamientos (Figura 4). Es decir, la presencia de cultivos intensivos en la rotación generó una disminución en esta variable y las praderas presentaron un alto aporte de N desde sus resi-

duos, situación que también se verificó al comparar los tratamientos que incluyen trébol rosado, alfalfa y trébol blanco, con aquellas que no lo presentan. Schnitzer y Khan (1978) señalaron la posibilidad de que las ganancias de N excedan a las pérdidas, especialmente cuando leguminosas o empastadas de leguminosas son incluidas en mayor proporción dentro de una sucesión de cultivos.

Sierra y Rodríguez (1986), trabajando con Andisoles, señalaron que el aumento de los años de pradera incrementa la mineralización acumulada y el porcentaje mineralizado desde el N total. Ello estaría indicando un alto aporte de N desde los residuos de pradera. Además el "pool" de N estabilizado también debería aumentar.

Se esperaba una mayor pérdida de N en rotaciones tales como: R-T-F-C o M-T-F-C por ser cultivos más extractivos en este elemento. Es así como los años de cultivo determinaron menores niveles

de N mineralizado entre las rotaciones más intensas, así  $R-T-F-C < R-T-TR(2)$  y  $M-T-F-C < M-T-TR(2)$ . El manejo histórico (menor aporte de residuos), y la posibilidad de erosión como consecuencia del laboreo constante finalmente implica la desprotección y pérdida de N en el suelo (Gupta *et al.*, 1994). La diferencia no significativa entre  $M-T-TR(2)$  y  $R-T-F-C$ , 64 y 60  $\mu\text{g g}^{-1}$  respectivamente, fue atribuida a la alta variabilidad de los datos, situación que ya fue explicada anteriormente.

### CONCLUSIONES

De acuerdo a la presente investigación con respecto a actividad microbiana en un suelo trumao bajo distinto manejo agronómico, es posible concluir lo siguiente:

1. El índice actividad microbiana fue un parámetro efectivamente más sensible al manejo agronómico que el C orgánico, en un suelo de origen volcánico del Valle Central.

2. La actividad microbiana demostró ser un índice biológico adecuado para representar cambios en la fertilidad del suelo y su calidad.
3. Los contenidos de MO como resultado de las distintas rotaciones presentaron correlaciones significativas con la actividad microbiana.
4. En este estudio, dentro de los manejos más intensivos en el uso de suelo, la inclusión de leguminosas reveló una alta efectividad en la conservación de la fertilidad del suelo.

### RECONOCIMIENTO

El presente estudio se realizó en el Departamento de Suelos, Laboratorio de Investigación, de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Concepción con el apoyo de FONDECYT bajo el proyecto 1990 456. Agradecemos también la colaboración del Dr. Rodrigo Ortega en la planificación del experimento.

### LITERATURA CITADA

- 
- Aguilera, M. 1990. Materia orgánica en suelos volcánicos de Chile. Estudio de sus principales características físico-químicas. 174 p. Tesis de Magister en Química. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas, Santiago, Chile.
- Anderson, J.P. 1982. Soil respiration. p. 831-871. Number 9. In A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (eds.) *Methods of soil analysis, Part 2. Chemical and microbiological properties*. 2nd ed. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA.
- Biederbeck, V.O., C.A. Campbell, and R.P. Zentner. 1984. Effect of crop rotation and fertilization on some biological properties of a loam in South-western Saskatchewan. *Can. J. Soil Sci.* 64:355-367.
- Biederbeck, V.O., H.H. Janzen, C.A. Campbell, and R.P. Zentner. 1994. Labile soil organic matter as influenced by cropping practices in an arid environment. *Soil. Biol. Biochem.* 26:1647-1656.
- Borie, G., S.M. Aguilera, P. Peirano, y M. Caiozzi. 1995. "Pool" lábil de carbono en suelos volcánicos chilenos. *Agricultura Técnica (Chile)* 55:262-266.
- Bragato, G., and F. Primavera. 1998. Manuring and soil type influence on spatial variation of soil organic matter properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62:1313-1319.
- Campbell, C.A., V.O. Biederbeck, R.P. Zentner, and G.P. Lafond. 1991. Effect of crop rotations and cultural practices on soil organic matter, microbial biomass and respiration in a thin Black Chernozem. *Can. J. Soil Sci.* 71:363-376.

- Campbell, C.A., S.A. Brandt, V.O. Biederbeck, R.P. Zentner, and M. Schnitzer. 1992. Effect of crop rotations and rotation phase on characteristics of soil organic matter in a Dark Brown Chernozemic soil. *Can. J. Soil Sci.* 72:403-416.
- Carrasco, P. 1998. Descripciones de suelos VIII Región. 80 p. Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía, Departamento de Suelos, Chillán, Chile.
- Carter, M.R., and D.A. Rennie. 1982. Changes in soil quality under zero tillage farming systems: distribution of microbial biomass and mineralizable C and N potentials. *Can. J. Soil Sci.* 62:587-597.
- Comisión de Normalización y Acreditación (CNA). 1998. Manual de técnicas y procedimientos para el análisis de suelos y tejidos vegetales. Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo. Santiago, Chile.
- Collins, H.P., P.E. Rasmussen, and C.L. Douglas. 1992. Crop rotation and residue management effects on soil carbon and microbial dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:783-788.
- Dalal, R.C., and R.J. Mayer. 1986. Long term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in Southern Queensland. *Aust. J. Soil Res.* 24:301-309.
- Dinwoodie, G.D., and N.G. Juma. 1988. Allocation and microbial utilization of C in two soils cropped to barley. *Can. J. Soil Sci.* 68:495-505.
- Doran, J.W. 1980. Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44:765-771.
- El-Haris, M.K., V.L. Cochran, L.F. Elliot, and D.F. Bezdicek. 1983. Effect of tillage, cropping, and fertilizer management on soil nitrogen mineralization potential. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47:1157-1161.
- Elliot, E.T., I.C. Burke, C.A. Monz, and S.D. Frey. 1994. Terrestrial carbon pools: preliminary data from the Corn Belt and Great Plains regions. p. 179-191. *In* J.W. Doran, D.C. Coleman, D.F. Bezdicek, and B.A. Stewart (eds.) *Defining soil quality for a sustainable environment*. Special Publication Number 35, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA.
- Follet, R.F., and D.S. Schimel. 1989. Effects of tillage practices on microbial biomass dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53:1091-1096.
- Gupta, V.V.S.R., P.R. Grace, and M.M. Roper. 1994. Carbon and nitrogen mineralization as influenced by long term soil and crop residue management systems in Australia. p. 193-200. *In* J.W. Doran, D.C. Coleman, D.F. Bezdicek, and A. Stewart (eds.) *Defining soil quality for a sustainable environment*. Special Publication Number 35, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA.
- Janzen, H.H. 1987. Soil organic matter characteristics after long-term cropping to various spring wheat rotations. *Can. J. Soil Sci.* 67:845-856.
- Johansson, G. 1994. Production and turnover of roots and root derived organic C. Ph. D. Thesis. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Soil Science, Uppsala, Sweden.
- Lobkov, V.T. 1999. Biodiversity in agroecosystems as a factor optimizing the biological activity of soil. *Eurasian Soil Science* 32:664-668.
- Longeri, L., J. Etchevers, y J. Venegas. 1979. Metodología de perfusión para estudios de nitrificación en suelos. *Ciencia e Investigación Agraria (Chile)* 6:295-299.
- Nanzyo, M., R. Dahlgren, and S. Shoji. 1993. Chemical characteristics of volcanic ash soils. p. 145-187. *In* S. Shoji, M. Nanzyo and R. Dahlgren (eds.) *Volcanic ash soils: genesis, properties and utilization*. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.

- Omay, A.B., C.W. Rice, L.D. Maddux, and W.B. Gordon. 1997. Changes in soil microbial and chemical properties under long-term crop rotation and fertilization. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:1672-1678.
- Peirano, P., M. Aguilera, G. Borie, y M. Caiozzi. 1992. Actividad biológica en suelos volcánicos y su relación con la dinámica de la materia orgánica. *Agricultura Técnica (Chile)* 52:367-371.
- Robarge, W.P., A. Edwards and B. Johnson. 1983. Water and waste water analysis for nitrate via nitration of salicylic acid. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 14:1207-1215.
- Saffigna, P.G., D.S. Powlson, P.C. Brookes, and G.A. Thomas. 1989. Influence of sorghum residues and tillage on soil organic matter and soil microbial biomass in an Australian vertisol. *Soil Biol. Biochem.* 21:759-765.
- Schnitzer, M., and S.U. Khan. 1978. *Soil organic matter.* 319 p. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- Schnürer, J., M. Clarholm, and T. Rosswall. 1985. Microbial biomass and activity in an agricultural soil with different organic matter contents. *Soil Biol. Biochem.* 17:611-618.
- Sierra, C., y J. Rodríguez. 1986. Efecto del manejo del suelo en el suministro de N. *Ciencia e Investigación Agraria (Chile)* 13:229-237.
- Stevenson, F.J., and M.A. Cole. 1999. *Cycles of soil.* p. 427. 2nd ed. John Wiley & Sons, New York, USA.
- Tate, R.L. 1987. *Soil organic matter: Biological and ecological effects.* 291 p. John Wiley & Sons, New York, USA.
- Urbina, A., E. San Martín, y R. Schaefer. 1969. La actividad metabólica de algunos grupos fisiológicos de microbios en suelos Nadis de Chile. *Agricultura Técnica (Chile)* 26:145-160.
- Walpole, R., y R. Myers. 1992. *Probabilidad y Estadística.* 797 p. McGraw-Hill, México.
- Zunino, H., F. Borie, M. Aguilera, J. P. Martín, and K. Haider. 1982. Descomposición of C<sup>14</sup>-labeled glucose, plant and microbial products and phenols in volcanic ash-derived soils of Chile. *Soil Biol. Biochem.* 14:37-43.