



**UNIVERSIDAD DE CHILE**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**

**ESCUELA DE AGRONOMÍA**

**MEMORIA DE TÍTULO**

**DETERMINACIÓN DE LA MINERALIZACIÓN E  
INMOVILIZACIÓN DE NITRÓGENO BAJO DOS SISTEMAS DE  
LABRANZA CON EL USO DE TÉCNICAS ISOTÓPICAS**

**LUCÍA CONSTANZA LEIVA BAEZA**

**SANTIAGO, CHILE**

**2008**

## AGRADECIMIENTOS

A Don Walter Luzio, por su apoyo, compromiso y comprensión como profesor guía.

A Sra. Inés Pino, Jefa de la Sección Agricultura del Dpto. de Aplicaciones Nucleares de la Comisión Chilena de Energía Nuclear por su generoso apoyo.

A Sra. Ximena Videla, Química de la Sección Agricultura del Dpto. de Aplicaciones Nucleares de la Comisión Chilena de Energía Nuclear por la colaboración brindada.

A la Comisión Chilena de Energía Nuclear por otorgarme un espacio para desarrollar el trabajo práctico.

A mi hija Sofía, a mis padres y hermana por entregarme un apoyo incondicional.

**INDICE**

	Nº Página
Resumen	4
Abstract	4
Introducción	5
Objetivos	7
Materiales y Métodos	8
Materiales	8
Metodología	9
Diseño del ensayo y análisis estadístico	10
Resultado y Discusión	11
Caracterización del suelo	11
Mineralización bruta	
Amonificación	12
Nitrificación	12
Inmovilización	12
Porcentaje de átomos en exceso en los “pools” de $\text{NH}_4^+$ y $\text{NO}_3^-$	14
Conclusiones	18
Literatura Citada	19

## DETERMINACIÓN DE MINERALIZACIÓN E INMOVILIZACIÓN DE NITRÓGENO, BAJO DOS SISTEMAS DE LABRANZA CON EL USO DE TÉCNICAS ISOTÓPICAS.

**Determination of nitrogen mineralization and immobilization, under two tillage system using isotopic techniques.**

### RESUMEN

El objetivo de este estudio fue cuantificar y comparar las tasas de transformaciones brutas de nitrógeno (mineralización e inmovilización) con un intervalo de 48 horas en labranza cero (CL) y labranza tradicional (TRAD), en un suelo perteneciente a la serie Metrenco, IX Región, Chile. Para determinar la mineralización bruta, se utilizó  $^{15}\text{N}$  fertilizante 5% átomos en exceso, a través de la metodología de dilución del pool del isótopo y de imagen de espejo, la inmovilización se determinó por aproximación del N residual. El diseño experimental del ensayo es completamente al azar con estructura factorial de  $2 \times 2$ . La tasa de amonificación bruta en CL y TRAD fue 1,33 y 1,11  $\text{Kg N-NH}_4^+ \text{ ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$  respectivamente. Esta diferencia fue significativa y se atribuyó al mayor contenido de CO presente en CL. La tasa de nitrificación bruta para CL fue 1,53  $\text{Kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$  y para TRAD 5,69  $\text{Kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ . En este caso también hubo diferencias significativas, atribuibles a la inversión de suelo y por consecuencia mayor oxígeno presente en TRAD. Para la inmovilización de  $\text{N-NH}_4^+$  y  $\text{N-NO}_3^-$  en CL los resultados fueron 3,76 y 4,15  $\text{Kg N ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$  respectivamente, en tanto para TRAD la inmovilización fue 2,63  $\text{Kg N-NH}_4^+ \text{ ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$  y 5,52  $\text{Kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ , resultados que no presentan diferencias significativas tanto en CL como en TRAD, lo que podría indicar que la fracción responsable de la inmovilización sean los minerales de arcilla y los óxidos e hidróxidos de Al, los cuales no se ven modificados por el sistema de labranza utilizado, por tratarse de fracciones muy estables.

**Palabras claves:** mineralización e inmovilización bruta,  $^{15}\text{N}$  fertilizante, porcentaje de átomos en exceso, dilución del pool del isótopo, imagen de espejo.

### ABSTRACT

The purpose of this study was to compare and quantify the gross nitrogen transformation rates (mineralization and immobilization) for no tillage (CL) and traditional tillage (TRAD) with 48 hours interval, in a Typic Paleudult, IX Region of Chile. Fertilizer  $^{15}\text{N}$  was used (5 atom%) to determined gross mineralization through isotope pool dilution and mirror image methodologies; for residual N approximation gross immobilization was calculated. The experimental design was completely random with factorial structure of  $2 \times 2$ . The gross amonification rates for CL and TRAD was 1,33 y 1,11  $\text{Kg N-NH}_4^+ \text{ ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$  respectively. The differences were significant and it were attributed to the CO in no tillage. The gross nitrification rates was 1,53  $\text{Kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$  for CL and 5,69  $\text{Kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ , for TRAD. In this last case there was also significant differences, attributed to soil inversion and a higher amount of oxigen. In CL the results for immobilization of de  $\text{N-NH}_4^+$  y  $\text{N-NO}_3^-$  were 3,76 and 4,15  $\text{Kg N ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$  respectively, whereas in TRAD the results were 2,63  $\text{Kg N-NH}_4^+ \text{ ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$  and 5,52  $\text{Kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ; these results does not show significant differences neither CL nor TRAD, may be due to the presence of clay minerals and oxide and hidroxide of Al, both considered as a very stable fraction in the soil.

**Key words:** gross mineralization and immobilization, fertilizer  $^{15}\text{N}$ , atom percentage, isotope pool dilution, mirror image.

## INTRODUCCIÓN

El uso del sistema de cero labranza sin quema de residuos, implica la cobertura del suelo con los rastrojos del cultivo anterior y la no rotura del suelo, lo cual contribuye a la recuperación de los niveles de materia orgánica del suelo (MOS) en el horizonte superficial, proporciona una reducción en el escurrimiento del agua así como en la lixiviación de nutrientes. Además protege al suelo de la erosión, promueve la actividad biológica, regula la temperatura en la zona rizosférica e incrementa la disponibilidad de humedad y nutrientes, mejorando así la fertilidad del suelo (Aguilera *et al.*, 1996; Reyes, *et al.*, 2002). Por el contrario, la labranza tradicional basada en la quema de los residuos y en una posterior inversión del suelo, se traduce en pérdida de nutrientes y una acelerada descomposición de la materia orgánica.

La MOS es un componente clave en la calidad y fertilidad de los suelos agrícolas, con efectos en sus propiedades biológicas, físicas y químicas. Es además, fuente primaria y reservorio temporal de nutrientes para las plantas y actúa como fuente energética y nutricional para los organismos del suelo. La MOS también mejora la agregación de las partículas de suelo y contribuye significativamente a la formación y estabilización de la estructura de éste. Además se mejora la aireación, la infiltración y el almacenamiento de agua del suelo, así como también se incrementa la capacidad de intercambio catiónico (Accoe, 2004).

La MOS es susceptible de descomponerse hacia formas inorgánicas disponibles para las plantas, proceso que se denomina mineralización. De esta forma, el N presente en la materia orgánica, proveniente de la descomposición es transformado a amonio por los macro y microorganismos del suelo a través del proceso de amonificación. El resultante puede ser oxidado a nitrato (nitrificación) por bacterias nitrificantes. Tanto el amonio como el nitrato pueden ser inmovilizados por mecanismos bióticos, como la asimilación del N inorgánico por los microorganismos del suelo o abióticos en caso que el N quede retenido por las fracciones arcilla, materia orgánica u óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio (FAO/IAEA, 2001; Accoe, 2004). Estos procesos, claves en el ciclo del nitrógeno en el sistema suelo, son influenciados de manera significativa por el régimen de humedad (Videla *et al.*, 2005).

El N es un nutriente casi universalmente deficiente, debido a las pérdidas de este elemento causadas por el mal manejo a que han sido sometidos los suelos y por la agresión que se hace de sus reservas orgánicas. Ello ocasiona que, en general, el N se deba agregar al suelo en grandes cantidades como fertilizante nitrogenado o abono orgánico, para satisfacer la demanda de los cultivos (Rouanet *et al.*, 2001). Sólo una

parte de este N adicionado puede ser usado por las plantas en el corto plazo, y el resto se distribuye en el suelo o se disipa hacia la atmósfera, contribuyendo a una probable contaminación (Vidal *et al.*, 2002).

El uso creciente de fertilizantes inorgánicos a nivel mundial a partir de la segunda mitad del siglo veinte, ha conducido a una disminución de la aplicación de enmiendas orgánicas y un menor uso de cubierta vegetal (Bockman, citado por Zagal *et al.*, 2003; Power y Papendick, citado por Vidal y Troncoso). Sin embargo, actualmente existe un renovado interés en el manejo de los residuos de cosecha, puesto que a través de esta práctica se mejora la fertilidad del suelo y consecuentemente se aumenta su productividad (Kumar y Goh, citado por Zagal *et al.*, 2003; Muriuki *et al.*, 2001). El manejo de los residuos tiene importantes implicancias respecto a la cantidad total de nutrientes que se extraen del suelo, pudiéndose ahorrar una cantidad considerable de fertilizantes reciclando los residuos de las cosechas (Zagal *et al.*, 2003). Por lo tanto, el manejo de los nutrientes en el suelo y en particular del nitrógeno, se considera de primera importancia con el fin de obtener su máxima eficiencia de utilización por parte de los cultivos. Es en consecuencia, de gran interés conocer las cantidades de N absorbido por las plantas desde cada una de las fuentes potenciales tales como el suelo, los fertilizantes y/o la materia orgánica del suelo.

La investigación sobre el consumo de N por las plantas es compleja debido a dificultades metodológicas. Los métodos convencionales proporcionan información acerca de la cantidad del N que está disponible en el suelo generalmente utilizando el método de las diferencias (N fertilizado – N testigo = N absorbido por la planta). Además es posible medir el consumo de N en presencia y ausencia de residuos y la diferencia entre lo disponible y lo consumido se atribuye al N mineralizado desde el residuo (mineralización neta). La liberación de N en situaciones prácticas a menudo es muy pequeña comparada con el consumo total de N por el cultivo, lo que afecta la precisión de la medición. Con este método no se puede determinar si el flujo del N proviene del residuo o de los “pools” de N del suelo y las pérdidas y disponibilidad del elemento sólo pueden determinarse si se miden todas las alternativas posibles de flujo de N (mineralización bruta) (Hood *et al.*, 2000). Por lo tanto, se requiere un método seguro que mida los diferentes flujos de N. Para esto una de las técnicas que permite conocer la dinámica de los nutrientes en el sistema suelo – planta en forma muy precisa la constituye el uso de los isótopos del elemento en estudio (Rouanet *et al.*, 2001; Barraclough 1997).

Casi todos los elementos de importancia en la investigación biológica tienen al menos dos isótopos estables de los cuales el isótopo más pesado se presenta de manera natural en pequeñas cantidades. Los isótopos más pesados suelen usarse como trazadores en los sistemas biológicos. En el caso del nitrógeno, éste tiene dos isótopos estables, que son el  $^{15}\text{N}$  (pesado) y el  $^{14}\text{N}$  (ligero) (OIEA, 1990).

La relación más o menos constante de  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  en la atmósfera o en sustancias naturales permite que los fertilizantes nitrogenados artificialmente enriquecidos en  $^{15}\text{N}$  se utilicen como trazadores en muchos estudios tendientes a conocer la dinámica de este nutriente en el sistema suelo – planta. (OIEA, 1990; Watkins y Barraclough, 1996).

Las tasas brutas de transformación de N (mineralización e inmovilización de  $\text{N-NH}_4^+$  y  $\text{N-NO}_3^-$ ) que ocurren en el suelo, pueden estimarse por la aplicación de la metodología de la dilución del “pool” del isótopo  $^{15}\text{N}$ , en experimentos pares. En estos experimentos, como es el de la aproximación de imagen de espejo, con N marcado, el  $\text{NH}_4^+$  marcado con  $^{15}\text{N}$  y el  $\text{NO}_3^-$  no marcado es adicionado al suelo, mientras que el  $\text{NH}_4^+$  no marcado y el  $\text{NO}_3^-$  marcado con  $^{15}\text{N}$  son adicionados en un experimento paralelo (Accoe, 2004).

De acuerdo a los antecedentes antes expuestos, el objetivo general de esta Memoria es determinar la tasa de mineralización bruta e inmovilización del N en un suelo que ha sido sometido a dos sistemas de manejo.

Los objetivos específicos de esta Memoria son:

Medir la tasa de mineralización bruta e inmovilización del N en una muestra del suelo de la Serie Metrenco, bajo dos sistemas de manejo:

- a) cero labranza (CL) sin quema de residuos.
- b) labranza tradicional (TRAD) con quema de residuos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio es parte del proyecto CHI/5/021 "Mejoramiento en el manejo de suelo/agua/nutrientes para Controlar la Degradación del Suelo" del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), y la Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN).

### Materiales

El ensayo y los análisis químicos e isotópicos se realizaron en los laboratorios de la Sección Agricultura (SA) de la CCHEN, Centro de Estudios Nucleares La Reina (CEN La Reina). El análisis físico se realizó en el Laboratorio de Física de Suelos de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile.

Se utilizaron muestras del horizonte superficial de la Serie Metrenco (Fina, mixta, mésica, Typic Paleudults, CIREN-Chile, 2002), IX Región de la Araucanía. El suelo de donde se extrajeron las muestras (fundo Pumalal) se ha mantenido con labranza tradicional. Desde 1999, una parte del predio se destinó a la realización del proyecto, momento en el cual se comenzó a practicar cero labranza.

Los equipos utilizados en este trabajo fueron:

- Inyector de Flujo (FIA), para analizar  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$
- Espectrómetro de Emisión Óptica (NOI 6ePC), para analizar relación isotópica  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  (Faust *et al.*, 1987; Heiling *et al.*, 2005).

Tanto para el ensayo de CL como para TRAD se utilizaron 16 columnas de PVC de 7 cm de diámetro y 10 cm de alto con 200 gr de suelo cada una.

Para realizar los cálculos de mineralización bruta, se utilizó la Ecuación de Barraclough (1995).

$$\text{At}^*(\mu\text{g N/g suelo}) = \frac{A^* \cdot 0}{\left(1 + \frac{\theta t}{N_0}\right)^{(m/\theta)}}$$

Donde:



$A_t^*$  = átomos en exceso de  $^{15}\text{N}$  en el “pool” de amonio al tiempo  $t = 72$  h.

$A^*_0$  = átomos en exceso de  $^{15}\text{N}$  en el “pool” de amonio al tiempo  $0 = 24$  h.

$t$  = tiempo (intervalo = 48 h.)

$\theta$  =  $(N_t - N_0) / t$  = tasa de variación del tamaño del “pool”

$m$  = tasa de mineralización

$N_0$  = tamaño del “pool” de amonio al tiempo = 0

Esta ecuación utiliza intervalos de tiempo, en este caso el intervalo es  $t = 48$  h., donde  $t_t = 72$  h. y  $t_0 = 24$  h.

### **Metodología**

Previo a comenzar el ensayo, el suelo muestreado, se secó al aire y se tamizó a 2 mm para las determinaciones analíticas, convencionales e isotópicas.

Al total de 32 columnas de suelo (16 CL y 16 TRAD) se les aplicó agua para lograr la humedad necesaria de 85% de la capacidad de campo del suelo, inmediatamente estas columnas con suelo se pre-incubaron a 15 °C (Videla and Hood, 2002; Accoe, 2004) durante 48 hrs. para luego inyectar cada columna con una solución de  $^{15}\text{N}$ .

Luego de la pre-incubación se separaron las 16 columnas de suelo de cada ensayo para inyectar 8 columnas con una solución de  $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  (5 % átomos en exceso  $^{15}\text{N}$ ) +  $\text{KNO}_3$  y 8 columnas con una solución de  $\text{K}^{15}\text{NO}_3$  (5 % átomos en exceso  $^{15}\text{N}$ ) +  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ . El suelo ya inyectado con  $^{15}\text{N}$  se incubó a 15 °C, para luego tomar 4 muestras de cada ensayo y de cada tratamiento a las 24 h. y las otras 4 muestras a las 72 h., posteriores a la inyección.

Se tomó una muestra de suelo por cada columna para determinar el contenido de humedad (105°C) a las 24 y 72 horas después de la inyección. Luego con KCl se extrajo el  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  y posteriormente se filtró para analizarlos. De los extractos de suelo se analizó  $^{15}\text{N}$  y la relación isotópica  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ . (Sorensen and Jensen, 1991).

La mineralización bruta (amonificación y nitrificación) e inmovilización (“Mineralization, Immobilization Turnover” MIT) se midió usando la técnica de dilución isotópica de  $^{15}\text{N}$  y de imagen de espejo.

La metodología de la dilución del “pool” del isótopo  $^{15}\text{N}$  se basa, en que para la amonificación, sólo el “pool” de amonio es marcado. La tasa a la cual la abundancia de  $^{15}\text{N}$  del “pool” declina en el tiempo, está en función de la tasa a la cual la amonificación introduce  $\text{NH}_4^+$  no marcado desde la MOS al “pool” y la tasa a la cual el  $\text{NH}_4^+$  es removido desde el “pool” por otros procesos. Para la nitrificación, el “pool” de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) es marcado y la tasa a la cual la abundancia del “pool” declina está ahora en función de la tasa a la cual el  $\text{NH}_4^+$  no marcado entra al “pool” vía nitrificación (Barracough, 1995).

La técnica de imagen de espejo consiste en que la mitad de las columnas de suelo recibe amonio marcado y nitrato sin marcar y la otra mitad recibe amonio sin marcar y nitrato marcado (Barracough, 1991).

La inmovilización de N se determinó por la aproximación del N residual. Las muestras de suelo se analizaron para N total por el Método de Kjeldahl (Sadzawka, 1990) y por espectroscopía de emisión óptica para  $^{15}\text{N}$ .

### **Diseño del ensayo y análisis estadístico**

Diseño del ensayo: Diseño completamente al azar con estructura factorial de  $2 * 2$ , en que el factor 1 corresponde al tipo de manejo de suelo y el factor 2 al producto marcado aplicado. La unidad experimental es una columna de 200 g de masa. Cada combinación de factor 1 con factor 2 generó un tratamiento con 8 repeticiones. Las evaluaciones se efectuaron en dos tiempos diferentes (24 y 72 hrs. después de inyectado el suelo).

Análisis estadístico: El efecto de los factores se compararon mediante análisis de test de Student utilizando el **software Minitab Release 12.1**.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización del suelo

En el cuadro 1 se aprecia que el porcentaje de carbono orgánico (CO) es ligeramente mayor en CL que en TRAD, siendo ambas cifras superiores a los datos proporcionados para la Serie Metrenco (CIREN-Chile, 2002). El porcentaje de nitrógeno total (Nt) para los dos sistemas de manejo se encuentra dentro del rango promedio para suelos en general (0,02 a 0,5%, según Brady y Weil, 1996). El pH para el suelo bajo CL es moderadamente ácido y para el sistema TRAD es débilmente ácido (Sadsawka, 2006). Los niveles de  $\text{NH}_4^+$  obtenidos en CL y TRAD son similares entre si, lo mismo sucede entre los resultados de  $\text{NO}_3^-$  para los mismos ensayos. Esto indica que en el período de pre incubación no hay acumulación considerable de  $\text{N-NH}_4^+$  y  $\text{N-NO}_3^-$  en el suelo bajo ningún ensayo.

**Cuadro 1. Algunas propiedades de la muestra analizada de la Serie Metrenco.**

**Table 1. Some sample's properties of Metrenco Soil Series analyzed**

Parámetros	Ensayo	
	CL	TRAD
%CO	5,24	4,91
%Nt	0,39	0,38
pH H <sub>2</sub> O	6,27	5,79
NH <sub>4</sub> (μg N-NH <sub>4</sub> /g suelo)	26,4	24,3
NO <sub>3</sub> (μg N-NO <sub>3</sub> /g suelo)	13,3	16,0
Cont. Agua a 33 KPa (g)	5,5	5,8

### MINERALIZACIÓN BRUTA

Las tasas de amonificación y nitrificación bruta se obtuvieron de acuerdo a la ecuación de Barraclough (1995), considerando un intervalo de tiempo de 48 h.

### **Amonificación**

Los resultados obtenidos para la tasa de amonificación bruta en CL y TRAD fueron 1,33 Kg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> y 1,11 Kg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> respectivamente (figura 1), con una diferencia significativa de 0,22 Kg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>. Esta diferencia se puede atribuir al mayor contenido de CO que existe en los primeros centímetros del suelo con CL. Al momento de la toma de muestras, este sistema llevaba 3 años en ese suelo; datos de años anteriores indican que la amonificación va en creciente aumento en ambos sistemas (Rouanet *et al.*, 2005). Este sistema de labranza además estabiliza el contenido de agua en el suelo y mejora su estructura (Aguilera *et al.*, 1996), promueve un incremento de la población y actividad bacteriana, liberando así N mineral principalmente en forma de amonio (Brady y Weil, 1996; Accoe, 2004), lo cual es llevado a cabo por un amplio grupo de microorganismos heterotróficos (bacterias y hongos), preferentemente en condiciones aeróbicas, situación que se mantuvo durante este estudio.

### **Nitrificación**

La tasa de nitrificación bruta para CL y TRAD fue 1,53 y 5,69 Kg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> respectivamente, encontrándose una diferencia significativa de 4,16 Kg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>. Es probable que esta diferencia se deba al proceso de inversión del suelo que se realiza en el sistema TRAD, lo que generaría una permanente incorporación de oxígeno en los horizontes superficiales, el cual reacciona con NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y posteriormente se transforma en NO<sub>2</sub><sup>-</sup> y NO<sub>3</sub><sup>-</sup> a través de las bacterias nitrificantes (Accoe, 2004) (figura 2). Por otro lado, Accoe *et al.* (2005), indica que los suelos franco arcillosos, similares a los de este estudio tienen un potencial más alto de actividad nitrificante. Estudios realizados por Accoe (2004), presentaron valores entre 0,89 a 3,30 mg N kg<sup>-1</sup> suelo d<sup>-1</sup>, comparables a los encontrados en este estudio, pero más bajos que las tasas reportadas por Corre *et al.* (2002), para suelos con contenidos similares de MOS.

### **INMOVILIZACIÓN**

La inmovilización de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en CL fue 3,76 y 4,15 Kg N ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> respectivamente (figura 3); para TRAD la inmovilización fue 2,63 Kg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> y 5,52 Kg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>. Estos resultados no presentan diferencias significativas entre ambos sistemas de labranza. Esto, probablemente pueda atribuirse a que la fracción responsable de la inmovilización de N corresponde a los minerales de arcilla y a los óxidos e hidróxidos de Al, todos los cuales no se ven modificados por el sistema de labranza utilizado, por tratarse de fracciones muy estables (Besoain, 1985; Brady and Weil, 1996). Datos de años

anteriores, indican una disminución del N inmovilizado ya sea como  $\text{NH}_4^+$  o  $\text{NO}_3^-$ , y se observa una homogenización de la inmovilización en ambos sistemas (Videla *et al.*, 2005).

La inmovilización de  $\text{N-NH}_4^+$  en el suelo, bajo ambos sistemas de labranza, puede explicarse por la presencia de arcillas de tipo 2:1, sin embargo la mayor inmovilización de  $\text{N-NH}_4^+$  en CL se puede atribuir al mayor contenido de MOS que presenta este sistema en relación a TRAD (cuadro 2). Este proceso de inmovilización tiene relación con la carga positiva de  $\text{NH}_4^+$  y las cargas negativas de los coloides orgánicos e inorgánicos del suelo (Accoe, 2004). Esto tiene como resultado, una disminución más rápida de la concentración de  $\text{NH}_4^+$ . Otra posible explicación es la diferencia natural que ocurre en la población microbiológica nitrificante en estos dos sistemas de labranza.

En cambio la inmovilización de  $\text{N-NO}_3^-$  tiene relación con la presencia de óxidos e hidróxidos de Fe y Al, descritos en la Serie Metrenco (CIREN-Chile, 2002), los cuales constituyen una fracción constante en el suelo, independiente del sistema de cultivo.

De forma paralela el  $\text{N-NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  también son inmovilizados por causa de la actividad microbiana del suelo, tal como lo menciona Accoe *et al.* (2005), “varios estudios con fertilizante mineral marcado con  $^{15}\text{N}$  muestran que cantidades importantes de este fertilizante puede ser retenido en el “pool” de N orgánico del suelo como resultado de inmovilización por la biomasa microbiana”.

En el suelo bajo CL, el porcentaje de átomos  $^{15}\text{N}$  en exceso, a las 72 hrs. luego de ser inyectado con la solución marcada es el mismo (3,8% de átomos en exceso  $^{15}\text{N}$ ) tanto para la muestra de suelo inyectada con  $\text{N-}^{15}\text{NH}_4^+ \text{N-NO}_3^-$  como para la muestra de suelo inyectada con  $\text{N-NH}_4^+ \text{N-}^{15}\text{NO}_3^-$ , la misma situación ocurre en TRAD, con 3,9 % de átomos  $^{15}\text{N}$  en exceso. Esto puede explicarse por el hecho que los “pool” de  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  en cada sistema, están siendo diluidos a una velocidad similar, consecuentemente, esto podría implicar una eventual inmovilización de todo el  $^{15}\text{N}$  aplicado, momento en el cual ya no sería posible seguir registrando datos para determinar la tasa de mineralización de N (Barraclough, 1995). Si bien algo del N fertilizante que está inmovilizado en la MOS puede remineralizarse, se considera que es un proceso relativamente lento (Whitehead, citado por Accoe *et al.*, 2005)

### PORCENTAJE DE ÁTOMOS EN EXCESO EN LOS “POOLS” DE $\text{NH}_4^+$ Y $\text{NO}_3^-$

La adición de átomos  $^{15}\text{N}$  en exceso al “pool” de  $\text{NH}_4^+$ , bajo la forma fertilizante  $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{K}^{14}\text{NO}_3$  fue 5,2% para cada uno de los ensayos, mostrando un decrecimiento a las 24 h. (3,7% para CL y 3,5% para TRAD) y un leve incremento a las 72 h. posterior a la adición del fertilizante marcado con  $^{15}\text{N}$  (3,7% para CL y 3,6% para TRAD) (figura 4). Esto estaría indicando una dilución del  $^{15}\text{N}$  dentro del “pool” de  $\text{NH}_4^+$ , es decir existiría una entrada continua de N- $\text{NH}_4$  como abundancia natural al “pool” de  $\text{NH}_4^+$  del suelo, producto de la amonificación de la MOS. Un estudio realizado por Accoe *et al.* (2005) en un suelo similar al utilizado en el presente trabajo, obtuvo resultados con tendencias similares en las primeras 72 h. luego de adicionado el fertilizante marcado. Existe un ingreso de átomos  $^{15}\text{N}$  % en exceso al “pool” de  $\text{NO}_3^-$  durante el período de incubación provenientes de la adición de  $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{K}^{14}\text{NO}_3$  (0.121% para CL y 0.121% para TRAD a las 24 h. y 0.328% para CL y 0.398 para TRAD a las 72 h. de incubación), lo que indicaría que el  $^{15}\text{N}$ - $\text{NH}_4$  adicionado se nitrifica rápidamente, con una leve tendencia a ser mayor en TRAD.

La adición de átomos  $^{15}\text{N}$  en exceso al “pool” de  $\text{NO}_3^-$ , bajo la forma fertilizante  $(^{14}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{K}^{15}\text{NO}_3$  fue 4,9% para cada uno de los ensayos. En CL se observó un decrecimiento (3,2%) a las 24 h. de incubación y luego un aumento de 3,5% a las 72h. En TRAD se observó un decrecimiento constante de 3,8% a las 24 h. y 3,2% a las 72 h. de incubación. A las 24 h. la dilución del “pool” de  $\text{NO}_3^-$  es mayor en CL, contrario a lo que ocurre a las 72 h., donde la dilución es mayor en TRAD. Esta dilución puede ser atribuida a la nitrificación del “pool” de  $\text{NH}_4^+$  como abundancia natural. Cuando el suelo fue inyectado con  $(^{14}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{K}^{15}\text{NO}_3$ , el “pool” de  $\text{NH}_4^+$  fue enriquecido con  $^{15}\text{N}$  (para CL, 0,012% a las 24h. y 0,014% a las 72h. y para TRAD, 0,009% a las 24 y 72 h.), esto puede explicarse por la nueva mineralización de  $^{15}\text{N}$ - $\text{NO}_3$  previamente inmovilizado, a  $\text{NH}_4^+$ .

El resultado de los átomos de  $^{15}\text{N}$  % en exceso encontrado en el “pool” de  $\text{NH}_4^+$  con adición de  $(^{14}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{K}^{15}\text{NO}_3$  muestran una constante, pero baja remineralización durante las primeras 72 h. luego de adicionado el fertilizante marcado. Esto puede explicarse por que la responsabilidad de la inmovilización en este suelo ha sido atribuida principalmente a componentes abióticos, sin embargo, esta nueva mineralización puede explicar el leve aumento observado en la figura 4.

Los átomos de  $^{15}\text{N}$  en exceso encontrado en el “pool” de  $\text{NO}_3^-$  proveniente de la adición de  $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{K}^{14}\text{NO}_3$  muestran una creciente nitrificación del “pool” de  $\text{NH}_4^+$ . En la figura 5, en CL a las 72 h. de incubación se observa un incremento en los átomos de  $^{15}\text{N}$  % en exceso en el “pool” de  $\text{NO}_3^-$ , el que debe provenir de la nitrificación de  $^{15}\text{NH}_4^+$ . Esta nitrificación también ocurre en TRAD, sin embargo en este sistema de manejo se observa un decrecimiento constante en el % de átomos de  $^{15}\text{N}$  en exceso en el “pool” de  $\text{NO}_3^-$ , posiblemente debido a que la nitrificación es muy alta en TRAD.

**Cuadro 2. Inmovilización de N como  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  bajo CL y TRAD ( $\text{Kg N ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ )**

**Table 2. N immobilization as  $\text{NH}_4^+$  and  $\text{NO}_3^-$  under CL and TRAD ( $\text{Kg N ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ )**

Sistema Labranza	Inmovilización	
	$\text{NH}_4^+$	$\text{NO}_3^-$
Cero Labranza	3,76 a	4,15 b
Labranza Tradicional	2,63 a	5,52 b

Letras iguales señala sin diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) según test de Student

Equal letters means no significant differences ( $P < 0,05$ ) according to the Student's test

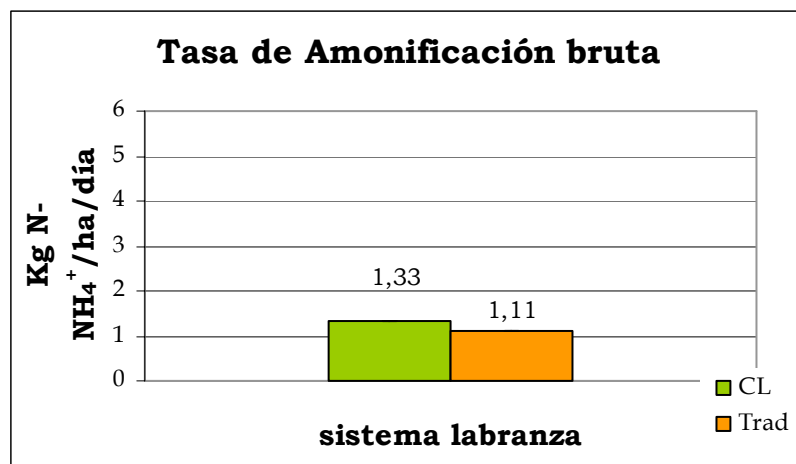


Figura 1. Tasa de amonificación, bajo CL y TRAD con porcentaje de error de 5%

Figure 1. Amonification rates under CL and TRAD with percentage of error of 5%

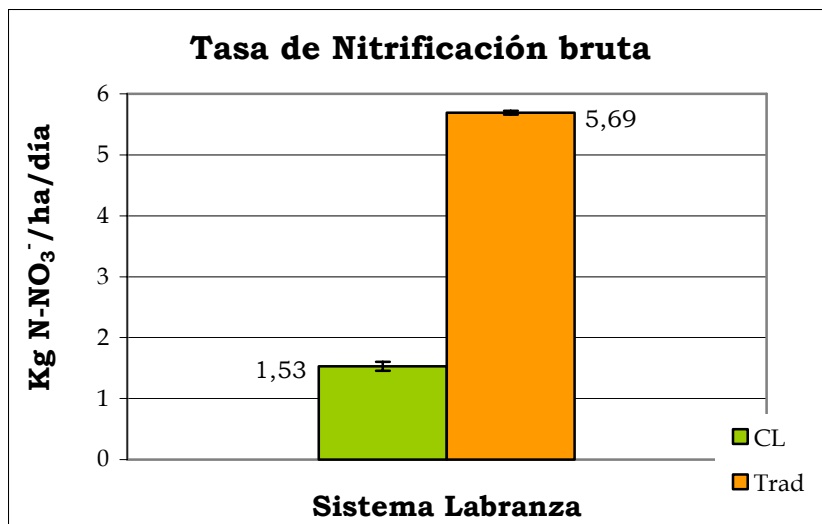


Figura 2. Tasa de nitrificación, bajo CL y TRAD con porcentaje de error de 5%

Figure 1. Nitrification rates under CL and TRAD with percentage of error of 5%

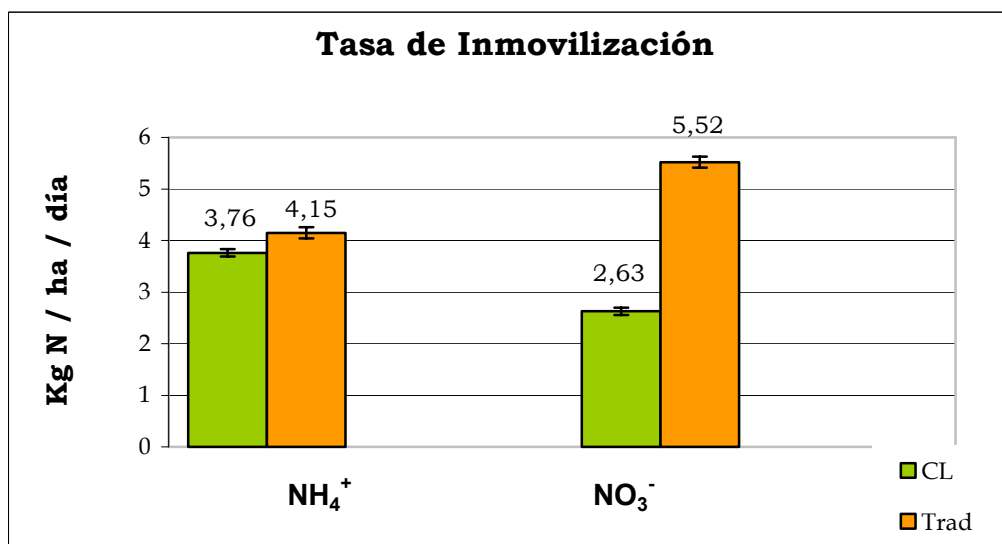


Figura 3. Tasa de inmovilización para NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y NO<sub>3</sub><sup>-</sup> bajo CL y TRAD.

Figure 3. Immobilization rates for NH<sub>4</sub><sup>+</sup> and NO<sub>3</sub><sup>-</sup> under CL and TRAD



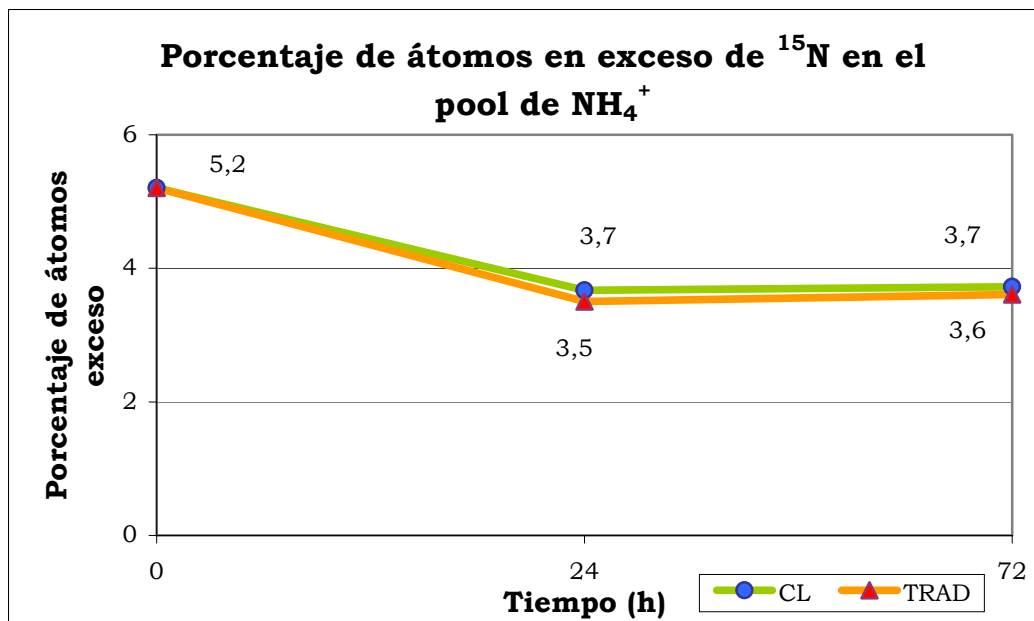


Figura 4. Evolución del porcentaje de átomos en exceso de  $^{15}\text{N}$  en el “pool” de  $\text{NH}_4^+$  a las 24 y 72 h. posterior a la adición de fertilizante marcado bajo CL y TRAD.

Figure 4. Evolution of the atom percentage  $^{15}\text{N}$  in excess of the  $\text{NH}_4^+$  pool at 24 and 72 hour after fertilizar marked under CL and TRAD addition.

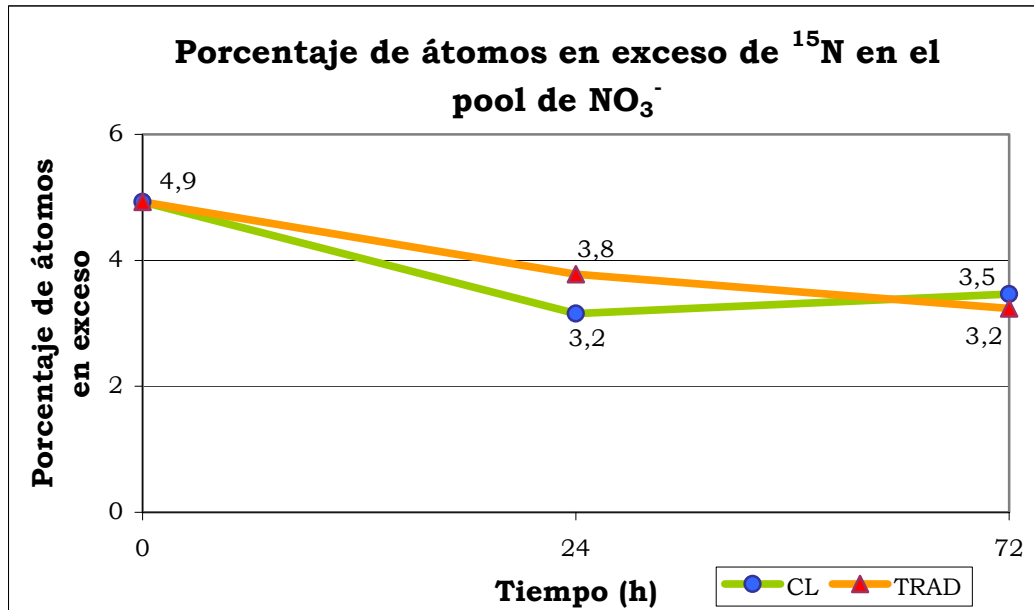


Figura 5. Evolución del porcentaje de átomos en exceso de  $^{15}\text{N}$  en el “pool” de  $\text{NO}_3^-$  a las 24 y 72 h. posterior a la adición de fertilizante marcado bajo CL y TRAD.

Figure 5. Evolution of the atom percentage  $^{15}\text{N}$  in excess of the  $\text{NO}_3^-$  pool at 24 and 72 hour after fertilizer marked under CL and TRAD addition.

## CONCLUSIONES

Existen diferencias significativas en la tasas de mineralización bruta de N, entre sistemas de labranza, en las primeras 72 horas luego de haber aplicado solución fertilizante al suelo.

En la tasa de amonificación, el mayor valor se observó en CL.

En la tasa de nitrificación bruta, el mayor valor observado fue en TRAD.

Para inmovilización, no se encontraron diferencias significativas.

En CL y en TRAD principalmente, sería conveniente aplicar una fuente amoniacal, debido a la retención de nitrógeno por parte de la fracción arcilla y la MOS.

## LITERATURA CITADA

- ACCOE, F. 2004. Assessment and quantification of the quality and dynamics of organic matter in agricultural soils via physical fractionation and stable isotope techniques. Tesis p.H. D. En Ciencias Biológicas Aplicadas. Gent, Universidad de Gent, Facultad Landbouwkundige. 178p.
- ACCOE, F., BOECKX P., VIDELA X., PINO I., HOFMAN G. and VAN CLEEMPUT O. 2005. Estimation of gross nitrogen transformation and nitrogen retention in grassland soils using FLUAZ. Soil Science Society American Journal 69: 1967-1976.
- AGUILERA, S., BORIE G., DEL CANTO P. y PEIRANO P. 1996. contribución del sistema conservacionista “cero labranza” en los niveles de C, P y bioactividad de suelo Santa Bárbara. Agricultura Técnica (CHILE) 56(4): 250-254.
- BARRACLOUGH, D. 1991. The use of mean pool abundances to interpret  $^{15}\text{N}$  tracer experiments. Plant and Soil 131: 89-96.
- BARRACLOUGH, D. 1995.  $^{15}\text{N}$  isotope dilution techniques to study soil nitrogen transformations and plant uptake. Fertilizer Research 42: 185 – 192.
- BARRACLOUGH, D. 1997. The direct or MIT route for nitrogen immobilization: a  $^{15}\text{N}$  mirror image study with leucine and glycine. Soil Biology Biochemistry 29(1): 101 - 108
- BESOAIN, E. 1985. Mineralogía de arcillas de suelos. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, San José, Costa Rica. 1205p.
- BRADY, N. and WEIL, R. 1996. The Nature and Properties of Soils. 11th edition. (Prentice Hall, New Jersey). 740p.
- CIREN-Chile. 2002. Descripciones de suelos. Materiales y símbolos. Estudio Agrológico IX Región. Publicación CIREN N° 122 Santiago, Chile. 360 p.
- CORRE, M., SCHNABEL, R. and STOUT, W. L. 2002 Spatial and seasonal variation of gross nitrogen transformations and microbial biomass in a Northeastern US grassland. Soil Biology and Biochemistry 34(4): 445-457.
- FAO/IAEA 2001. Use of isotope and radiation methods in soil and water management and crop nutrition. Training course series 14. Viena, Austria. 247p.
- FAUST H., SEBASTIANELLI J.A. y AXMANN H. 1987. Manual de laboratorio métodos para el análisis de  $^{15}\text{N}$ . Curso interregional de entrenamiento sobre el uso de  $^{15}\text{N}$  en ciencias de suelos, nutrición vegetal y biotecnología agrícola. FAO/OIEA 122p.
- HEILING, M., ARRILLAGA, J., HOOD-NOWOTNY, R. and VIDELA, X. 2005. Preparation of ammonium- $^{15}\text{N}$  and nitrate- $^{15}\text{N}$  samples by microdiffusion for isotope ratio analysis by optical emission spectrometry. Communications in Soil Science and Plant Analysis 37: 337-346.
- HOOD, R., MERCKX, R., STEEN JENSEN, E., POWLSON, D., MATIJEVIC, M. and HARDARSON, G. 2000. Estimating crop N uptake from organic residues using a new approach to the  $^{15}\text{N}$  isotope dilution technique. Plant and Soil 223: 33-44.

MURIUKI, A., KING, L. and VOLK, R. 2001. Nitrogen -15 recovery in soil incubated with potassium nitrate and clover residues. *Soil Science Society American Journal* 65: 1430-1436.

OIEA. 1990. Empleo de técnicas nucleares en los estudios de la relación suelo-planta. Colección de cursos de capacitación N° 2. 9–11p. Viena, Austria 311p.

REYES, V., FINDELING, A., MARLET, S., OLIVER, R., MARAUX, F., ALVES, J.A., STONE, L., DOUZET, J., SCOPEL, E. and RECOUS, S. 2002 [On-line]. Influence of no – tillage and cover plants on water and nitrogen dynamics in the Cerrados, Brazil. Disponible en el WWW: [http://www.sfst.org/Proceedings/17WCSS\\_CD/papers/1337.pdf](http://www.sfst.org/Proceedings/17WCSS_CD/papers/1337.pdf). Consultado el: 23 de junio de 2004.

ROUANET, J.L., PINO, I., PARADA, A.M., y NARIO, A. 2001 Efecto de tres sistemas de manejo de suelo en la eficiencia fisiológica de uso de nitrógeno fertilizante en trigo. *Agricultura Técnica (CHILE)* 61(4): 459 – 469.

ROUANET, J.L., PINO, I., NARIO, A., JOBET C., PARADA, A.M., y VIDELA X. 2005 Nitrógeno fertilizante residual en trigo en un Ultisol de la IX Región. X Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Universidad de Chile. Santiago Chile. 16-18 noviembre de 2005. *Boletín Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo* (21).64

SADZAWKA, A. 1990. Métodos de Análisis de Suelos. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Serie La Platina N°16: 20 – 22.

SADZAWKA, A. 2006. Propiedades físico-químicas de los suelos. I. Reacción (pH), acidez y alcalinidad p. 91 – 127 En: Luzio & Casanova (Eds.). *Avances en el conocimiento de los suelos de Chile*. Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. Santiago. 393 p

SORENSEN, P. and JENSEN, E. S. 1991. Sequential diffusion of ammonium and nitrate from soil extracts to a polytetrafluoroethylene trap for 15N determination. *Anal. Chim. Acta.* 252:201-203.

VIDAL, I., ETCHEVERS, J. y FISCHER, A. 2002. Dinámica del nitrógeno bajo diferentes rotaciones, sistemas de labranza y manejo de residuos en el cultivo de trigo. *Agricultura Técnica (CHILE)*, 62(1):121-132.

VIDAL, I. y TRONCOSO H. 2003. Incidencia de la quema y retención de rastrojos en cultivos anuales sembrados bajo cero labranza. *Boletín Sociedad Chilena de las Ciencias del Suelo.* (19): 68-92.

VIDELA, X. and HOOD, R. 2002. The effect of polyphenols on gross mineralization and nitrification. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal* 2(1): 1 – 6.

VIDELA X., PARADA A M., NARIO A. y PINO I. 2005. Efecto del contenido de agua en la mineralización bruta e inmovilización de nitrógeno. *Agricultura Técnica (CHILE)* 65(1): 74-78.

WATKINS, N. and BARRACLOUGH, D. 1996. Gross rates of N mineralization associated with the decomposition of plant residues. *Soil Biol. Biochem* 28(2): 169 – 175.

ZAGAL, E., RODRIGUEZ, N., VIDAL, I. y HOFMANN, G. 2003 Eficiencia de uso y dinámica del nitrógeno en una rotación con y sin uso de residuos. *Agricult*