

INVESTIGACIÓN

LA FRACCIÓN LIVIANA DE LA MATERIA ORGÁNICA DE UN SUELO VOLCÁNICO BAJO DISTINTO MANEJO AGRONÓMICO COMO ÍNDICE DE CAMBIOS DE LA MATERIA ORGÁNICA LÁBIL¹

Soil light organic matter fraction of a volcanic soil under different agronomic management as an indicator of changes in labile organic matter

Erick Zagal², Nicasio Rodríguez³, Iván Vidal² y A. Bárbara Flores⁴

ABSTRACT

Starting from an 18-year experiment with different crop rotations, samples of soil of volcanic origin from the foothills of Ñuble (37°09' S lat., 72°02' W long.) were obtained in order to determine the effect of agricultural management on the light fraction (FL) of the organic matter. FL was separated by density using NaI ($d = 1,8 \text{ g cm}^{-3}$). Carbon (C) and nitrogen (N) contents were determined by dry combustion both in the whole soil and the isolated FL. Light fraction contents were higher than those found in other research with non-volcanic soils. However, a clear trend to decrease FL was observed when soil use was intensified. The C or N proportions of the soil and the FL presented similar results. The use of this fraction as a sensitive indicator of changes in labile organic matter produced by different agricultural management is discussed.

Key words: soil physical fractionation by density, NaI, C, N, volcanic ash soils, andisols.

RESUMEN

A partir de un ensayo de rotaciones conducidas por 18 años, en un suelo volcánico de la precordillera de Ñuble (37°09' lat. Sur, 72°02' long. Oeste), se obtuvieron muestras para determinar los efectos del manejo agronómico sobre el contenido de la fracción liviana (FL) de la materia orgánica. Ésta fue separada mediante fraccionamiento físico por densidad, utilizando NaI ($d = 1,8 \text{ g cm}^{-3}$). Los contenidos de carbono (C) y nitrógeno (N) fueron determinados empleando combustión seca tanto al total del suelo como a la FL aislada. Los contenidos de FL fueron mayores a los encontrados en otras investigaciones con suelos no volcánicos. No obstante, se observó una tendencia a la disminución de FL a medida que se aumentó la intensidad de uso del suelo. La proporción de C o N del suelo, como C o N de la FL, presentaron resultados similares. El uso de esta fracción como un indicador sensible a los cambios en materia orgánica lábil producidos por diferentes manejos agronómicos es discutido.

Palabras clave: fraccionamiento físico por densidad, NaI, C, N, trumaos, andisoles alofánicos.

¹Recepción de originales: 19 de junio de 2001.

²Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía, Departamento de Suelos, Casilla 537, Chillán, Chile. E-mail: ezagal@udec.cl

³Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Quilamapu, Casilla 426, Chillán, Chile.

⁴Tesis Ingeniero Agrónomo, Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía, Departamento de Suelos, Casilla 537, Chillán, Chile.

INTRODUCCIÓN

La materia orgánica del suelo (MOS) no es un material bien definido y su permanencia en éste es muy variable, ya que presenta períodos de reciclaje que van desde semanas a siglos (Jenkinson y Rayner, 1977; Jenkinson *et al.*, 1992). Se puede dividir conceptualmente, de manera simple, en dos compartimentos (pooles): el primero correspondería a lo que se denomina MOS lábil, que se encuentra formada por restos de animales, plantas y microorganismos, transformados de manera incompleta, que son la primera fuente de humus y que no forman parte integral del suelo; y un segundo grupo, que se denomina MOS estable, y que está formado de sustancias húmicas y productos de descomposición que forman parte integral del suelo (Borie *et al.*, 1995; Labrador, 1996).

La MOS juega un rol importante en la formación y estabilidad de la estructura del suelo, y tiene un fuerte impacto en la infiltración de agua, desarrollo de raíces y resistencia a erosión. Debido a que algunas degradaciones en las propiedades mencionadas son irreversibles, la MOS es crucial en la sostenibilidad de ecosistemas agrícolas (Stevenson y Cole, 1999). Un efecto adicional de la MOS en la productividad agrícola es su papel de fuente importante de nutrientes, y su cuantificación es esencial para orientar respecto a las prácticas más sostenibles de manejo del suelo (Christensen, 1996). Esto último es particularmente dependiente del conocimiento del impacto del manejo agronómico sobre las diferentes fracciones de la MOS (Aguilera *et al.*, 1992; Cambardella y Elliott, 1992; Janzen *et al.*, 1992).

Es necesario conocer la naturaleza y el grado de descomposición de la MOS para tener información sobre el uso de fertilizantes minerales, abono animal y residuos de cultivos adicionados al suelo (Christensen, 1992; Gregorich y Janzen, 2000). Varios modelos describen la dinámica de descomposición de la MOS (modelo de Rothamsted, Jenkinson *et al.*, 1897; modelo

Century, Parton *et al.*, 1987; modelo "Holandés", Verberne *et al.*, 1990), pero una de sus mayores limitaciones es que los conceptos de compartimentos (pooles) con que trabajan constituyen fracciones difíciles de determinar experimentalmente, a excepción de algunas como la biomasa microbiana (Christensen, 1996).

Para separar y estudiar la MOS se han empleado métodos de fraccionamiento químicos y físicos. Trabajos experimentales en los últimos 10-15 años demuestran que los métodos de fraccionamiento físicos son capaces de definir y delimitar pooles de la MOS, que integran propiedades estructurales y funcionales, de significancia biológica de la misma. El fraccionamiento físico del suelo destaca el rol de los minerales y su estructura, localización de la MOS en el proceso de transformaciones ("turnover") de la misma. Los métodos de fraccionamiento físico tratan de evitar cambios químicos en la MOS y asumen que ésta puede ser dividida principalmente en dos compartimentos, la fracción liviana (FL) y la fracción pesada (FP), que difieren tanto en estructura como en función (Strickland y Sollins, 1987; Cambardella y Elliott, 1992; Christensen, 1992, 1996; Meijboom *et al.*, 1995; Stevenson y Cole, 1999).

La FL es la MOS no firmemente asociada a los minerales del suelo (Christensen, 1996), considerada como los residuos de plantas y animales a ser descompuestos con mayor rapidez (Meijboom *et al.*, 1995). Posee una relación C/N más alta que el suelo, con valores aproximados entre 12 y 30; su densidad específica es relativamente baja, $< 2 \text{ g cm}^{-3}$ (Christensen, 1992). Contribuye hasta 30% del total de la MOS, y es un importante pool de disponibilidad de C durante su descomposición (Stevenson y Cole, 1999).

La cantidad de FL es afectada por el uso del suelo, tipo de vegetación y otros factores que afectan la producción primaria y descomposición (clima, tipo de suelo, actividad microbiana) (Dalal y Henry, 1988; Cambardella y Elliott, 1992; Christensen, 1992, 1996; Janzen *et al.*, 1992; Bieder-

beck *et al.*, 1994; Grace *et al.*, 1995; Gregorich *et al.*, 1996). Se piensa que la acumulación de FL es favorable en climas fríos y secos, en suelos cuyo pH es bajo, y donde exista una vegetación continua con alto reciclaje de material vegetal (bosques y praderas) (Cambardella y Elliott, 1992; Christensen, 1992, 1996; Janzen *et al.*, 1992; Gregorich *et al.*, 1996).

Las pérdidas de MOS durante los primeros años de cultivo son mayores que en los años siguientes. Esta rápida descomposición inicial es probablemente el resultado de la descomposición de la FL (Cambardella y Elliott, 1992; Janzen *et al.*, 1992). De esta forma, la FL constituye una propiedad dinámica con proyecciones de ser usada en estudios de descomposición de MOS en diferentes ecosistemas y como un buen indicador biológico de efectos producidos como consecuencia de diferentes manejos agronómicos al corto y largo plazo (Christensen, 1992, 1996; Gregorich *et al.*, 1996; Janzen *et al.*, 1992). Por su naturaleza dinámica, la FL es más sensible que la MOS total en el corto plazo, a cambios en el ingreso de C (C-input) al sistema, y por lo tanto, ha sido usada como indicador temprano de cambios en la calidad de la materia orgánica en estudios que comparan distintos sistemas de producción agrícola (Fließbach y Mäder, 2000; Haynes, 2000).

La FP corresponde a la MOS incorporada en complejos organominerales, asociada a las partículas primarias de arcilla, limo y arena. Es aquella que se encuentra más transformada, por lo que su tasa de descomposición es más lenta. Posee una relación C/N más estrecha que la fracción anterior, y una mayor densidad específica, ya que se encuentra muy asociada a los minerales del suelo (Christensen, 1992). Se puede determinar como el material que sedimenta en un fluido de densidad 1,8 g cm⁻³. Constituye hasta 30-50% de la MOS.

Los suelos volcánicos se encuentran en el grupo de los Andisoles; en Chile ocupan entre 50 y 60% de 5.400.000 ha de suelos arables (Tosso,

1985). La serie Santa Bárbara (Typic Dystrandept) en Chile ocupa 495.162 ha, de las cuales, 182.128 ha se encuentran en la VIII Región, lo que equivale aproximadamente a 18% de la superficie agrícola total de la provincia de Ñuble (Espinoza, 1973). Estos suelos desempeñan un papel destacado en el desarrollo económico regional, ya que son los más productivos, y los cultivos con adecuadas medidas de manejo pueden alcanzar altos rendimientos (Espinoza, 1973; Tosso, 1985). Se comportan muy diferente a los demás suelos debido a que presentan características particulares con respecto a suelos de origen no volcánico, como su mayor contenido de arcillas (con gran área específica), elevado contenido alofánico, alta cantidad de humus, escasa disponibilidad de P y una descomposición más lenta de materiales orgánicos incorporados (Espinoza, 1973; Shoji *et al.*, 1993).

Aparentemente no existen en Chile, y en suelos de origen volcánico en general, investigaciones que reporten el fraccionamiento físico de la MOS por densidad.

El objetivo de esta investigación fue estudiar: a) la aplicabilidad del fraccionamiento físico de MOS en suelos volcánicos; b) la influencia ejercida por diferentes manejos agronómicos en el contenido de FL; y c) evaluar su sensibilidad como indicador de cambios en la materia orgánica lábil.

MATERIALES Y MÉTODOS

Suelos y tratamientos

Se utilizó un suelo volcánico correspondiente a la serie Santa Bárbara (Typic Dystrandept), proveniente de un estudio de rotaciones con diferente intensidad de uso del suelo, conducido por un período de 18 años por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Centro Regional de Investigación Quilmapu. El experimento se ubicó en la localidad de San Pedro, en la precordillera de Ñuble (37°09' lat. Sur, 72°02' long. Oeste). Esta zona presenta una pluviometría

anual de 1.485 mm y humedad relativa de 50 y 80%, en verano y primavera, respectivamente (Espinoza, 1973; Longeri, 1973). En esta área, en el mes más cálido (enero) la temperatura máxima del aire varía entre 27 y 29 °C, y la mínima del mes más frío (julio) entre 2,9 y 4,8 °C (del Pozo y del Canto, 1999).

Los tratamientos incluyeron suelo sin uso y con cuatro rotaciones, que fueron evaluados en parcelas de 20 m², con cuatro repeticiones cada uno. Los cultivos fueron trigo (*Triticum aestivum* L.), avena (*Avena sativa* L.), pradera natural, trébol subterráneo (*Trifolium subterraneum* L.), raps (*Brassica napus* L.) y lenteja (*Lens culinaris* L.). Las rotaciones fueron: 1. Suelo sin uso (sin cultivar, pradera natural) (Su); 2. Avena-trigo-avena-trigo (A-T-A-T), con quema de residuos; 3. Pradera natural 3 años-trigo (Pn-Pn-Pn-T); 4. Trébol subterráneo 3 años-trigo (Ts-Ts-Ts-T); 5. Raps-avena-lenteja-trigo (R-A-L-T). Los tratamientos 1 y 2 tuvieron tres repeticiones.

La serie Santa Bárbara corresponde a suelos depositacionales no glaciales de topografía ondulada a quebrada, en posición intermedia (precordillera). Derivados de cenizas volcánicas andesíticas y basálticas, más o menos recientes, estratificadas sobre tobas volcánicas o conglomerados volcánicos. Algunas de sus propiedades físicas indican que son suelos de baja densidad aparente (< 1 g cm⁻³), estructura granular fina, textura franco arenosa muy fina, alta capacidad de retención de humedad y buen drenaje (Espinoza, 1973; Longeri, 1973).

Las propiedades químicas de las muestras usadas en este estudio (0-20 cm) se describen en el Cuadro 1. Durante el estudio y previo a su procesamiento, permanecieron a 6 °C para disminuir significativamente la actividad microbiana y por ende los procesos de degradación. Aproximadamente 500 g de suelo por tratamiento fueron pasados por un tamiz de 6,30 mm, y posteriormente se determinó su contenido de humedad.

Cuadro 1. Características químicas de un suelo de origen volcánico (Santa Bárbara, Typic Dystrandept) bajo diferentes rotaciones de cultivos

Table 1. Chemical properties of a volcanic soil (Santa Bárbara, Typic Dystrandept) under different crop rotations

Rotación ¹	pH agua (rel.1:2.5)	P Olsen (mg kg ⁻¹)	K intercambio (cmol kg ⁻¹)	C total ² (g kg ⁻¹)	N total ² (g kg ⁻¹)	C/N
Su	5,79	6,0	0,60	88,0 (1,2) ³	5,8 (0,1)	15,02 (0,2)
A-T-A-T	5,93	19,9	0,28	101,3 (5,8)	6,9 (0,5)	14,65 (0,4)
Pn-Pn-Pn-T	5,59	15,1	0,53	111,1 (7,3)	8,1 (0,3)	13,61 (0,6)
Ts-Ts-Ts-T	5,59	15,7	0,34	107,4 (4,5)	7,9 (0,3)	13,54 (0,1)
R-A-L-T	5,85	17,6	0,17	98,6 (4,4)	7,0 (0,3)	13,92 (0,2)

¹La designación de tratamientos-rotación es la siguiente: Su = suelo sin uso, A = avena, T = trigo, Pn = pradera natural, Ts = trébol subterráneo, R = raps y L = lenteja.

²Para obtener porcentaje (%) dividir por 10. Para obtener mg kg⁻¹ (ppm) multiplicar por mil.

³(): Desviación estándar para cada tratamiento-rotación.

Las muestras se secaron o humedecieron según correspondía, con el objeto de alcanzar la humedad adecuada (15-18%) para el procedimiento de fraccionamiento físico.

Determinación de la fracción liviana

Sohi *et al.* (1998) propusieron un procedimiento físico por densidad para separar completamente MOS libre (FL), de la de complejos órgano-minerales. En una modificación al método, la FL fue removida por sedimentación gravitacional, en lugar de centrifugación, usando NaI, sal inorgánica, con densidad específica de $1,8 \text{ g cm}^{-3}$ (Strickland y Sollins, 1987).

Se usaron seis repeticiones de laboratorio de cada una de las repeticiones de las secuencias, debido a que la FL es muy variable (Sohi *et al.*, 1998, 2001). Se pesaron 15 g de suelo previamente preparado, por cada repetición de laboratorio, en probetas de 100 mL, y luego se agregaron 90 mL de NaI (densidad específica de $1,8 \text{ g cm}^{-3}$, determinada con hidrómetro). Después de una agitación manual suave por 30 s para dispersar el suelo, se dejó sedimentar durante un período de 48 h a temperatura ambiente. Posteriormente, con ayuda de una bureta plástica con su extremo cortado, conectada a una bomba de vacío, se succionó la solución de NaI y el material orgánico flotante de cada probeta, procurando retirar todo el material adherido a sus paredes y sin suspender el sedimento. La suspensión así succionada se filtró al vacío, con el objeto de aislar la FL. Para ello se vació, agitando simultáneamente para recuperar todo el material (no se usó agua destilada, ya que ésta diluye el NaI), en un sistema de filtración al vacío (Nalgene, VWR Scientific Products, Merck Chile) con receptores de 250 mL. Además se usaron filtros de fibra de vidrio (1,6 mm de retención de partículas, Whatman GF/A cat. Nº 1820-047, VWR Scientific Products, Merck Chile), los cuales fueron previamente secados en una estufa a $50 \text{ }^\circ\text{C}$ y luego tarados en una balanza de precisión, para obtener la FL por diferencia. Posteriormente, la solución de NaI fue recuperada con C activo. La FL aisla-

da se lavó con agua destilada, también al vacío, cambiando el receptor de la unidad de filtración. Se repitió el procedimiento con una nueva muestra, después de secar los receptores y los componentes del filtro.

La FL aislada en los filtros de fibra de vidrio se colocó en una placa Petri previamente tarada y se secó a $50 \text{ }^\circ\text{C}$ por 48 h. Debido a problemas con la estabilidad de los sedimentos floculados, y consecuentemente con una suspensión de material, se procedió a efectuar una nueva sedimentación de la FL aislada, por un período adicional de 24 h, para lo cual se unieron las seis repeticiones de laboratorio iniciales en una sola. Obtenida la FL seca, se molió en un mortero y se determinó C y N, mediante combustión seca utilizando un oxidador de elementos (Carlo Erba, Italia). Los resultados de los contenidos de FL, C y N de la FL y del suelo, se expresaron en base a suelo seco (a $50 \text{ }^\circ\text{C}$).

Análisis estadístico

El contenido de FL en el suelo y la proporción de C o N en el suelo, así como C o N de FL fueron sometidos al método especial de la F asimilada general, debido a que se presentaron condiciones de varianzas desiguales de los tratamientos (Chun Li, 1969). Para determinar diferencias significativas en lo que respecta a concentraciones de C y N y relación C/N, entre suelo y FL, se realizó la prueba de hipótesis de igualdad de medias. Para analizar el C total del suelo se realizó ANDEVA (Chun Li, 1969).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento fracción liviana

Las cantidades de FL en el suelo se encontraron dentro del rango de 40,39 y 58,43 g FL kg^{-1} suelo (Cuadro 2). Los valores encontrados concuerdan con resultados reportados en la literatura y que varían desde 0,3 a 82 g FL kg^{-1} suelo. En general, las concentraciones de FL en suelos de cultivo aparecen menores a 4 g FL kg^{-1} suelo (Chris-

tensen, 1992). Sin embargo, en este estudio se encontraron valores mucho más altos, los que coincidirían con aquellos determinados en suelos forestales (Christensen, 1992). Estos resultados (Cuadro 2) se explicarían parcialmente por las mayores cantidades de MOS que poseen los suelos de origen volcánico y también por el procedimiento utilizado de separación (sedimentación) de la FL. Este último, producto de la naturaleza de los minerales de los suelos volcánicos, originó la formación de sedimentos insuficientemente estables que significó la resuspensión de algunas partículas de suelo (arcilla y limo) junto a la FL.

Cuadro 2. Peso seco (50°C) de fracción liviana (FL), y C-FL o N-FL como una proporción del C o N total del suelo, en un suelo de origen volcánico (Santa Bárbara, Typic Dystrandep) bajo diferentes rotaciones de cultivos

Table 2. Dry weight (50°C) of light fraction (FL), and C-FL or N-FL as a proportion of soil total C or N, in a volcanic soil (Santa Bárbara, Typic Dystrandep) under different crop rotations

Rotación ¹	FL seca ² (g kg ⁻¹ suelo)	% de C o N	
		C-FL ²	N-FL ²
Su	58,434 (14,5) ³	10,747 (1,9)	9,526 (1,6)
A-T-A-T	40,391 (10,9)	6,984 (2,1)	6,239 (1,8)
Pn-Pn-Pn-T	56,138 (33,9)	8,811 (5,9)	8,031 (5,4)
Ts-Ts-Ts-T	55,048 (27,4)	8,072 (3,4)	7,460 (3,4)
R-A-L-T	51,977 (4,0)	7,383 (0,5)	6,844 (0,7)

¹La designación de tratamientos-rotación es la siguiente: Su = suelo sin uso, A = avena, T = trigo, Pn = pradera natural, Ts = trébol subterráneo, R = raps y L = lenteja.
²No hubo diferencias significativas entre tratamientos-rotaciones. (P > 0,05).

³(): Desviación estándar para cada tratamiento-rotación.

Estudios recientes (Sohi *et al.*, 2001; Zagal *et al.*, resultados no publicados) demostraron que este problema se minimiza cuando el método de fraccionamiento físico por densidad se realiza utilizando la vía de la centrifugación (8.000 x g, 30 min).

Aun cuando no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, se observó una tendencia a la disminución de FL a medida que se aumentó la intensidad de uso del suelo (Su > Pn-Pn-Pn-T ≥ Ts-Ts-Ts-T > R-A-L-T > A-T-A-T) (Cuadro 2).

La mayor cantidad de FL se encontró en el suelo sin uso, donde existió una mínima exportación de biomasa y nutrientes, y una vegetación permanente con alto retorno de residuos vegetales, razón por la cual la FL se acumuló. Las rotaciones que incluyen praderas siguen en cantidad de FL al suelo sin uso. En general, en los tratamientos con pradera (natural y artificial), se encontró mayor contenido de FL que en las rotaciones que no la incluyen (R-A-L-T y A-T-A-T). Es conocido que en los sistemas de praderas existe una mantención y aumento de MOS, producto de la proliferación y muerte de raíces (Grace *et al.*, 1995). La tendencia en la rotación Pn-Pn-Pn-T a una mayor cantidad de FL que Ts-Ts-Ts-T, podría estar reflejando diferencias en la velocidad de degradación de MOS, como una consecuencia del establecimiento y manejo de estas rotaciones. En la primera hay menor movimiento del suelo y por lo tanto, una menor aireación, lo que permitiría una mayor acumulación de FL. Además, en la rotación Pn-Pn-Pn-T podría existir un reciclaje más efectivo, propio de ecosistemas naturales. La tendencia observada entre las rotaciones R-A-L-T y A-T-A-T, que indican una mayor cantidad de FL en la primera que en la segunda, reflejan el mayor reciclaje de residuos orgánicos a la forma de hojas y nódulos en la rotación R-A-L-T, que en la rotación A-T-A-T, donde siempre se sometió a quema una mayor cantidad de rastrojos.

Porcentaje de C o N total del suelo, como C-FL o N-FL

El C-FL con respecto al C total del suelo exhibió valores en el rango 6,98 y 10,75% (Cuadro 2), lo que concuerda con el rango encontrado por Janzen *et al.* (1992), en un estudio de rotaciones establecidas y manejadas por períodos prolongados, donde la FL constituía el 2-17% del C total del suelo.

El N-FL con respecto al N total del suelo se encontró dentro de valores de 6,24 y 9,53% (Cuadro 2), concordando con Janzen *et al.* (1992), quienes encontraron que la FL constituía el 1-12% del N total del suelo.

A pesar que no se observaron diferencias significativas entre tratamientos en C-FL y N-FL, como una proporción del C o N total del suelo, existió una tendencia a la disminución en estas proporciones a medida que se aumentó la intensidad de uso del suelo. Así la secuencia en cuanto a concentración de C-FL y N-FL fue del siguiente orden: Su > Pn-Pn-Pn-T ≥ Ts-Ts-Ts-T > R-A-L-T > A-T-A-T (Cuadro 2), siguiendo el mismo comportamiento que el rendimiento de FL.

Rendimiento de C y N de la fracción liviana

Los valores de C-FL estaban dentro del rango de 140,17 y 174,90 g kg⁻¹ FL (Cuadro 3). Esta alta concentración de C en la FL se debe a que posee gran cantidad de material orgánico grosero que está parcialmente descompuesto, el que es relativamente alto en concentración de carbohidratos (Dalal y Henry, 1988).

Los valores de N-FL se encontraron dentro del rango de 9,31 y 11,47 g kg⁻¹ FL (Cuadro 3). En general, la FL posee mayor concentración de C y N relativo al total del suelo (Cambardella y Elliott, 1992; Janzen *et al.*, 1992; Meijboom *et al.*, 1995) (Figuras 1 y 2), observándose diferencias altamente significativas (P ≤ 0,01). Básicamente, esto se explicaría porque en la FL se ex-

Cuadro 3. Concentraciones de C y N, y relación C/N de la fracción liviana (FL) separada por densidad en un suelo de origen volcánico (Santa Bárbara, Typic Dystrandep) bajo diferentes rotaciones de cultivos

Table 3. Concentrations of C and N, and the C/N ratio of the light fraction (FL) separated by density, in a volcanic soil (Santa Bárbara, Typic Dystrandep), under different crop-rotations

Rotación ¹	C (g kg ⁻¹ FL)	N (g kg ⁻¹ FL)	C/N
Su	163,694 (11,9) ²	9,670 (0,6)	16,93 (0,8)
A-T-A-T	174,901 (19,2)	10,670 (0,9)	16,38 (0,8)
Pn-Pn-Pn-T	171,222 (18,5)	11,474 (1,1)	14,92 (0,6)
Ts-Ts-Ts-T	162,129 (9,4)	10,920 (0,6)	14,86 (0,9)
R-A-L-T	140,167 (5,6)	9,314 (0,3)	15,05 (0,5)

¹La designación de tratamientos-rotación es la siguiente: Su = suelo sin uso, A = avena, T = trigo, Pn = pradera natural, Ts = trébol subterráneo, R = raps y L = lenteja.
²() Desviación estándar para cada tratamiento-rotación.

cluye MOS asociada a partículas minerales y sólo se determina MOS libre (Janzen *et al.*, 1992), y también porque la FL contiene proporcionalmente más C-carbohidratos que el total de MOS (Dalal y Henry, 1988).

En este estudio no se encontró que la concentración de C y N de la FL fuese afectada por la rotación, de igual manera que los resultados encontrados en los contenidos de FL, especialmente si se observan los contenidos de C-FL en la rotación A-T-A-T, que aparecen como los más altos (Cuadro 3). Aparentemente esto podría ser una consecuencia de la determinación de C elemental en el análisis de las muestras, y cuyo origen se encuentra en la quema intensiva de rastrojos en esta rotación a través de un período prolongado

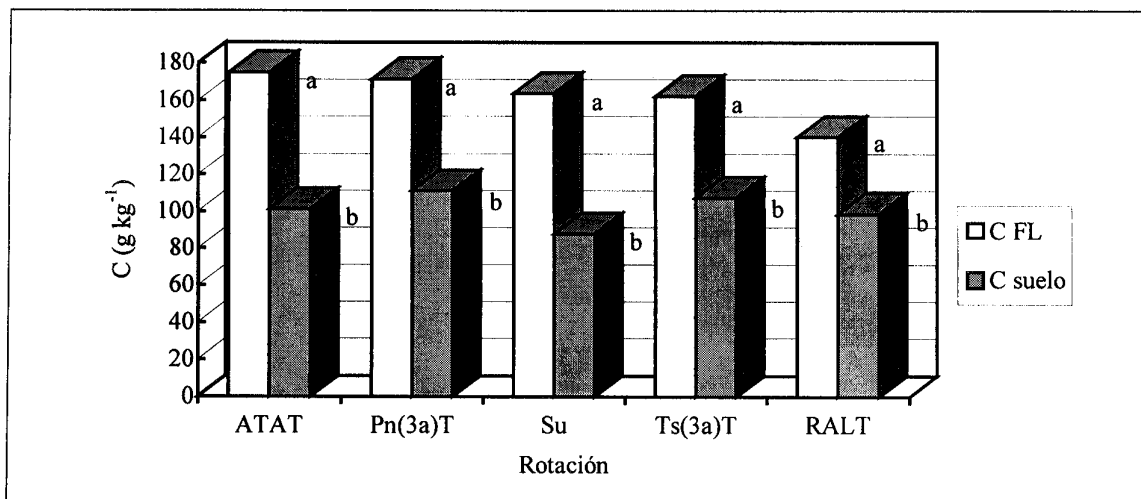


Figura 1. Concentraciones de C total en la fracción liviana (FL) y en el suelo, de un suelo de origen volcánico (Santa Bárbara, Typic Dystrandept); FL ha sido separada por densidad y bajo diferentes condiciones de rotación de cultivos.

Figure 1. Concentration of total C in the light fraction (FL) and soil, of a volcanic soil (Santa Bárbara, Typic Dystrandept); FL has been separated by density and under different crop-rotations.

Barras con distinta letra indican diferencias altamente significativas ($P \leq 0,01$).

La designación de tratamientos-rotación es la siguiente: Su = suelo sin uso, A = avena, T = trigo, Pn = pradera natural, Ts = trébol subterráneo, R = raps y L = lenteja, (3a) = 3 años.

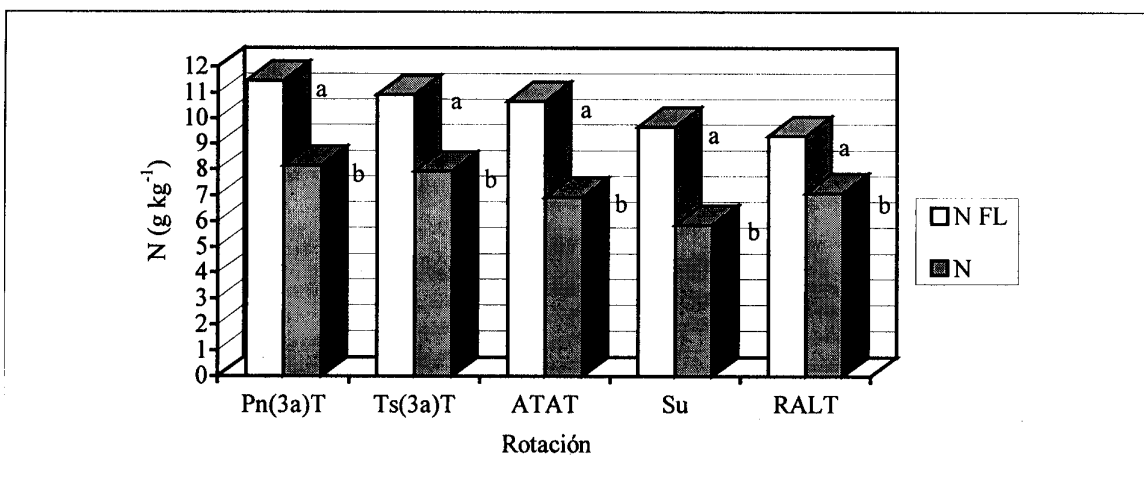


Figura 2. Concentraciones de N total en la fracción liviana (FL) y en el suelo, de un suelo de origen volcánico (Santa Bárbara, Typic Dystrandept), donde FL ha sido separada por densidad y bajo diferentes condiciones de rotación de cultivos.

Figure 2. Concentration of total N in the light fraction (FL) and soil, of a volcanic soil (Santa Bárbara, Typic Dystrandept) where the FL has been separated by density and under different crop-rotations.

Barras con distinta letra indican diferencias altamente significativas ($P \leq 0,01$).

La designación de tratamientos-rotación es la siguiente: Su = suelo sin uso, A = avena, T = trigo, Pn = pradera natural, Ts = trébol subterráneo, R = raps y L = lenteja, (3a) = 3 años.

(18 años). Sin embargo, la tendencia observada en los distintos tratamientos podría estar también reflejando, a lo menos parcialmente, el acceso de la FL al ataque microbial. Algunos autores han postulado una relación inversa entre la biomasa del suelo y la FL (Fließbach y Mäder, 2000). Esto significaría que a bajos contenidos de biomasa una parte pequeña de la FL estaría accesible a la biomasa microbial, mientras que un mayor tamaño de la misma significaría un aumento en la tasa de descomposición del material FL.

Por otro lado es reconocido, en general, que sistemas de producción que incluyen pastos por períodos prolongados presentan mayores contenidos de biomasa microbial que aquellos con rotaciones de cultivos anuales (Haynes y Williams, 1993; Haynes, 2000). De esta forma podría explicarse la tendencia a valores más bajos en las

concentraciones de C de la FL (Cuadro 3) en las secuencias que incluyen pastos, naturales o establecidos (ej. Su, Pn-Pn-Pn-T, Ts-Ts-Ts-T), y de valores más altos en las rotaciones de cultivos anuales, como ocurre al menos en el caso de la secuencia A-T-A-T. Las concentraciones de C de la FL encontradas en la rotación de cultivos R-A-L-T, podrían estar más relacionadas con menores cantidades de C total para esta secuencia (Figura 3) que a mayores contenidos de biomasa microbial.

En cierto modo opuesto a la hipótesis presentada anteriormente, un estudio de Haynes (2000) reportó que la inclusión de pastos y el aumento del número de años que éstos permanecieron en la rotación significaron un aumento en el C orgánico lábil (FL-C, biomasa-C, C-soluble al agua). En el tiempo las cantidades de C orgánico lábil en estos sistemas se mantuvieron más altas que lo

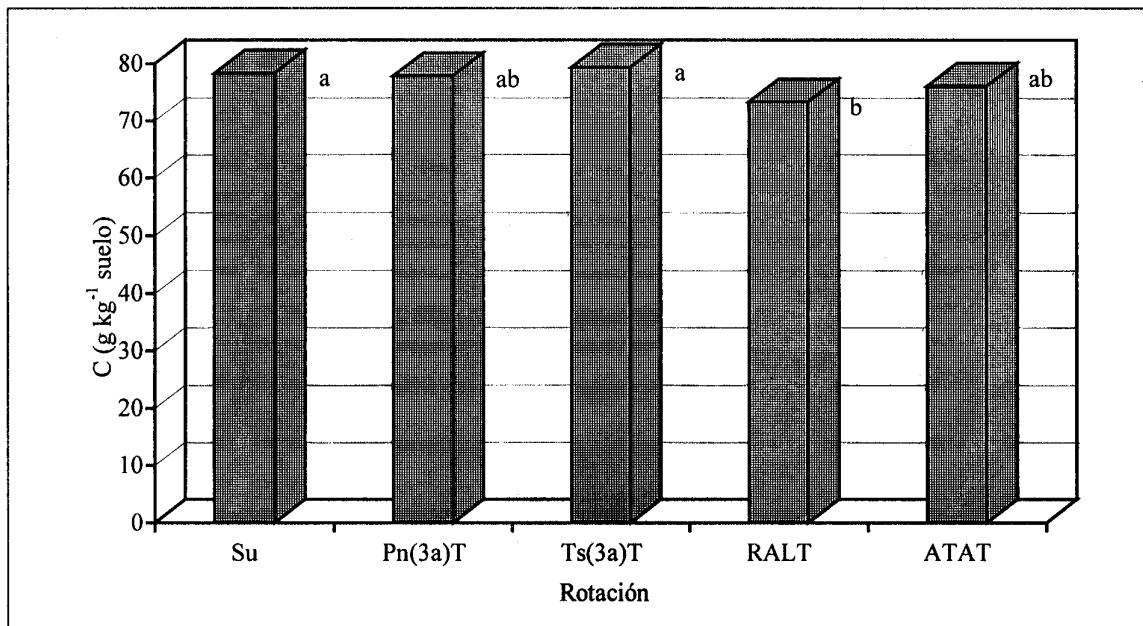


Figura 3. Contenidos de C total en un suelo de origen volcánico (Santa Bárbara, Typic Dystrandep), bajo diferentes condiciones de rotación de cultivos. Promedios de 12 años.

Figure 3. Contents of total C in a volcanic soil (Santa Bárbara, Typic Dystrandep) under different conditions of crop-rotation. Averages for 12 years.

Barras con distinta letra indican diferencias significativas ($P \leq 0,05$).

La designación de tratamientos-rotación es la siguiente: Su = suelo sin uso, A = avena, T = trigo, Pn = pradera natural, Ts = trébol subterráneo, R = raps y L = lenteja, (3a) = 3 años.

que ocurrió en aquellas rotaciones con cultivos anuales. La tendencia observada en los resultados del presente trabajo no corrobora totalmente las conclusiones de Haynes (2000), puesto que la secuencia A-T-A-T presentó los contenidos de C-FL más altos (posibles explicaciones discutidas anteriormente).

Por otra parte es necesario considerar que por su naturaleza dinámica y transitoria, la FL puede fluctuar marcadamente en sistemas con un manejo alternado de cultivos anuales y empastadas, aumentando en la fase de pastos y disminuyendo en el período de cultivos anuales (Haynes, 2000). Así, para un contenido determinado de C orgánico en el suelo se puede encontrar un rango considerable de valores de FL, dependiendo del tipo de cultivo en el pasado inmediato (Haynes, 2000). Además, la condición dinámica y transitoria de la FL hace que el tiempo de muestreo para su determinación también sea relevante. Según Magid *et al.* (1996), MO reciente ingresando al 'pool' FL (densidad < 1,13), desaparecería casi completamente en un período de 100 d. Aún es necesaria más investigación para comprender los mecanis-

mos que generan diferencias en MO lábil y que son producto de manejos agrícolas distintos. Esto es especialmente verdad en suelos volcánicos, donde los estudios son escasos.

Relación C/N-FL

Se encontraron valores de C/N-FL comprendidos en el rango 14,86 y 16,93 (Cuadro 3), lo que es consecuente con el rango de 12 a 30 reportado por otros investigadores (Christensen, 1992).

La relación C/N de la FL fue significativamente mayor que la relación C/N del suelo de las distintas rotaciones (Figura 4) ($P \leq 0,05$). Esto se explica en el hecho que la FL está compuesta de residuos vegetales frescos, fácilmente reconocibles y con una relación C/N más alta (Christensen, 1992; Janzen *et al.*, 1992).

C total del suelo y de la FL

Al comparar los contenidos totales de C del suelo, promedios de 12 años (Nicasio Rodríguez, INIA-Quilamapu, datos no publicados, comuni-

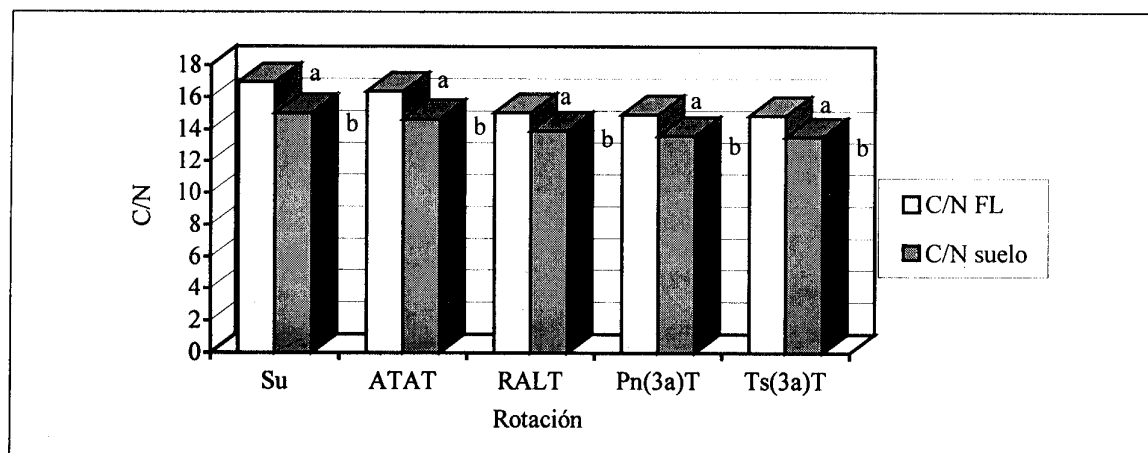


Figura 4. Relación C/N de la fracción liviana (FL) y del suelo, de un suelo de origen volcánico (Santa Bárbara, Typic Dystrandep), donde FL ha sido separada por densidad y bajo diferentes condiciones de rotación de cultivos.

Figure 4. C/N ratio of the light fraction (FL) and the soil, of a volcanic soil (Santa Bárbara. Typic Dystrandep) LF has been separated by density and under different conditions of crop-rotation.

Barras con distinta letra indican diferencias significativas ($P \leq 0,05$).

La designación de tratamientos-rotación es la siguiente: Su = suelo sin uso, A = avena, T = trigo, Pn = pradera natural, Ts = trébol subterráneo, R = raps y L = lenteja, (3a) = 3 años.

cación personal) (Figura 4), con la proporción de la FL del C total del suelo según tratamiento (Cuadro 2), se observan tendencias similares. Ambos contenidos aparecen más altos en rotaciones de menor intensidad de uso del suelo (Su; Pn-Pn-Pn-T; Ts-Ts-Ts-T) que en aquellas con uso del suelo más intensivo (R-A-L-T; A-T-A-T). Diversos estudios han demostrado que la determinación del C orgánico es un parámetro que puede indicar cambios en los contenidos de C del suelo en el largo plazo, como un efecto de diferentes adiciones de material orgánico (Persson y Kirchmann, 1994).

Por otro lado, se ha postulado a la FL como un indicador más sensible de los efectos de las prácticas agronómicas que el contenido total de MOS (Janzen *et al.*, 1992; Fliebbach y Mäder, 2000; Haynes, 2000). En este estudio, la diferencia del rango en valores determinados para C-FL y C total entre tratamientos, fue aproximadamente 1,3 y 1,1 veces respectivamente (Cuadro 3 y Figura 3), sugiriendo también a la FL como un indicador más sensible en este tipo de evaluaciones. No obstante, prácticas como la quema de rastrojos por períodos prolongados y la posibilidad de determinación de C elemental en las muestras de suelo y FL (Cuadro 3), estarían limitando la evaluación en rotaciones con cereales. Esto explicaría las diferencias entre los resultados de este estudio y los encontrados por Ruz *et al.* (1995), donde la rotación R-A-L-T aparece como la más intensiva, sin resultados reportados para la rotación A-T-A-T.

CONCLUSIONES

1. El método de fraccionamiento físico por densidad utilizando sedimentación gravitacional es aplicable en suelos volcánicos, pero sobreestima las cantidades de FL, debido a una contaminación con partículas minerales del suelo, producto de una suspensión de los sedimentos.
2. No hubo diferencias entre tratamientos en la FL y la proporción de C o N total del suelo, como C de FL o N de FL, lo que se atribuye principalmente al procedimiento utilizado de separación (sedimentación) de la FL. No obstante, se observó una tendencia a la disminución en estos parámetros a medida que aumentó el uso del suelo.

AGRADECIMIENTOS

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.

También nuestro reconocimiento al Dr. Pierre Bottner, Centre National de la Recherche Scientifique, Montpellier, Francia, por los análisis de C y N en suelo y fracciones aisladas.

LITERATURA CITADA

- Aguilera, S.M., I.U. Pino, C. de la P. Reyes, y M.M. Caiozzi. 1992. Efecto de la materia orgánica en la disponibilidad de fósforo, hierro, cobre y cinc en suelo Osorno. *Agricultura Técnica (Chile)* 52:422-425.
- Biederbech, 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.* 26:1674-1656.
- Borie, B.G., M.S. Aguilera, P.V. Peirano, y M.M. Caiozzi. 1995. "Pool" lábil de carbono en suelos volcánicos chilenos. *Agricultura Técnica (Chile)* 55:262-266.
- Cambardella, C.A., and E.T. Elliott. 1992. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:777-783.

- Christensen, B.T. 1992. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. *Adv. Soil Sci.* 20:2-38.
- Christensen, B.T. 1996. Matching measurable soil organic matter fractions with conceptual pools in simulation models of carbon turnover: Revision of model structure. *In* D. Powlson, P. Smith and J. Smith (eds.). *Proceedings of the NATO advanced research workshop "Evaluation of soil organic matter models using existing long term datasets"*. May 21-26, 1995. IACR-Rothamsted, Harpenden, UK. Springer-Verlag, Berlin, Germany.
- Chun Li, Ch. 1969. *Introducción a la estadística experimental*. p. 496. Omega S.A., Barcelona, España.
- Dalal, R.C., and R.J. Henry. 1988. Cultivation effects on carbohydrate contents of soil and soil fractions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52:1361-1365.
- Del Pozo, A., y P. del Canto. 1999. Áreas agroclimáticas y sistemas productivos en la VII y VIII regiones. p. 115. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro de Investigación Regional Quilamapu, Chillán, Chile.
- Espinoza, W. 1973. Los suelos volcánicos chilenos: distribución, génesis y características. 73 p. *Boletín Técnico N° 49*. Universidad de Concepción, Escuela de Agronomía, Departamento de Suelos, Chillán, Chile.
- Fließbach, A., y P. Mäder. 2000. Microbial biomass and size-density fractions differ between soils of organic and conventional agricultural systems. *Soil Biol. Biochem.* 32:757-768.
- Grace, P.R., J.M. Oades, H. Keith, and T.W. Hancock. 1995. Trends in wheat yields and soil organic carbon in the permanent rotation trial at the Waite Agricultural Research Institute, South Australia. *Aust. J. Exp. Agric.* 35:857-864.
- Gregorich, E.G., B.H. Ellert, C.F. Drury, and B.C. Liang. 1996. Fertilization effects on soil organic matter turnover and corn residue C storage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60:472-476.
- Gregorich, E.G., and Janzen, H.H. 2000. Decomposition. p. C-107-C-128. Section C, *Soil Biology and Biochemistry*. *In* M.E. Sumner (ed). *Handbook of Soil Science*. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.
- Haynes, R.J., and P.H. Williams. 1993. Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture ecosystem. *Adv. Agron.* 49:119-199.
- Haynes, R.J. 2000. Labile organic matter as an indicator of organic matter quality in arable and pastoral soils in New Zealand. *Soil Biol. Biochem.* 32:211-219.
- Janzen, H.H., C.A. Campbell, S.A. Brandt, G.P. Lafond, and L. Townley-Smith. 1992. Lighth-fraction organic matter in soils from long-term crop rotations. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:1799-1806.
- Jenkinson, D.S., D.D. Harkness, E.D. Vance, D.E. Adams, and A.F. Harrison. 1992. Calculating net primary production and annual input of organic matter to soil from the amount and radiocarbon content of soil organic matter. *Soil Biol. Biochem.* 24:295-308.
- Jenkinson, D.S., P.B.S. Hart, J.H. Rayner, and L.C. Parry. 1987. Modelling the turnover of organic matter in long-term experiments at Rothamsted. *INTECOL Bulletin* 15:1-8.
- Jenkinson, D.S., and J.H. Rayner. 1977. The turnover of soil organic matter in some of the Rothamsted classical experiments. *Soil Sci.* 123:298-305.
- Labrador, J. 1996. *La materia orgánica en los agro-sistemas*. 174 p. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación y Mundiprensa (eds.). V.A. Impresores, Madrid, España.
- Longeri, L. 1973. Contribución al estudio microbiológico de algunos suelos chilenos. 19 p. *Boletín Técnico Suelos N° 48*. Universidad de Concepción, Escuela de Agronomía, Departamento de Suelos, Chillán, Chile.

- Magid, T., A. Gorissen, and K.E. Giller. 1996. Search of the elusive "active" fraction of soil organic matter: three size-density fractionation methods for tracing the fate of homogeneously ¹⁴C - labelled plant materials. *Soil Biol. Biochem.* 28:89-99.
- Meijboom, F.W., J. Hassink, and M. Van Noordwijk. 1995. Density fractionation of soil macroorganic matter using silica suspensions. *Soil Biol. Biochem.* 27:1109-1111.
- Parton, W.J., D.S. Schimel, C.V. Cole, and D.S. Ojima. 1987. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in Great Plains grasslands. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51:173-179.
- Persson, J., and H. Kirchmann. 1994. Carbon and nitrogen in arable soils as affected by supply of N fertilizers and organic manures. *Agric. Ecosyst. Environ.* 51:249-255.
- Ruz, E., N. Rodríguez, y R. Velasco. 1995. Análisis de la política de precios agrícolas y su impacto en los cambios en el uso del suelo: efecto en parámetros de sustentabilidad en la precordillera Andina de la Provincia de Ñuble. 70 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Quilamapu, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), e Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), Chillán, Chile.
- Shoji, S., M. Nanzyo, and R.A. Dahlgren. 1993. Volcanic ash soils: genesis, properties and utilization. 288 p. *Developments in soil science* 21. Elsevier, Amsterdam, The Netherland.
- Sohi, S.P., N. Mathieu and J.L. Gaunt. 1998. ¹³C NMR to verify modelable soil organic matter fractions defined by physical location. *In* 16th World Congress of Soil Science, Montpellier, Francia, 20-26 august, 1998. International Soil Science Society (ISSS) and French Soil Science Society (AFES), Montpellier, Francia.
- Sohi, S.P., N. Mahieu, J.R.M. Arah, D.S. Powlson, B. Madari, and J.L Gaunt. 2001. A procedure for isolating matter fractions suitable for modelling. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65:1121-1128.
- Stevenson, F.J., and M.A. Cole. 1999. *Cycles of soil.* 427 p. 2nd ed. John Wiley & Sons, New York, USA.
- Strickland, T.C., and P. Sollins. 1987. Improved method for separating light and heavy fraction organic material from soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51:1390-1393.
- Tosso, J. (ed.). 1985. *Suelos volcánicos de Chile.* 723 p. Ministerio de Agricultura, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Santiago, Chile.
- Verberne, E.L.J., J. Hassink, P. De Willigen, J.J.R. Groot, and J.A. Van Veen. 1990. Modelling organic matter dynamics in different soils. *Neth. J. Agric. Sci.* 38: 221-238.