

INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE NITRÓGENO Y FÓSFORO SOBRE LA DESCOMPOSICIÓN DE PAJA DE TRIGO EN UN SUELO DERIVADO DE CENIZAS VOLCÁNICAS¹

Influence of nitrogen and phosphorous addition on the decomposition of wheat straw in a soil derived from volcanic ash¹

Erick Zagal²*, Luis Longeri^{2,3}, Iván Vidal², Glenn Hoffman⁴ y Ricardo González⁵

ABSTRACT

In a Typic Haploxerand soil (Santa Bárbara) from the VIII Region, Chile, the effect of the addition of N and P on mineralization of C and N as indicators of the rate of wheat (*Triticum aestivum* L.) straw decomposition was studied. Wheat straw was either left as a cover or incorporated into the soil in combination with N (0 and 100 mg kg⁻¹ soil) and P applications (0 and 65 mg kg⁻¹ soil). Respiratory activity of microbial biomass was determined by soil incubation without air influx. Results showed highly significant effects ($P \leq 0.01$) of wheat straw and P treatments on C mineralization. Wheat straw treatments showed 3 to 4 times more mineralization than the control treatment without straw. There was a greater positive effect on C mineralization when the straw was incorporated (12-15% higher) than when it was only left on the soil surface until 32 days and the application of P until day 12. There was no significant ($P \leq 0.01$) effect of N application on C mineralization. There was no difference in the rate of straw decomposition in the treatments with straw on the soil surface. Soil-N mineralization increased at 92 days with N addition to the soil. The average values determined were 90.18 and 33.79 mg N kg⁻¹ soil for treatments with and without N addition, respectively. However, straw addition caused highly significant immobilization of N at both 45 and 92 days.

Key words: soil incubation, microbial activity, management of residues, C and N mineralization, *Triticum aestivum*.

RESUMEN

En un suelo Typic Haploxerand, serie Santa Bárbara de la VIII Región se estudió el efecto de la adición de N y P, sobre la mineralización de C y N como indicadores de la tasa de descomposición de paja de trigo (*Triticum aestivum* L.). Se agregó paja sobre el suelo o incorporada en combinación con aplicaciones de N (0 y 100 mg kg⁻¹ suelo) y P (0 y 65 mg kg⁻¹ suelo). La actividad respiratoria de la biomasa microbiana se determinó por el método de incubación de suelos sin flujo de aire. Los resultados indicaron efectos altamente significativos ($P \leq 0,01$) de los tratamientos con aplicación de paja y del P en la mineralización de C. Los tratamientos con paja presentaron 3 a 4 veces mayor mineralización que el control sin paja. Hubo un efecto positivo mayor sobre la tasa de mineralización de C al incorporar la paja (superior en 12-15%) que cuando se dejó sobre el suelo sólo hasta los 32 días y de la aplicación de P hasta los 12 días. No hubo efecto significativo ($P \leq 0,01$) de la aplicación de N sobre la mineralización de C. No hubo diferencias en la tasa de descomposición de la paja en los tratamientos de paja sobre el suelo. La mineralización de N del suelo (nativo) a los 92 días se incrementó con la adición de N. Los valores promedios determinados para la aplicación y no adición de N fueron 90,18 y 33,79 mg N kg⁻¹ suelo respectivamente. Sin embargo, la adición de paja de trigo causó una inmovilización altamente significativa de N a los 45 y 92 días.

Palabras clave: incubación de suelos, actividad microbiana, manejo de residuos, mineralización de C y N, *Triticum aestivum*.

¹ Recepción de originales: 4 de abril de 2002.

² Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía, Casilla 537, Chillán, Chile. E-mail: ezagal@udec.cl *Autor para correspondencia.

³ Actualmente retirado.

⁴ Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Estadística, Casilla 160 – C, Concepción, Chile.

⁵ Tesis Ingeniero Agrónomo, Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción.

INTRODUCCIÓN

La mayor parte de los suelos jóvenes del área Centro Sur de Chile son derivados de cenizas volcánicas, entre ellos los trumaos, clasificados en el orden Andisoles (Shoji *et al.*, 1993). Estos suelos por su superficie y variado clima son de gran importancia en la agricultura y también ganadería (Besoain, 1985). Se caracterizan por tener un alto contenido de alofán (40 a 60%), alto contenido de carbono orgánico estabilizado (Zunino *et al.*, 1982), alto poder fijador de P (60 a 80%), pH ligeramente ácido, y una flora microbiana abundante y muy activa (Aguilera *et al.*, 1997).

Los suelos trumaos tienen características físicas adecuadas para la producción agrícola y pueden alcanzar altos rendimientos con adecuadas medidas de manejo. En el secano de precordillera de la provincia de Ñuble la cero labranza es altamente recomendable ya que reduce la erosión, conserva la energía, agua y estructura del suelo. Sin embargo, si grandes cantidades de paja permanecen en el suelo al momento de la siembra, puede ocurrir una reducción en la producción como resultado de su lenta descomposición, de efectos alelopáticos y de la inmovilización de N (Jansson y Persson, 1982; Kumar y Goh, 2000; Stott *et al.*, 1986).

Los procesos de descomposición de los residuos están controlados por tres factores principales: i) clase de residuos, calidad, y otras propiedades como madurez y tamaño de partículas, ii) factores edáficos, y iii) factores de manejo (por ejemplo, cantidad aplicada y localización) (Kumar and Goh, 2000).

La paja se considera un sustrato complejo con tres fracciones principales: azúcar y aminoácidos fácilmente metabolizables; celulosa y hemicelulosa, fracciones medianamente resistente a la descomposición microbiana; y lignina, fracción altamente resistente a la descomposición microbiana. A su vez, la biomasa microbiana que se desarrolla en forma sucesiva presenta una reserva fácilmente metabolizable tal como el citoplasma y una fracción más resistente

correspondiente a la pared celular (Smith *et al.*, 1993).

Cuando la paja se descompone en el suelo su dinámica es dependiente de dos componentes (pooles) principales, uno de C-lábil (descomponible) y otro de C-recalcitrante (resistente) (Knapp *et al.*, 1983; Robertson *et al.*, 1988; Tate, 1995). En efecto, el contenido de lignina, polifenoles y la composición de carbohidratos juega un rol importante, incluso más que la relación C/N y contenido de N en la predicción de la mineralización de C (Kumar and Goh, 2000; Smith *et al.*, 1993); aunque ha sido demostrado que en general materiales pobres en N como la paja, se descomponen más lentamente en el suelo producto de procesos de inmovilización (Jansson y Persson, 1982; Knapp *et al.*, 1983; Reinertsen *et al.*, 1984). Respecto de la mineralización de N los resultados son contradictorios. En la literatura, las dos fases que sugieren una fracción lábil y resistente, similares a lo observado con el C, ha sido reportada en algunos estudios; en otros, esta dinámica no ha sido observada (Kumar y Goh, 2000).

Entre los factores edáficos que influyen la tasa de mineralización de C y N están el pH, la humedad y la temperatura. El pH óptimo es cercano al neutro, condiciones óptimas de humedad fluctúan entre 0,3 MPa y saturación (60-90% del espacio poroso ocupado por agua). El máximo crecimiento y actividad de los microorganismos ocurre en el rango de temperatura de 20-40°C, lo que coincide con tasas máximas de descomposición de la materia orgánica. El oxígeno también gobierna la tasa de mineralización y la aireación invariablemente estimula la mineralización de C (Tate, 1995).

Por otro lado, en suelos volcánicos jóvenes, nutrientes como el N y el P también podrían constituirse en factores limitantes en la mineralización de C (Munbar y Wollum, 1977). La baja disponibilidad de estos nutrientes en estos suelos limita la actividad microbiana. En el caso del N bajas tasas de mineralización están asociadas a un alto grado de estabilización de la MO. Mecanismos físicos como el tipo y grado de

agregación de los coloides orgánicos y minerales del suelo, pueden significar que enzimas y otros metabolitos pueden ser adsorbidos o atrapados dentro del complejo coloidal disminuyendo las tasas de descomposición, y contribuyendo así a la acumulación de C y N orgánicos (Six *et al.*, 2002). Además, interacciones de orden químico entre alofán y humus, los componentes amorfos del suelo, pueden producir resultados similares; aparentemente debido a una adsorción directa de los coloides orgánicos o a la formación de un complejo Al-humus con grupos de Al activo asociados con la superficie del alofán (Zunino *et al.*, 1982; Nanzzyo *et al.*, 1993). Al respecto, Zunino *et al.* (1982) en una comparación de suelos volcánicos, jóvenes y suelos no volcánicos encontró que los residuos derivados de la celulosa y la lignina son más fuertemente estabilizados por el alofán que la glucosa, dificultando su descomposición por los microorganismos. La baja disponibilidad del P en suelos derivados de cenizas volcánicas es un resultado de su alto poder de fijación, mecanismo asociado principalmente a los altos contenidos de alofán y MO existentes en estos suelos (Nanzzyo *et al.*, 1993).

La localización de los residuos también afecta la tasa de descomposición. Los residuos incorporados en el suelo están sometidos a una temperatura y humedad más homogéneos y están en más íntimo contacto con la comunidad microbiana, lo que conduce a una rápida descomposición; mientras que con los residuos dejados en la superficie estas condiciones son menos favorables disminuyendo la tasa de descomposición, especialmente en la fase inicial (Douglas *et al.*, 1980; Kumar y Goh, 2000, Smith *et al.*, 1993).

El principal parámetro para determinar la descomposición de residuos en un suelo es su actividad respiratoria, la que se mide mediante el consumo de oxígeno o la liberación de C-CO₂ (Anderson, 1982). También puede ser cuantificada la producción de N mineral (NH₄⁺, NO₃⁻). Debido a que los procesos de mineralización e inmovilización de N son opuestos y ocurren simultáneamente, la determinación de la cantidad de N mineralizado mide sólo la mineralización

neta o sobreflujo de N sobre la demanda microbial, sin asumir la acumulación de productos intermediarios (Jansson y Persson, 1982; Tate, 1995). La incubación de suelo bajo condiciones controladas de laboratorio ha sido frecuentemente usada en ensayos de mineralización de C y N, para estudiar la incidencia de factores que la afectan (Stott *et al.*, 1986; Azmal *et al.*, 1996).

Se plantea la hipótesis que una baja disponibilidad de N y P en suelos volcánicos jóvenes limita la actividad microbial y consecuentemente disminuye la tasa de descomposición de los residuos. Se asumió además que si una proporción de los nutrientes es aplicada directamente a la paja, esto aceleraría la descomposición, producto de una disponibilidad inmediata de nutrientes a la microflora presente en la paja. Así, los objetivos del estudio fueron: a) determinar el efecto de aplicar N y P sobre la mineralización de C y N como indicadores de la tasa de descomposición de la paja de trigo; b) determinar la incidencia de aplicar el N y P, todo al suelo o al suelo y la paja; y c) comparar el efecto sobre la mineralización de C de incorporar la paja o dejarla en la superficie.

MATERIALES Y MÉTODOS

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

Suelo y paja de trigo

El suelo usado corresponde a la serie Santa Bárbara (Typic Haploxerand), muestreado en el predio Los Mañíos, comuna de El Carmen, Provincia de Ñuble, VIII Región (36°50' lat. Sur; 72° long. Oeste). Se colectaron 15 submuestras de suelo de distintos sectores del potrero con barreno, a una profundidad de 0-20 cm, las cuales fueron mezcladas posteriormente (muestra final compuesta). La paja se obtuvo de un rastrojo de trigo en el mismo predio. Algunas características químicas del suelo se muestran en el **Cuadro 1**. La paja presentó una relación C/N de 107 y su contenido de C y N fue 44 y 0,41% respectivamente.

Cuadro 1. Características químicas del suelo (Santa Bárbara, Typic Haploxerand).
Table 1. Soil chemical properties (Santa Bárbara, Typic Haploxerand).

Suelo	Unidad	Valor	Nivel
pH H ₂ O 1:2.5		6,95	Neutro
N-NO ₃ ¹	mg kg ⁻¹	46,3	Medio
P (Olsen)	mg kg ⁻¹	7,7	Medio
C orgánico ²	%	5,37	Medio
Materia orgánica	%	9,25	Medio
N orgánico (Kjeldahl)	%	0,41	Medio
Relación C:N		13,09	Medio
K ³	cmol + kg ⁻¹	1,5	Alto
Ca ³	cmol + kg ⁻¹	7,33	Medio
Mg ³	cmol + kg ⁻¹	1,2	Alto
Na ³	cmol + kg ⁻¹	0,2	Medio
Fe	mg kg ⁻¹ (DTPA) ⁴	22,4	Alto
Mn	mg kg ⁻¹ (DTPA)	2,0	Alto
Zn	mg kg ⁻¹ (DTPA)	0,7	Medio
Cu	mg kg ⁻¹ (DTPA)	1,34	Alto
Al ⁵	mg kg ⁻¹	1,9	Bajo

¹ Extracción con K₂SO₄ 0,5M y determinación por colorimetría.

² Digestión húmeda.

³ Bases intercambiables extraídas con acetato de amonio pH 7.

⁴ Extracción con una solución de ácido dietilentriaminopentaacético (DTPA).

⁵ Intercambiable. Extraído con KCl 1 M.

Experimento

El experimento factorial consistió en 4 tratamientos de adición de paja x 2 niveles de N x 2 niveles de P x 3 repeticiones, completando un total de 48 unidades experimentales (**Cuadro 2**). Se incluyeron además tres blancos (frascos de incubación sin suelo). Los tratamientos de adición de paja correspondieron a los siguientes: T1, sin paja, fertilizante aplicado al suelo (control); T2, con paja sin incorporar, fertilizante aplicado al suelo y la paja; T3, con paja incorporada, fertilizante aplicado al suelo; T4, con paja sin incorporar, fertilizante aplicado al suelo.

El N se aplicó en dosis de 0 y 100 mg N kg⁻¹ suelo seco al aire, y el P en dosis de 0 y 65 mg P kg⁻¹ suelo. Se utilizó como fuente de N el nitrato de calcio hidratado (Ca(NO₃)₂·x4H₂O) y como fuente de P el fosfato de potasio monobásico (KH₂PO₄). La cantidad de paja agregada fue de 10.000 mg de paja kg⁻¹ de suelo (1%). La paja se trozó de un largo no mayor a 5 mm.

Al ingresar al laboratorio, la muestra de suelo fue homogeneizada, luego secada al aire y finalmente

tamizada a 2 mm. Se calculó la capacidad máxima de retención de agua del suelo (CRA) para lo cual se utilizó un embudo cerrado en su parte inferior con algodón o tapón de goma al cual se agregaron 50 g de suelo. El suelo se saturó con 100 mL de agua y después de permitir la completa absorción por una noche, el embudo se destapó para permitir drenar el agua no retenida. Posteriormente en el experimento se utilizaron 50 g de suelo a los que se adicionó agua hasta 25% de la CRA para su preincubación por 10 días a 25°C, en frascos con una capacidad de 500 cm³. La preincubación elimina el efecto acelerador de la mineralización producto del re-humedecimiento del suelo seco (Tate, 1995). Los frascos fueron pesados al inicio y al final de la preincubación para controlar posibles pérdidas de humedad.

La incubación del suelo sometido a los diferentes tratamientos se efectuó a un 40% de su CRA y a una temperatura de 25°C. Las mediciones de CO₂ se efectuaron a los 5, 12, 22, 32, 42, 52, 62, 72, 82 y 92 días. El N inorgánico (NH₄⁺, NO₃⁻) se determinó a los 10, 45 y 92 días. Se determinó un período de 92 días porque algunos estudios han demostrado una descomposición de la paja de

trigo de sólo 7 y 15% en los primeros 30 y 60 días, respectivamente, para contenidos de N en ésta, inferiores a 0,5% (Douglas *et al.*, 1980; Christensen, 1986). Para mantener la humedad

constante durante la incubación se pesaron los frascos en forma periódica. Las diferencias de peso respecto del inicialmente registrado se corrigieron agregando agua destilada.

Cuadro 2. Diseño experimental de incubación de suelo (Santa Bárbara, Typic Haploxerand) con arreglo factorial consistente en cuatro tratamientos de adición de paja (10.000 mg kg⁻¹ suelo), dos niveles de N y dos niveles de P.

Table 2. Experimental design for incubation of soil (Santa Bárbara, Typic Haploxerand) with factorial arrangement, including four treatments of straw addition (10,000 mg kg⁻¹ soil), two N levels and two P levels.

Tratamientos	Nivel N (mg g ⁻¹ suelo)	Nivel P (mg g ⁻¹ suelo)
Sin paja, fertilizante al suelo (T1)	0	0
	100	0
	0	65
	100	65
Paja sin incorporar, fertilizante al suelo y paja (T2)	0	0
	100	0
	0	65
	100	65
Paja incorporada, fertilizante al suelo (T3)	0	0
	100	0
	0	65
	100	65
Paja sin incorporar, fertilizante al suelo (T4)	0	0
	100	0
	0	65
	100	65

El C-CO₂ mineralizado durante la incubación fue medido usando hidróxido de sodio 1M y ácido clorhídrico según el procedimiento descrito por Anderson (1982), así como los procedimientos de cálculo. El N inorgánico (amonio y nitrato) mineralizado se determinó extrayendo 7,5 g de suelo húmedo con 25 mL de K₂SO₄ 0,5 M, agitado por 30 min a 170 rpm. El suelo agitado fue centrifugado por 10 min, el sobrenadante fue filtrado y en él se midió nitrato y amonio por colorimetría mediante nitración con ácido salicílico y reactivo Nessler, respectivamente (Longeri *et al.*, 1979; Robarge *et al.*, 1983).

Análisis estadístico

Los datos obtenidos de la mineralización de C fueron sometidos a un análisis de varianza multivariado (MANOVA), considerando que las

medidas tomadas en el mismo frasco en días distintos no son independientes. En tanto para la mineralización de N se utilizó un análisis de varianza ANDEVA y se realizó separación de medias mediante el test de comparaciones múltiples de Duncan ($P \leq 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSION

Mineralización de C

En el **Cuadro 3** se presentan los resultados del análisis de varianza multivariado (MANOVA). Estos indican efectos positivos altamente significativos ($P \leq 0,01$) de los tratamientos con aplicación de paja, de P y de la interacción P x paja. No hubo un efecto significativo de la aplicación de N y de la interacción N x paja.

Cuadro 3. Resultado del análisis de varianza multivariado (MANOVA) para los efectos de los tratamientos, niveles de N, P y sus interacciones, sobre la mineralización total de C en un suelo volcánico (Santa Bárbara, Typic Haploxerand).

Table 3. Multivariate analysis of variance (MANOVA) statistical results for treatments, N, P levels and their interaction effects on total C mineralization in a volcanic soil (Santa Bárbara, Typic Haploxerand).

Fuente de varianza	Nivel de probabilidad	Significancia
Tratamiento	0,00000	***
P	0,00072	***
N	0,08978	ns
N x P	0,44375	ns
N x Tratamiento	0,07714	ns
P x Tratamiento	0,00004	***

*** Altamente significativo ($P \leq 0,001$).

ns: No significativo.

La **Figura 1** muestra las curvas de mineralización acumuladas por tratamiento. El tratamiento con incorporación de paja alcanzó la mayor producción de C-CO₂, siendo superior en alrededor de 12-15% al efecto promedio de los tratamientos con paja superficial. A su vez todos los tratamientos que recibieron paja presentaron tres a cuatro veces mayor mineralización que el control sin paja. Cabe señalar que en el tratamiento control no se observó ningún efecto del N y P. Lo anterior evidencia la necesidad de los microorganismos por una fuente de C y energía disponible para sus actividades de síntesis, ya que normalmente se encuentran en una condición de déficit (Tate, 1985). Además, en la Figura 1 queda de manifiesto que la adición de N y P directamente en solución a la paja no logra incrementar la tasa de descomposición de ésta. En efecto, no hubo diferencias significativas entre agregar toda la fertilización al suelo, o a la paja y el suelo.

En la **Figura 2** se presentan las tasas de mineralización diarias de C. Éstas se obtuvieron dividiendo la producción de CO₂ del período determinado por su número de días. Se consideró como punto inicial la producción diaria de los primeros 5 días y después de transcurrida la mitad de este primer período, puesto que no hubo una determinación de CO₂ al inicio de la incubación (día 0). Se puede observar que la mineralización de C-CO₂ fue mucho mayor en los tratamientos de adición de paja. El efecto de los tratamientos sobre

la mineralización de C-CO₂ se observa preferentemente a los primeros 30 días, y se debe a los hidratos de carbono o sustancias solubles al agua, correspondientes a la fracción lábil de la paja, que producen una activación biológica y un aumento de la respiración. Esto coincidiría con lo observado por otros autores (Ocio y Brookes, 1990; Marstorp, 1995). Cabe señalar que el C de los residuos presentes en el suelo puede ser dividido en dos fracciones principales, un pool resistente y uno lábil. La fracción C soluble en agua e hidrolizable contiene los compuestos menos resistentes y los primeros en ser metabolizados, estos son los responsables de las altas tasas de mineralización iniciales. En los vegetales esta fracción está asociada a tejidos jóvenes y no es muy abundante en la paja. El C lábil es la fuente primaria de nutrición para los microorganismos, ya que es fácilmente degradado, por esta razón su contenido en el suelo es bajo (Borie *et al.*, 1995).

La mayor tasa de mineralización de C-CO₂ se manifestó en el tratamiento con paja incorporada en comparación a los tratamientos que recibieron la paja en la superficie. El mayor efecto inicial en los tratamientos con paja incorporada probablemente es consecuencia de un mejor acceso del sustrato a los microorganismos y a condiciones de humedad y temperatura distintos (Douglas *et al.*, 1980; Buchanan y King, 1993; Schomberg *et al.*, 1994). Sin embargo, el efecto de la localización de la paja disminuyó con el tiempo (v.g. 32 d).

Resultados similares han sido reportados por Christensen (1986) y Cogle *et al.* (1989). Estos últimos autores, observaron que la paja incorporada se descomponía más rápido que la paja sobre el suelo en los primeros 15 d, pero que las diferencias disminuían pasado este período. La fase inicial más lenta (“lag phase”) en la descomposición de residuos sobre el suelo se debe probablemente a que el material en superficie está sujeto a condiciones más desfavorables para este proceso que lo que ocurre con residuos incorporados, especialmente debido a intensas fluctuaciones de temperatura y humedad que limitan la actividad microbiana. En condiciones de campo, las precipitaciones también lixivian nutrientes solubles desde la paja, disminuyendo aún más la actividad microbiana.

El tratamiento sin paja (T1) tuvo una tasa de mineralización mínima y constante, debido a la falta de una fuente de C y energía, necesarios para la activación biológica y representa la actividad metabólica del suelo en un período largo de tiempo sin adición de sustrato C.

Los resultados, además, dejan de manifiesto que se trata de un fenómeno en que la fuente de C fácilmente metabolizable da lugar a una rápida mineralización inicial, también dependiente del contenido inicial de N, estableciéndose después de los 30 días un régimen correspondiente a una mineralización más lenta probablemente regulada por la descomposición de lignina y compuestos fenólicos (Jama y Fair, 1996; Knapp *et al.*, 1983).

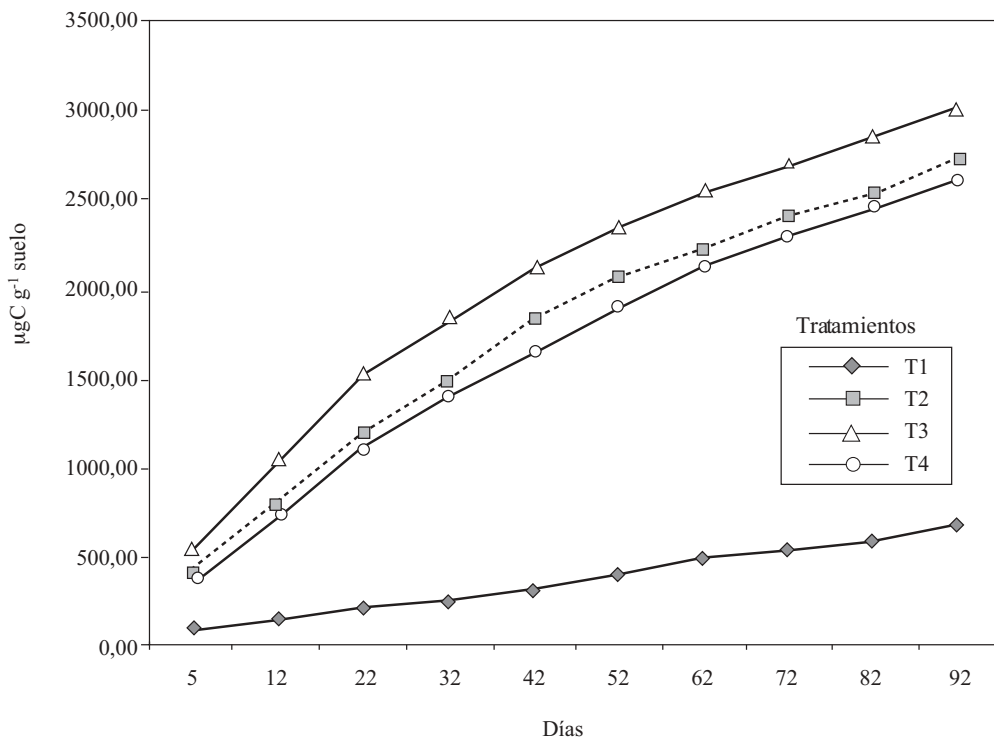


Figura 1. Mineralización de C acumulado por tratamiento en un suelo (Santa Bárbara, Typic Haploxerand) de origen volcánico incubado a 25°C. Los tratamientos fueron: T1 = sin paja; T2 = paja sin incorporar fertilizante al suelo y la paja; T3 = paja incorporada, fertilizante al suelo; T4 = paja sin incorporar, fertilizante al suelo.

Figure 1. Accumulated C mineralization by treatment in a volcanic soil (Santa Bárbara, Typic Haploxerand) incubated at 25°C. Treatments were: T1 = without straw; T2 = straw on surface, fertilizer applied to the soil and the straw; T3 = straw incorporation, fertilizer into the soil; T4 = straw on surface, fertilizer applied to the soil.

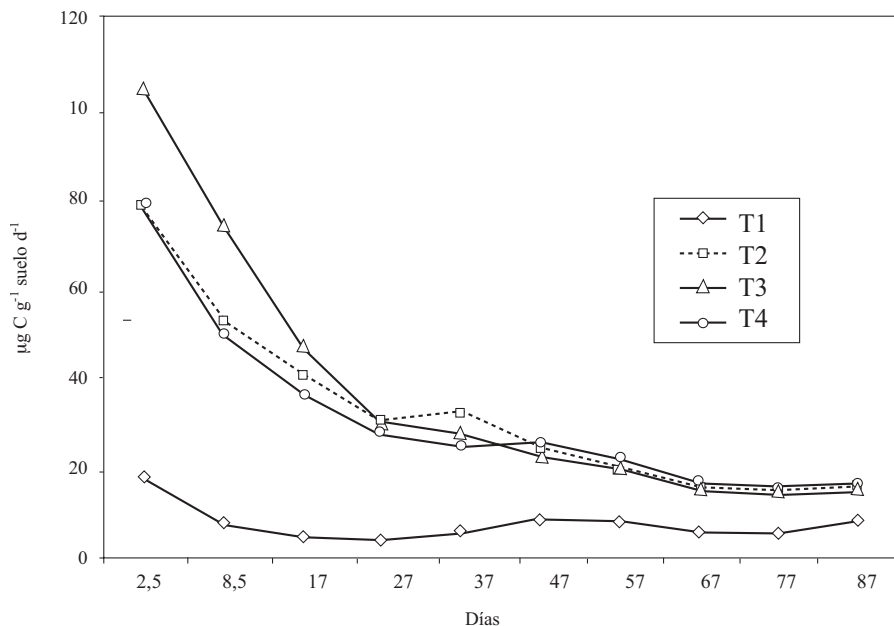


Figura 2. Tasa de mineralización diaria de C por tratamiento en un suelo (Santa Bárbara, Typic Haploxerand) de origen volcánico incubado a 25°C. Se obtuvo dividiendo la producción de CO₂ del período determinado por su número de días. Se consideró como punto inicial la producción diaria de los primeros 5 días y después de transcurrida la mitad de este primer período, puesto que no hubo una determinación de CO₂ al inicio de la incubación (día 0). Los tratamientos fueron: T1 = sin paja; T2 = paja sin incorporar fertilizante al suelo y la paja; T3 = paja incorporada, fertilizante al suelo; T4 = paja sin incorporar fertilizante al suelo.

Figure 2. Daily rate of C mineralization by treatment in a volcanic soil (Santa Bárbara, Typic Haploxerand) incubated at 25°C. It was obtained dividing CO₂ production of the measured period by number of days. Since there was no CO₂ determination at day 0, daily CO₂ production of the first five days, after half of this period had elapsed, was considered as the beginning of incubation (day 0). Treatments were: T1 = without straw; T2 = straw on surface, fertilizer applied to the soil and the straw; T3 = straw incorporation, fertilizer into the soil; T4 = straw on surface, fertilizer applied to the soil.

Respecto de los tratamientos de fertilización, a las dosis usadas, el N no influyó en forma significativa sobre la tasa de descomposición de la paja, en tanto la aplicación de P influyó significativamente ($P \leq 0,01$), aunque su efecto fue más evidente en las primeras dos semanas. Este efecto del P ocurre en suelos alofánicos porque la alta tasa de fijación de P hace que este sea un factor limitante para la biodegradación de la MO. Por otro lado, el corto efecto observado es probablemente el resultado de una interacción entre la cantidad usada en la aplicación y el poder fijador que presentan los suelos alofánicos como se señaló anteriormente. En este estudio la interacción P x tratamiento tuvo un valor $P < 0,01$, indicando que el efecto del P no fue el mismo en

todos los tratamientos (**Figura 3**). Se observó que el efecto positivo de la adición de P en los tratamientos con paja se manifiesta preferentemente durante los primeros 12 días, especialmente cuando la paja es incorporada al suelo (T3), y en menor grado cuando ésta se deja sobre el suelo (T2 y T4). A su vez el control (T1) no presenta respuesta al P, debido a la falta de C disponible.

Respecto del N, debido a la baja cantidad aplicada y a la alta relación C/N de la paja, éste probablemente fue totalmente inmovilizado en las primeras horas o días de incubación. Reinertsen *et al.* (1984) señalaron que una respuesta al N sólo ocurriría muy temprano en la descomposición.

Efectos negativos o ningún efecto de la adición de N han sido reportados por otros autores (Hassink, 1994). Particularmente en suelos volcánicos Munebar y Wollum (1977) no encontraron ningún efecto del N sobre la mineralización de C. En la literatura (Kumar y Goh, 2000) se encuentran distintas explicaciones a este tipo de efectos: a) “acción represora de metabolitos-NH₃”, productos

de la descomposición, sobre la competencia entre microorganismos degradadores más y menos potentes; b) bloqueo de la producción de ciertas enzimas por el N e incremento en la degradación de celulosa más disponible, y por lo tanto acumulación de lignocelulosa recalcitrante y condensación de aminoácidos con compuestos polifenoles; y c) toxicidad de NH₃.

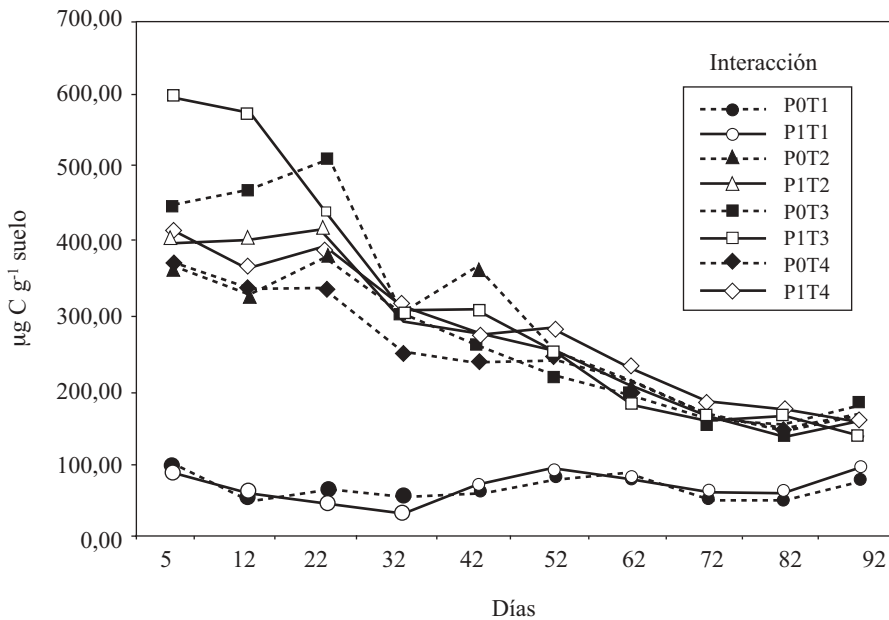


Figura 3. Interacción P-tratamiento en un suelo (Santa Bárbara, Typic Haploxerand) de origen volcánico incubado a 25° C. P0 = sin P; P1 = 65 mg P kg⁻¹ suelo. Los tratamientos fueron: T1 = sin paja; T2 = paja sin incorporar fertilizante al suelo y la paja; T3 = paja incorporada fertilizante al suelo; T4 = paja sin incorporar fertilizante al suelo.

Figure 3. P-treatment interaction in a volcanic soil (Santa Bárbara, Typic Haploxerand) incubated at 25°C. P0 = without P; P1 = 65 mg P kg⁻¹ soil. Treatments were: T1 = without straw; T2 = straw on surface, fertilizer applied to the soil and the straw; T3 = straw incorporation, fertilizer into the soil; T4 = straw on surface, fertilizer applied to the soil.

Mineralización de N

A los 45 días tanto los efectos principales como las interacciones de primer y segundo orden fueron significativas ($P \leq 0,01$) por lo tanto, la comparación de medias se realizó para la interacción N x P x Tratamiento. El Cuadro 4 muestra las comparaciones de medias mediante el test de Duncan. Se observa que la mayor mineralización se presentó en los tratamientos donde se aplicó N y sin paja, en este caso no hubo diferencia entre los tratamientos con y sin

aplicación de P (198,05 y 195,78 mg N kg⁻¹ suelo, respectivamente). A los 92 días las interacciones no fueron estadísticamente significativas ($P > 0,05$) por lo tanto, se pueden evaluar los efectos principales. En este caso solamente el N y los tratamientos tuvieron efecto sobre la mineralización. Se observa que al aplicar N se obtiene una mineralización significativamente mayor al caso en que no se incorpora N; en promedio 90,18 y 33,79 mg N kg⁻¹ suelo, respectivamente (**Cuadro 4** y **Figura 4**).

Para el efecto de los tratamientos, se observó que la mayor mineralización (79,36 mg N kg⁻¹ suelo) se obtuvo en el tratamiento 1 (sin paja) siendo estadísticamente distinto del resto (Cuadro 4). Los resultados de este estudio indican una inmovilización de N producto de la adición de paja en los T2, T3 y T4 debido a su alta relación C/N. Esto concuerda con lo expresado por Ocio y Brookes (1990) y Smith *et al.* (1993). Este efecto fue más acentuado en la primera fecha de evaluación y aún fue significativo en la segunda evaluación (**Cuadro 4 y Figura 4**).

Aún a la baja dosis aplicada existió un efecto positivo del N sobre su mineralización; se sabe que la inmovilización de N puede ser superada con la adición de N inorgánico como fertilizante (Smith *et al.*, 1993; Tate, 1995). En este estudio no se encontraron efectos significativos del fertilizante fosfatado sobre la mineralización neta

de N. Estos resultados no concuerdan con los encontrados por Munebar y Wollum (1977) y Aggangan *et al.* (1998), quienes usando dosis más altas encontraron un efecto del P altamente significativo sobre la mineralización de N, en un suelo agrícola de origen volcánico y un suelo con manejo forestal respectivamente. Debido al alto poder de fijación que presentan los suelos volcánicos es probable que la dosis aplicada fuera insuficiente para influir en la mineralización.

La alta inmovilización de N en los tratamientos con paja coincide con la mayor actividad respiratoria de la biomasa en dichos tratamientos y, consecuentemente, con una activación del ciclo de mineralización e inmovilización de N, y con mayores requerimientos de N, observándose una inmovilización neta debido a que la paja no es capaz de suministrar la cantidad requerida para alcanzar la relación C/N de equilibrio.

Cuadro 4. Resultados del test de Duncan de comparación de medias para los ensayos de mineralización de N a los 45 y 92 días.

Table 4. Results of the Duncan test for comparison of means for N mineralization experiments after 45 and 92 days.

92 días: Comparación de medias para la interacción N x P x Tratamiento					92 días: Comparación de medias de tratamientos.		
N mg g ⁻¹	P mg g ⁻¹	Trat. (¹)	Media mg N kg ⁻¹	Grupos homogéneos	Trat. (¹)	Media mg N kg ⁻¹	Grupos homogéneos
0	0	2	10.240	a	3	48.219	a
0	65	2	11.645	a	4	56.138	ab
0	0	3	12.930	a	2	64.223	b
0	65	3	16.645	b	1	79.359	c
0	0	4	36.980	c			
0	65	4	39.845	c			
100	65	4	49.655	d			
100	65	2	51.280	de			
100	0	2	53.295	e			
100	0	4	77.315	f			
0	65	1	83.695	g			
0	0	1	90.815	h			
100	65	3	92.785	hi			
100	0	3	95.250	i			
100	0	1	195.780	j			
100	65	1	198.050	j			

92 días: Comparación de medias de aplicación de N.		
N mg g ⁻¹	Media mg N kg ⁻¹	Grupos homogéneos
0	33.786	a
100	90.183	b

(¹) Tratamientos: 1. Sin paja, fertilizante al suelo. 2. Con paja sin incorporar, fertilizante al suelo y paja. 3. Con paja incorporada, fertilizante al suelo. 4. Con paja sin incorporar, fertilizante al suelo.

Letras distintas indican diferencias significativas entre medias de tratamientos ($P \leq 0,05$).

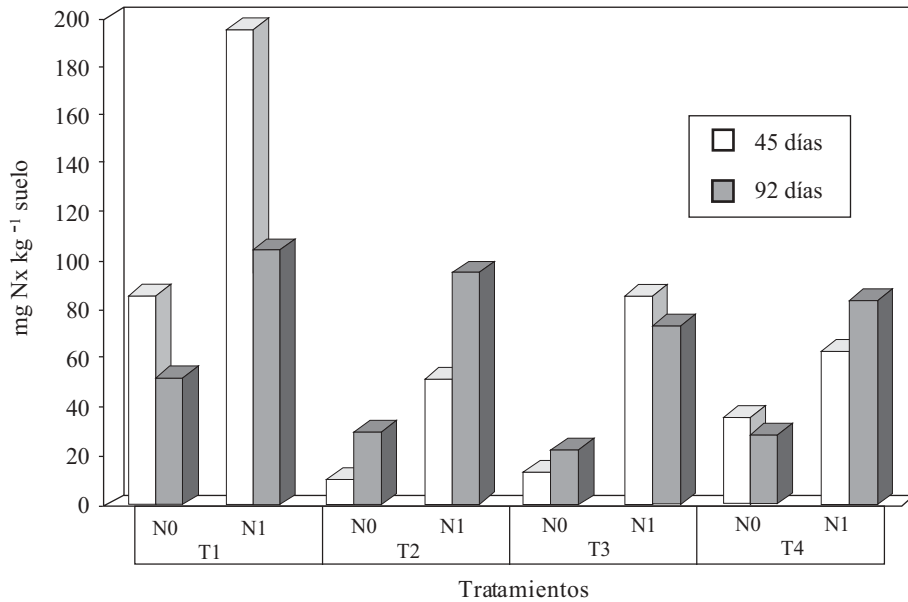


Figura 4. Mineralización de N, bajo cuatro tratamientos de adición con paja con dos niveles de fertilización nitrogenada, en un suelo (Santa Bárbara, Typic Haploxerand) volcánico incubado a 25° C. N0 = sin N; N1 = 100 mg N kg⁻¹ suelo. Los tratamientos fueron: T1 = sin paja; T2 = paja sin incorporar fertilizante al suelo y la paja; T3 = paja incorporada fertilizante al suelo; T4 = paja sin incorporar fertilizante al suelo.
Figure 4. N mineralization in four treatments with straw addition and two levels of N fertilization, in a volcanic soil (Santa Bárbara, Typic Haploxerand) incubated at 25°C. N0 = without N; N1 = 100 mg N kg⁻¹ soil. Treatments were: T1 = without straw; T2 = straw on surface, fertilizer applied to the soil and the straw; T3 = straw incorporation, fertilizer to the soil; T4 = straw on surface, fertilizer applied to the soil.

CONCLUSIONES

1. En este estudio la aplicación de N y P en las dosis usadas sólo tuvo un efecto parcial (caso del P) en la tasa de descomposición de la paja (mineralización de C) y sugiere un incremento limitado de la actividad microbiana cuando la paja fue incorporada al suelo, y en menor grado cuando ésta se depositó sobre el suelo.
2. La aplicación de una proporción del fertilizante directamente a la paja no produjo un incremento de la actividad de la microflora presente en la misma.
3. Sólo durante el primer mes de evaluación hubo un efecto positivo mayor de la incorporación de los residuos de paja sobre la mineralización de C, que cuando ésta se depositó sobre el suelo.

4. El N tuvo un efecto positivo sobre la mineralización de N del suelo, sin embargo, la paja ya sea incorporada o en la superficie causó una inmovilización de N altamente significativa hasta los 92 días. Por otra parte, el P no tuvo efectos significativos sobre la mineralización de N.

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 FONDEF bajo el proyecto D9911081.

LITERATURA CITADA

- Aggangan, R.T., A.M. O'Connell, J.F. McGrath, and B. Dell. 1998. Fertilizer and previous land use effect on C and N mineralization in soils from *Eucalyptus globulus* plantations. *Soil Biol. Biochem.* 30:1791-1798.
- Aguilera S.M., G. Borie, P. Peirano, and G. Galindo. 1997. Organic matter in volcanic soils in Chile: Chemical and biochemical characterization. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 28:899-912
- Anderson, J.P. 1982. Soil respiration. p. 831-871. *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 Number 9. SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
- Azmal, A.K.M., T. Marumoto, H. Shindo, and M. Nishiyama. 1996. Mineralization and microbial biomass formation in upland soil amended with some tropical plant residues at different temperatures. *Soil Sci. Plant Nutr. (Tokio)* 43:191-193.
- Besoain, E. 1985. Los suelos. p. 25-106. *In* J. Tosso (ed.) *Suelos volcánicos de Chile.* Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Santiago, Chile.
- Borie, G., M. Aguilera, P. Peirano, y M. Caiozzi. 1995. Pool lábil de carbono en suelos volcánicos chilenos. *Agric. Téc. (Chile)* 55:262-266.
- Buchanan, M., and L.D. King. 1993. Carbon and phosphorous losses from decomposing crop residues in no-till and conventional till agroecosystems. *Agron. J.* 85:631-638.
- Christensen, B.T. 1986. Barley straw decomposition under field conditions: Effect of placement and initial nitrogen content on weight loss and nitrogen dynamics. *Soil Biol. Biochem.* 18:523-529.
- Cogle, A.L., P.G. Saffigna, and W. M. Strong. 1989. Carbon transformations during wheat straw decomposition. *Soil Biol. Biochem.* 21:367-372.
- Douglas, C.L. Jr., R.R. Allmaras, P.E. Rasmussen, R.E. Ramig and N.C. Roager. 1980. Wheat straw composition and placement effect on decomposition in dryland agriculture of the Pacific Northwest. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44:833-837.
- Hassink, J. 1994. Active organic matter fractions and microbial biomass as predictors of N mineralization. *Eur. J. Agron.* 3:257-265.
- Jama, B.A., and P.K.R. Fair. 1996. Decomposition and nitrogen-mineralization patterns of *Leucaena leucocephala* and *Cassia siamea* mulch under tropical semiarid conditions in Kenya. *Plant and Soil* 179:275-285.
- Jansson, S.J., and J. Persson. 1982. Mineralization and immobilization of soil nitrogen. p. 229-251. *In* F. Stevenson (ed). *Nitrogen in agricultural soils.* Agronomy Series Nº 22. Soil Science Society of America Inc. Publisher, Madison, Wisconsin, USA.
- Knapp, E.B., L.F. Elliot, and G.S. Campbell. 1983. Carbon, nitrogen and microbial biomass interrelation during the decomposition of wheat straw: A mechanistic simulation model. *Soil Biol. Biochem.* 15:445-461.
- Kumar, K., and K.M. Goh. 2000. Crop residues and management practices: Effects on soil quality, soil nitrogen dynamics, crop yield, and nitrogen recovery. *Adv. Agron.* 68:197-319.
- Longeri, L., J. Etchevers, y J. Venegas. 1979. Metodología de perfusión para estudios de nitrificación en suelos. *Ciencia Investigación Agraria (Chile)* 6:295-299.
- Marstorp, H. 1995. Initial events during decomposition of plant materials. Ph.D. thesis. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Soil Science, Uppsala, Sweden.
- Munbar, F., and A.G. Wollum. 1977. Effects of the addition of phosphorus and inorganic nitrogen on carbon and nitrogen mineralization in Andepts from Colombia. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41:540-545.
- Nanzyo, M., R. Dahlgren, and S. Shoji. 1993. Chemical characteristics of volcanic ash soils. p.145-187. *In* Shoji S., Nanzyo M. and Dahlgren R. A. (eds). *Volcanic ash soils. Genesis, properties and utilization.* Development in Soil Science 21. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, The Netherlands.
- Ocio, J.A., and P.C. Brookes. 1990. An evaluation of methods for measuring the microbial biomass in soils following recent addition of wheat straw and the characterization of the biomass that develops. *Soil Biol. Biochem.* 22:685-694.
- Reinertsen, S.A., L.F. Elliot, V.L. Cochran, and G.S. Campbell. 1984. Role of available carbon and nitrogen in determining the rate of wheat straw decomposition. *Soil Biol. Biochem.* 16:459-464.
- 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.
- Robertson, K., J. Schnürer, M. Clarholm, T.A. Bonde, and T. Rosswell. 1988. Microbial biomass in relation to C and N mineralization during laboratory incubations. *Soil Biol. Biochem.* 20:281-286.

- Schomberg, H.H., J.L. Steiner, and P.W. Unger. 1994. Decomposition and nitrogen dynamics of crop residues: Residue quality and water effects. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58:372-371.
- Shoji, S., R. Dahlgren and M. Nanzyo. 1993. Classification of volcanic ash soils. p. 73-100. *In* Shoji S., Nanzyo M., and Dahlgren R.A. (eds.). *Volcanic ash soils. Genesis, properties and utilization. Developments in Soil Science 21*, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, The Netherlands.
- Six, J., R.T. Conant, E.A. Paul, and K. Paustian. 2002. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications from C-saturation in soils. *Plant and Soil* 241:155-176.
- Smith, J.L., R.I. Papendick, D.F. Bezdicek, and J.M. Lynch. 1993. Soil organic matter dynamics and crop residue management. p. 65-94. *In* Marcel Dekker (ed). *Soil Microbial Ecology*, New York, USA.
- Stott, D.E., L.F. Elliott, R.I. Papendick, and G.S. Campbell. 1986. Low temperature or low water potential effect on the microbial decomposition of wheat residue. *Soil Biol. Biochem.* 18:577-582.
- Tate, R.L. 1995. 398 p. *Soil Microbiology*. John Wiley and Sons, New York, USA.
- Zunino, H., F. Borie, S. Aguilera, J.P. Martin, and K. Haider. 1982. Decomposition of C¹⁴ labelled glucose, plant and microbial product and phenol in volcanic ash derived soils of Chile. *Soil Biol. Biochem.* 14:37-43.