

EFFECTO DE LA CERO LABRANZA SOBRE ALGUNAS ACTIVIDADES BIOLÓGICAS EN UN ALFISOL DEL SUR DE CHILE

Marysol Alvear Z.¹, Mario Pino B.¹, Carlos Castillo R.¹, Carmen Trasar-Cepeda²,
Fernando Gil-Sotres³.

¹Departamento de Ciencias Químicas. Universidad de La Frontera. Casilla 54-D
Temuco, Chile. Correo electrónico: alvear.marysol@gmail.com

²Laboratorios del Departamento de Bioquímica del Suelo, Instituto de Investigaciones
Agrobiológicas de Galicia, CSIC, España.

³ Departamento de Edafología y Química Agrícola. Universidad Santiago de
Compostela. España.

Effect of non-tillage on some biological activities in an Alfisol from Southern Chile

Keywords: Non-tillage, soil enzyme activities, microbial biomass, N-mineralization.

ABSTRACT

Due to the necessity to stabilize and protect the soil from degradation processes, the agronomic practices such non-tillage (NT) were applied. Microbial biomass (MB) and some enzyme activities were evaluated here because they are very sensitive to the changes taken place in the environment. The aim of this study was to measure some biological activities in an Alfisol of the Southern Chile under NT cropping. The biological activities evaluated were: carbon (BMC) and nitrogen (BMN) of microbial biomass, respectively), N- mineralization, dehydrogenase and catalase activities and some hydrolytic enzyme activities representative of different cycles of biological importance in soil (C, N, P, S). Soil organic C total N and S content also were evaluated. Soil samples were collected after harvest at three different depths (0-5, 5-10 and 10-20 cm), in soils cropped 4, 7 and 20 years under NT. The results showed an increment in organic C, N, S, N-mineralization and in the biological activities in the top soil 5 cm depth, with an increment of year under NT. In general, there was close relationships were found among almost all biological activities evaluated ($r > 0.8$; $p < 0.05$).

Palabras claves: cero labranza, actividades enzimáticas, biomasa microbiana, mineralización de N.

RESUMEN

Dada la necesidad de estabilizar y proteger los suelos, de los procesos de degradación, han surgido prácticas agronómicas conservacionistas, entre ellas, la cero labranza (CL). La medición de la biomasa microbiana (BM), junto a la determinación de algunas actividades enzimáticas en el suelo, fueron evaluadas ya que, son muy sensibles a los cambios producidos en el entorno. El objetivo de este estudio fue determinar algunas actividades biológicas en un Alfisol del sur de Chile sometido a un manejo de CL. Las actividades evaluadas fueron carbono (C) y nitrógeno (N) de la biomasa microbiana (CBM y NBM, respectivamente), mineralización del N, actividades dehidrogenasa y catalasa y algunas actividades enzimáticas hidrolíticas representativas de los diferentes ciclos de los elementos químicos de importancia biológica en suelos (C, N, P, S). Para ello se muestrearon suelos en post-cosecha a diferentes profundidades (0-5, 5-10 y 10-20 cm), desde sitios cultivados con cuatro, siete y veinte años con manejo de CL. Los resultados mostraron un incremento en el C, N y azufre (S) orgánicos, en la mineralización de N y en las actividades enzimáticas evaluadas, en los primeros 5 cm de suelo, en la medida que aumentan los años de CL. Además, se encontró una alta correlación ($r > 0.8$; $p < 0.05$) entre la mayoría de las actividades biológicas evaluadas.

INTRODUCCIÓN

Actualmente hay una preocupación mundial respecto a la acumulación de “gases efecto invernadero”, lo que ha conducido a la consideración de políticas para disminuir las emisiones de éstos y su impacto sobre el cambio climático global. Uno de los principales gases efecto invernadero, el dióxido de carbono (CO_2), se ha incrementado significativamente. El mayor factor contribuyente ha sido la combustión de combustibles fósiles en la producción de energía, y una segunda fuente ha sido el uso del suelo (Sauerbeck, 2001). Por otra parte, ante la creciente demanda de alimentos, fibras y protección ambiental de una sociedad en constante expansión, y el empobrecimiento de los recursos naturales no renovables (Cerrón y Melgarejo, 2005), generan la necesidad de realizar una agricultura sustentable (Acevedo y Silva, 2003).

La CL responde a la necesidad de mantener y/o mejorar la calidad de los recursos naturales en el proceso productivo agrícola (Acevedo y Silva, 2003). Sus ventajas han motivado a los productores a establecer esta

práctica, para superar problemas físicos del suelo como erosión, compactación y retención de humedad. También para solucionar problemas derivados de la falta de materia orgánica (MO) y fertilidad, ya que al mantener los rastrojos sobre el suelo, se evita la erosión y se estimula la actividad biológica aumentando la productividad del suelo (Crovetto, 1996; Crovetto, 2002). La fertilidad de un suelo también está dada por la cantidad y calidad de microorganismos y enzimas presentes o lo que es llamado fertilidad biológica de un suelo (Borie, 1994). Por lo tanto, para estimar el ‘grado’ de calidad se suele recomendar evaluar la actividad biológica del suelo (Trasar-Cepeda *et al.*, 1998; Alvear *et al.*, 2005; Joergensen y Emmerling, 2006).

Se sabe que bajo condiciones medio-ambientales apropiadas, la intensidad de reciclaje ‘turnover time (TT)’ de los productos orgánicos está controlada por el tamaño y actividad de la BM (Martens, 1995). Dada la importancia del TT para el flujo de C en el suelo, es importante su determinación. Gran número de reacciones bioquímicas, tienen un rol importante en el

ciclado y disponibilidad de nutrientes que la planta utiliza, así como las que están involucradas en la transformación de la MO, las que son catalizadas por enzimas. Se sabe que algunas enzimas del suelo proceden tanto de animales como de las raíces de plantas y microorganismos, se acepta que la mayor parte deriva esencialmente de los microorganismos (Tabatabai, 1994). Se han encontrado muy buenas correlaciones entre la actividad microbiana del suelo y los niveles de actividad enzimática (Salam *et al.*, 1999, Kandeler *et al.*, 1999, Alvear *et al.*, 2005). Entre los muchos factores que pueden afectar a las actividades enzimáticas del suelo tienen especial importancia la especie cultivada y el uso de enmiendas (Acosta-Martínez y Tabatabai, 2000). Diversos estudios sobre la actividad de las enzimas extracelulares en diversos ecosistemas han mostrado que los productos químicos utilizados en agricultura (fertilizantes, pesticidas, herbicidas, etc.) tienen una influencia muy marcada sobre las enzimas del suelo (Tabatabai, 1994; Alvear *et al.*, 2006).

La degradación de los sustratos orgánicos introducidos en el suelo consiste en una serie de reacciones oxidativas. Mediante la acción de dehidrogenasas y de los sistemas citocromos, los electrones son transferidos a través de una cadena de portadores intermedios hasta el oxígeno, que en medios aerobios actúa como aceptor final. Así, la dehidrogenasa, que es una actividad localizada intracelularmente, se considera como un índice de la actividad microbiana total del suelo (García-Izquierdo *et al.*, 2003).

Por su parte, la catalasa se encuentra en todas las bacterias aeróbicas y en la mayor parte de los organismos anaerobios facultativos; es una enzima de tipo intracelular, de ahí que, se ha utilizado como índice de la biomasa edáfica y como un componente de diferentes índices de fertilidad (García-Izquierdo *et al.*, 2003), al igual que la dehidrogenasa.

Las fosfomonoesterasas ácidas,

hidrolizan el P orgánico que habitualmente se encuentra en el suelo a formas inorgánicas que pueden ser absorbidas por las plantas. En el suelo, éstas se consideran que son extracelulares o abióticas (Skujins, 1978), cuya actividad se ve influida por el manejo del suelo (García-Izquierdo *et al.*, 2003) y presentan una tendencia a disminuir con la intensidad de labores agrícolas como la aradura (Doran, 1980).

Por otra parte, la fosfodiesterasa cataliza la reacción de hidrólisis de los di-éster-fosfatos a mono-éster-fosfatos; con gran aptitud para la degradación de ácidos nucleicos, por lo que su papel en el ciclo del P es importante (García-Izquierdo *et al.*, 2003).

La arilsulfatasa cataliza la ruptura del enlace S-O. El rol de ésta en el ciclo del S edáfico, es importante, dado que más del 50% del S presente en los suelos aparece bajo la forma de éster-sulfato, es decir, bajo formas que pueden ser convertidas en sulfatos inorgánicos mediante la acción de álcalis en caliente (Freney, 1961).

La determinación de la carboximetilcelulasa (CM-celulosa) en suelos, se fundamenta en la valoración de azúcares reductores generados a partir de la hidrólisis de enlaces glucosídicos del interior de las moléculas cristalinas de celulosa (García-Izquierdo *et al.*, 2003).

La β -glucosidasa cataliza la hidrólisis de β -D-glucósidos, dando como producto glucosa, que es una fuente importante de energía para los microorganismos del suelo (Tabatabai, 1982).

La invertasa, hidroliza disacáridos de tipo β -furanósidos y se la ha relacionado con el número de microorganismos en el suelo y con las actividades metabólicas (Skujins, 1978), aunque se reconoce que ésta se encuentra fuertemente adsorbida por las partículas del suelo.

La ureasa cataliza la hidrólisis de la urea a CO_2 y amonio. Se encuentra, en microorganismos, células animales y vege-

tales. El interés por ésta se debe a su relación con el ciclo del N y por el amplio uso que se ha dado a la urea como fertilizante nitrogenado en la agricultura (García-Izquierdo *et al.*, 2003).

Por otra parte, la actividad proteasa del suelo es la responsable de la descomposición progresiva del N contenido en las proteínas; procede de diferentes tipos de microorganismos, de residuos de las plantas y de la mesofauna del suelo. Las proteasas se clasifican, de acuerdo con el sustrato sobre el que actúan, sean éstos simples como caseína o más complejos como la N-benzoil-L-arginina amida (BAA), que parece estar relacionada con la actividad proteolítica ligada a los coloides húmicos.

La labranza convencional con rompimiento del suelo produce una aceleración en los procesos de descomposición del C orgánico, por oxidación prematura de la MO (Crovetto, 1996). Dada la necesidad de proteger los suelos, han surgido en Chile prácticas agronómicas conservacionistas, entre ellas la CL.

El objetivo de este estudio consistió en determinar CBM y NBM, mineralización del N, actividades dehidrogenasa y catalasa, junto con algunas actividades enzimáticas hidrolíticas, en un Alfisol del sur de Chile sometido a un manejo de cuatro, siete y veinte años de CL.

MATERIALES Y METODOS

Después de la cosecha del triticale (4 años de CL), del lupino (7 años de CL) y del trigo (20 años de CL), a fines de junio de 1999, se muestreó un Alfisol de la localidad de Florida, VIII Región, Chile (36°49'S, 72°40'O, 280 msnm), en parcelas sometidas a CL con mantención de rastrojos, durante cuatro, siete y veinte años. El suelo de cuatro años presentaba una rotación triticale-lupino-triticale; el de siete años, tres años de trigo y un año de lupino y el de veinte años, maíz y trigo, bajo riego. Las mues-

tras de suelo de cada parcela se obtuvieron a partir de 6 submuestras, con la ayuda de un barreno de 3,5 cm de diámetro evaluándose a tres profundidades: 0-5 cm; 5-10 cm y 10-20 cm, guardadas en bolsas isotérmicas y refrigeradas hasta su análisis. Se determinó C, N y S orgánicos, mediante analizador elemental, por combustión seca. La determinación del CBM se llevó a cabo mediante fumigación-extracción con CHCl_3 con posterior medición del C total por oxidación de dicromato (Vance *et al.*, 1987), utilizando como valor de K_{cc} 0,45 (Joergensen, 1996; Alvear *et al.*, 2005) y el NBM se llevó a cabo utilizando el procedimiento descrito por Badalucco *et al.* (1992), utilizando como valor K_{en} 0,54 (Brookes *et al.*, 1985).

Para determinar la mineralización del N, muestras de 10 g de suelo en duplicado fueron extraídas por 30 min con 50 ml de KCl 2M antes y después de la incubación por 10 días a 25°C, posteriormente el N amoniacal y el N inorgánico total fueron determinados en los extractos obtenidos por destilación de Kjeldahl. La mineralización fue determinada de la diferencia entre los valores obtenidos antes y después de la incubación de acuerdo al método descrito por Keeney y Bremner (1966).

Las diferentes actividades enzimáticas estudiadas, se midieron espectrofotométricamente, excepto la ureasa y la proteasa – BAA, actividades en que se utilizó un electrodo selectivo para cuantificar amoníaco. La actividad dehidrogenasa se determinó midiendo el trifenil formazán formado de acuerdo al método descrito por García-Izquierdo *et al.* (2003). La determinación de la actividad catalasa, se basa en su aptitud para descomponer el agua oxigenada en agua y oxígeno. La 4-aminoantipirina es oxidada, reaccionando con el fenol para dar un compuesto de color rosa que se puede medir a 505 nm (Trasar-Cepeda *et al.*, 1999). La fosfomonoesterasa ácida y la fosfodiesterasa fueron determi-

nadas por los métodos descritos por Alvear *et al.* (2005) y por Bowman y Tabatabai (1978), respectivamente. En cuanto a la arilsulfatasa, por el método de Tabatabai y Bremner (1970). La β -glucosidasa fue determinada de acuerdo al método descrito por Alvear *et al.* (2005), y la invertasa junto con la CM-celulasa fueron determinadas por el método de Schinner y von Mersi (1990). La ureasa fue determinada de acuerdo al método descrito por Gil-Sotres *et al.* (1992), y la proteasa-caseína junto con la proteasa que hidroliza N- α -benzofl-L-arginin-amida (BAA) determinadas por el método descrito por Ladd y Buttler (1972).

Dado el alto número de actividades biológicas descritas, para facilitar el análisis de los resultados y discusión, de acuerdo con la clasificación realizada por Nannipieri *et al.* (1995) quienes las agruparon en actividades generales de la actividad microbiana del suelo, grupo en el que se incluyen CBM, NBM, mineralización del N, actividades enzimáticas oxido-reductasas y el grupo correspondiente a las actividades específicas, grupo que incluye a una gran cantidad de enzimas hidrolíticas.

Todas las determinaciones se realizaron en triplicado para cada submuestra y se expresaron en base a suelo seco (105°C por 24 h). Los datos se normalizaron antes del análisis estadístico mediante la transformación arcoseno. Para todas las variables, posterior al análisis de varianza de dos factores, se aplicó el test de Duncan de rango múltiple ($p < 0,05$). Para realizar los cálculos para el análisis estadístico se utilizó la versión de prueba del software estadístico SPSS 11.0 para Windows.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La muestra de suelo con 20 años de CL presentaron los mayores valores de C, N y S orgánicos en los primeros 5 cm de profundidad (Cuadro 1). Esta cantidad de C orgánico en el tratamiento 20 años CL con resi-

duos podría ser atribuido a una menor tasa de descomposición de la MO como consecuencia de una distribución diferente de la MO en el perfil de suelo (Vidal *et al.*, 1997, Borie *et al.*, 2000). Acevedo y Silva (2003), indican que la CL contribuye a aumentar la captura C en el suelo, disminuyendo así las emisiones de CO₂ a la atmósfera. Al analizar suelos sometidos durante varios años a CL, Roldán *et al.* (2003), encontraron niveles de C y N orgánicos significativamente mayores a los encontrados en un suelo sometido a labranza tradicional. Por su parte, Alvear *et al.* (2005) encontraron que el S orgánico, también es mayor en suelos sometidos a CL. Además, a medida que aumenta la profundidad del suelo, los valores obtenidos tanto para el C, N y S orgánicos son menores (Cuadro 1). En las muestras con 7 años de CL, la rotación incluyó varios años de cultivos con cereales, cuyos rastrojos contienen más lignina que los provenientes de leguminosas. Considerando que la lignina es altamente resistente a la descomposición microbiana (Melillo *et al.*, 1982), y que el aumento de la concentración de lignina reduce la descomposición y la liberación de nutrientes desde los rastrojos (Vidal y Troncoso, 2003); lo que explicaría los menores contenidos de C, N y S orgánicos a los obtenidos en las muestras con 4 años de CL. Esta última rotación también incluyó cereales, pero en un período más corto. Nuestros resultados fueron en línea con lo obtenido por Zagal *et al.* (2002), al comparar el % de C orgánico entre dos rotaciones con diferente cantidad de cereales y leguminosas. Un cereal secuestra más C del suelo que una leguminosa, por lo que el 'input' promedio por año es menor en una rotación con mayor proporción de cereales. La baja relación C:N de los residuos de leguminosas (7 años de CL), fomentan la actividad microbiana de las bacterias (Mera y Rouanet, 2003), éstas al no consumir C, aumenta el secuestro de este nutriente en el suelo.

Cuadro 1: Contenido de C, N y S y relación C/N a diferentes profundidades de un Alfisol sometido a un manejo bajo cuatro, siete y veinte años de CL.

Table 1: C, N and S contents and C/N ratio at different depths in an Alfisol under four, seven and twenty years with NT.

Suelo	Profundidad (cm)	C (%)	N (%)	S (%)	C:N
4 años CL	0-5	3,75 b	0,31 b	0,098 b	12,10
7 años CL	0-5	2,84 c	0,23c	0,071 c	12,35
20 años CL	0-5	7,42 a	0,65 a	0,150 a	11,42
4 años CL	5-10	2,64 b	0,23 b	0,042 b	11,48
7 años CL	5-10	1,86 c	0,16 c	0,033 c	11,63
20 años CL	5-10	4,82 a	0,45 a	0,067 a	10,71
4 años CL	10-20	2,34 a	0,21 a	0,041 ab	11,14
7 años CL	10-20	1,41 bc	0,13 b	0,025 c	10,85
20 años CL	10-20	1,80 b	0,18 b	0,048 a	10,00

En cada columna, para cada profundidad, medias con distinta letra indican diferencia significativa (Test de Duncan de rango múltiple, <0,05).

Los valores de CBM más altos se obtuvieron en los primeros 5 cm de profundidad, en el suelo sometido a CL por 4 años (Cuadro 2). En los 5 a 10 cm de profundidad el CBM aumento en la medida que aumentaban los años de CL, mientras que de 10 a 20 cm de profundidad, disminuyó, con mayor número de años manejado con CL, lo que podría explicarse por la formación de capas superiores de suelo. Según Vidal *et al.* (1997), se produce un aumento significativo del CBM en el sistema CL comparado con la labranza tradicional, resultados que pueden explicarse por la presencia de residuos del cultivo anterior (lupino), ya que los manejos que favorecen la acumulación de MO en el suelo incrementan la cantidad de BM (Jenkinson y Ladd, 1981). Resultados similares fueron obtenidos por Saffigna

et al. (1989) y Vidal *et al.* (1997), quienes consideran que el aumento de CBM en un sistema CL sin quema de residuos se debe a que éstos, mejoran las condiciones físicas del suelo, lo que genera una mayor retención de humedad y por ende se dispone de una mayor cantidad de sustratos carbonados.

Hubo un incremento del NBM (Cuadro 2) a mayor cantidad de años bajo CL. Por otra parte, a medida que la profundidad aumentaba, los valores obtenidos para el NBM fueron menores, resultados que concuerdan con los obtenidos por Vidal *et al.*(1997), quienes han analizado los efectos que las distintas técnicas agronómicas tienen sobre el CBM y NBM al evaluar el tipo de labranza (convencional y CL), manejo de residuos (retención y remoción) y sistemas de rotación. Además, encontraron que el sistema

CL incrementó en un 30 a 40 % la BM y la retención de residuos en un 20 a 30 %, destacándose el sistema de CL con retención de residuos como el tratamiento con mayores valores de CBM y NBM, en comparación con suelo sometido a labranza tradicional. Los valores obtenidos en este estudio, son superiores a los encontrados por Sparling *et al.* (1994) y Joergensen (1996).

Además, el NBM de este Alfisol se encuentra por sobre los valores reportados por Ojeda (1996) para suelos de la IX Región, manejados con CL y bosque nativo. Por su parte, el NBM fue significativamente más alto en los tratamientos con 7 y 20 años de CL, resultados similares a los informado por Smith y Paul (1990), Borie (1994) y Vidal *et al.*(1997).

Cuadro 2: Determinación de CBM y NBM, a diferentes profundidades de un Alfisol sometido a un manejo de cuatro, siete y veinte años bajo cero labranza.

Table 2: Microbial biomass C and MBN measurements at different depths in an Alfisol under four, seven and twenty years with NT.

SUELO	Profundidad (cm)	CBM (mg C kg ⁻¹)	NBM (mg N kg ⁻¹)
4 años	0-5	500,9 a	90,9c
7 años	0-5	281,1c	189,3b
20 años	0-5	467,7 ab	265,3a
4 años	5 - 10	160,9 c	19,6 c
7 años	5 - 10	301,3 b	110,9 b
20 años	5 - 10	393,1 a	221,1 a
4 años	10 - 20	158,4 a	43,5 c
7 años	10 - 20	124,0 b	62,6 a
20 años	10 - 20	107,0 c	51,4 b

CBM y NBM: Carbono y nitrógeno en la biomasa microbiana, respectivamente. En cada columna, para cada profundidad, medias con distinta letra indican diferencia significativa (Test de Duncan de rango múltiple, <0,05).

Respecto a la mineralización del N orgánico, inicialmente el contenido de $N-NH_4^+$ de los suelos es mayor a medida que aumenta el número de años de CL (Cuadro 3), lo mismo que, para el contenido de N final, hay diferencias significativas ($p < 0,05$). Las cantidades de N mineralizado, que aparecen bajo formas amoniacales en los primeros 5 cm de suelo, aumentaron en la medida que aumentaban los años de

CL y el N inorgánico se comportó de la misma manera, valores dentro del rango reportado por otros investigadores para suelos no intervenidos (Groffman *et al.*, 1996), lo que indica que, la CL es un sistema de producción que no afecta negativamente las características naturales de los suelos, a diferencia del efecto que tiene la labranza tradicional en las propiedades del suelo, luego de ser intervenido.

Cuadro 3: Mineralización del N a diferentes profundidades de un Alfisol sometido a un manejo de cuatro, siete y veinte años bajo CL. Resultados expresados en $mg\ kg^{-1}$ de suelo.

Table 3: Nitrogen mineralization at different depths in an Alfisol under four, seven and twenty years with NT.

Tratamiento	Profundidad cm	N inicial		N final		N mineralizado	
		$N-NH_4^+$	N-inorg	$N-NH_4^+$	N-inorg	$N-NH_4^+$	N-inorg
4 años	0 - 5	1,33 c	45,23 a	3,97 b	63,59 a	2,64 c	18,36 bc
7 años	0 - 5	2,06 a	32,98 b	5,36 a	53,60 b	3,30 b	20,62 b
20 años	0 - 5	1,82 b	30,49 b	5,89 a	63,90 a	4,07 a	33,41 a
4 años	5 - 10	1,28 b	37,08 a	5,08 a	48,69 a	3,80 a	11,61 b
7 años	5 - 10	0,79 c	13,18 c	3,92 c	21,54 c	3,13 ab	7,73 c
20 años	5 - 10	1,68 a	24,34 b	4,18 b	43,48 b	2,50 c	19,14 a
4 años	10 - 20	0,80 b	25,06 a	3,56 a	26,49 a	2,76 a	1,43 c
7 años	10 - 20	0,79 b	11,06 b	1,97 c	15,80 b	0,64 c	4,74 b
20 años	10 - 20	1,14 a	7,20 c	2,70 b	12,36 c	1,56 b	5,16 a

N-inorg: N inorgánico.

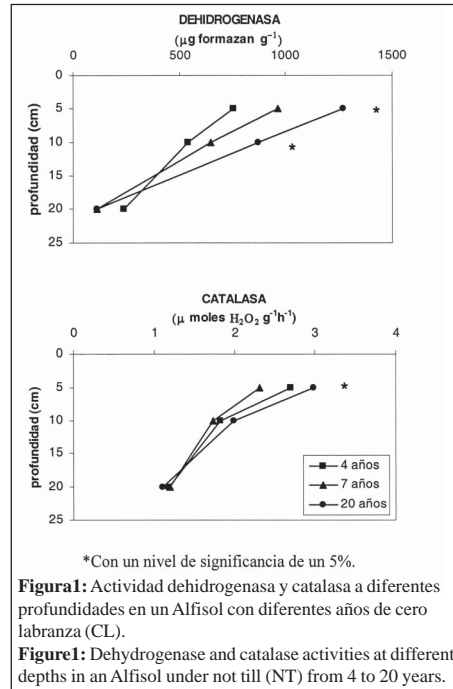
En cada columna, para cada profundidad, medias con distinta letra indican diferencia significativa (Test de Duncan de rango múltiple, $p < 0,05$).

En relación a las actividades enzimáticas evaluadas, se puede apreciar que el suelo bajo CL, a mayor cantidad de años, muestra una mayor actividad enzimática, principalmente en los primeros 5 cm de suelo, con una disminución importante al aumentar la profundidad (Figuras 1, 2, 3, 4 y 5). Lo anterior, era previsible ya que las actividades biológicas del suelo dependen de las fuentes de C lábil, por lo que se espera que su distribución sea paralela a la distribución de éste en el suelo (Franzleubbers, 2002).

Los valores más altos obtenidos para la actividad dehidrogenasa fueron para 20 años CL en los primeros 5 cm de suelo (Figura 1), valores similares a los reportados por Alvear *et al.* (2005), para la misma época de muestreo en un Ultisol de la IX Región sometido a tres años de CL. Por su parte, Ojeda (1996), informó valores de 264,0 y 504,0 μg de rojo formazán g^{-1} , para un suelo con trigo bajo CL y bosque nativo, respectivamente.

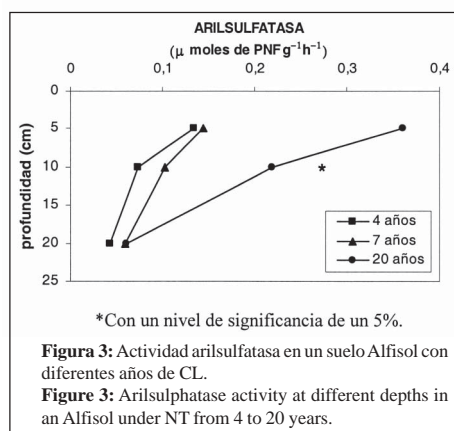
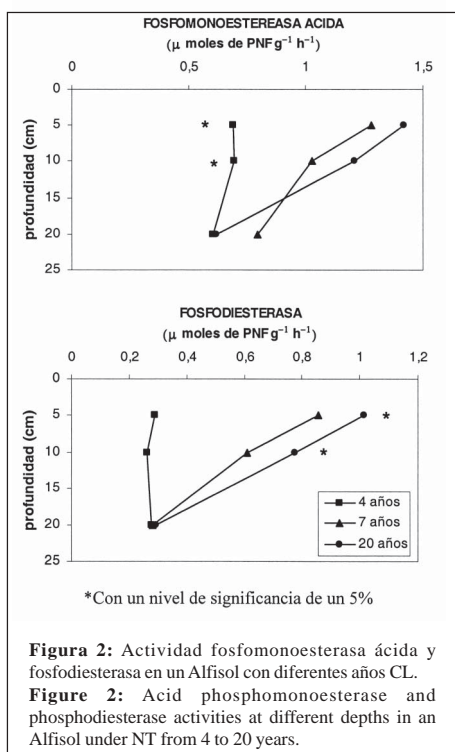
La actividad catalasa (Figura 1) en los primeros 5 cm fue de 2,31 a 2,99 $\mu\text{moles H}_2\text{O}_2 \text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$. No existen datos de ésta actividad enzimática en suelos chilenos, sin embargo, al compararlos con suelos gallegos, nuestros valores son inferiores (Trasar-Cepeda *et al.*, 1999). Por su parte, es importante determinar esta actividad enzimática pues, Gawronska *et al.* (1992) indican que, esta enzima es sensible, con fuertes reducciones, a las prácticas agrícolas como el monocultivo sostenido por largos períodos de tiempo.

La actividad fosfomonoesterasa ácida (Figura 2), presentó valores menores a los reportados para este mismo suelo en el año 1992 (Crovetto, 1992), en un suelo con 7 años de CL. En general, se observa que a mayor número de años bajo CL, mayor actividad fosfomonoesterasa ácida, siendo más altos los valores en los primeros 5 cm de suelo, debido al efecto de la cobertura que queda sobre éste luego de la cosecha (Crovetto, 2002). El comportamiento fren-



te a la adición de residuos orgánicos, ha sido discutido por diversos autores; para algunos, la actividad fosfomonoesterasa ácida se incrementa con la adición al suelo de productos orgánicos residuales (Perucci *et al.*, 1984), lo que concuerda con lo obtenidos en este estudio. En cambio, Olander y Vitousek (2000), indican que esta actividad enzimática disminuye si en el suelo hay una mayor disponibilidad de P (retro-inhibición negativa). En cuanto a la actividad fosfodiesterasa es primera vez determinada en suelos chilenos (Figura 2), siendo menores a los reportados por Trasar-Cepeda *et al.* (2000).

La actividad arilsulfatasa (Figura 3), presenta valores similares a los encontrados por Pulford y Tabatabai (1988) y García-Alvarez e Ibáñez (1994). En las muestras con 20 años de CL, en los primeros 5 cm de suelo, se obtuvieron valores superiores a los encontrados por Alvear *et al.* (2005), a diferencia de lo encontrado para las muestras con 4 y 7 años de CL, cuyos valores fueron similares. Acosta-Martínez *et al.* (2006) se-



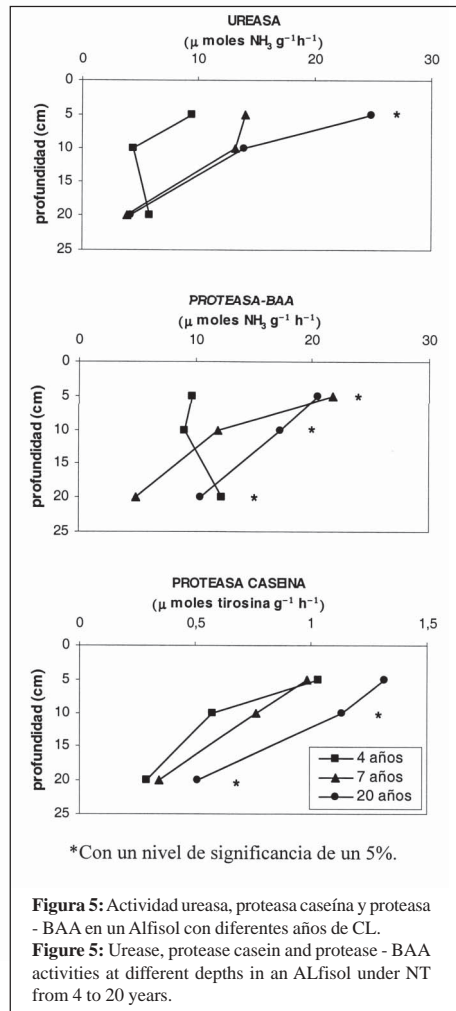
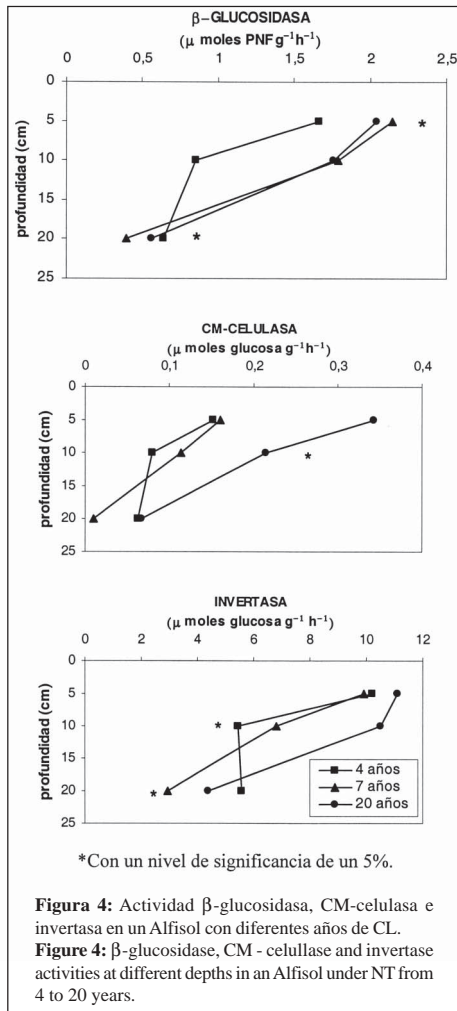
significativamente con el porcentaje de C orgánico (Cuadro 1), resultados que concuerdan con Eivazi y Tabatabai (1990), y Klose y Tabatabai (1999).

En Chile es primera vez que se determinan la actividad invertasa y CM-celulasa. Respecto a la actividad invertasa (Figura 4), no se observaron diferencias significativas entre 4 y 7 años de CL en los primeros 5 cm de suelo, pero sí en los de 5 a 10 cm y en los de 10 a 20 cm de profundidad. Con relación a la actividad CM-celulasa, los valores promedios para los primeros 5 cm de suelo, concuerdan con los reportados por Deng y Tabatabai (1996), quienes observaron que es mayor la actividad de ésta en suelos que son cultivados con CL que, en aquéllos que sufren diversas labores de arado.

ñalan que la actividad arilsulfatasa es afectada por el tipo de uso al que sean sometidos los suelos de origen volcánico (forestal, pradera o agrícola). En forma similar a otras actividades enzimáticas, se ha observado que la arilsulfatasa aparece relacionada con el contenido de C, la cual disminuye en profundidad en el suelo (Dick *et al.*, 1988).

La actividad β -glucosidasa (Figura 4) presenta valores semejantes para suelos de bosques naturales reportados por Kawaguchi *et al.* (1995); Deng y Tabatabai (1996) y García-Izquierdo *et al.* (2003). En los primeros 5 cm de suelo (Figura 4) se observa en todos los casos una mayor actividad. Estos resultados concuerdan con estudios realizados por Deng y Tabatabai (1996) relacionados con la distribución de esta enzima, la que encontraron que está concentrada en la superficie del suelo y que disminuye con la profundidad. Por otra parte, esta enzima está correlaciona

Respecto a la actividad ureasa (Figura 5), los valores obtenidos son similares a los descritos por Trasar-Cepeda *et al.* (2000) y Alvear *et al.* (2005), y superiores a los reportados por Roldán *et al.* (2003). Con relación a las actividades enzimáticas proteasa-caseína y proteasa-BAA, al igual que la invertasa y CM-celulasa es primera vez que se determinan en Chile. Los valores encontrados para la proteasa-caseína y para la proteasa-BAA (Figura 5), son similares a los encontrados en suelos no intervenidos (Trasar-Cepeda *et al.*, 2000). Por su parte, Klein y Kothe (1980) encuentran



que la actividad proteasa caseína es mayor cuando el suelo es sometido a CL y Kandeler y Eder (1993) indican que la actividad proteasa caseína se incrementa cuando los suelos agrícolas se transforman en praderas. La actividad de la proteasa-BAA fue muy superior a la de las proteasas capaces de hidrolizar caseína en las tres profundidades ensayadas.

En general, se observa una gran correlación ($r > 0.8$; $p < 0.05$) entre las diferentes actividades biológicas evaluadas (Cuadro 4), lo que concuerda con los resultados recientemente reportados por Alvear *et al.* (2005).

CONCLUSIONES

La CL en un Alfisol del sur de Chile, incrementó los niveles de MO a mayor número de años sometido a ésta práctica, y además aumentaron las actividades enzimáticas evaluadas, tanto del ciclo del C, P, S y N, así como también las actividades de hidrogenasa y catalasa, principalmente en los primeros 5 cm de profundidad del suelo.

La CL incrementó el C orgánico en los horizontes superficiales, disminuyendo las emisiones de CO_2 a la atmósfera, mitigando en cierta medida, el efecto invernadero.

El CBM, NBM, junto a la determinación de algunas actividades enzimáticas son sensibles a los cambios producidos en el entorno por efecto de los años de CL, la rotación y acumulación de residuos orgánicos.

Se observaron altos valores de correlación entre las variables estudiadas ($r > 0.8$; $p < 0.05$), en la mayoría de las actividades biológicas evaluadas.

Los resultados encontrados, indican la importancia de las actividades biológicas para conocer acerca de lo que está ocurriendo en los agroecosistemas cuando éstos son manejados con CL, y el efecto de los diferentes tipos de rastrojos utilizados como cobertura vegetal. Sin embargo, estudios posteriores deberían estar orientados a analizar un mayor número de suelos chilenos, de diferente naturaleza edáfica, sometidos a labranza convencional y CL, para su comparación, de modo de extraer conclusiones más certeras acerca de la importancia que poseen las actividades biológicas en la evaluación temprana de los cambios producidos en los diferentes agroecosistemas y, por ende, en su sostenibilidad.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue financiado por la Dirección de Investigación de la Universidad de La Frontera, **Proyecto DIDUFRO N° 9810**. Los autores desean agradecer al Sr. Carlos C. Crovetto Lamarca por su disposición en la obtención de las muestras de suelo bajo cero labranza. Además, de agradecer al **Convenio de Intercambio Universidad de La Frontera, Chile – Universidad Santiago de Compostela, España**, que permitió que la Dra. M. Alvear hiciera una pasantía en los Laboratorios del Departamento de Edafología y Química Agrícola de la Universidad de Santiago de Compostela y en Laboratorios del Departamento de Bioquímica del Suelo, Instituto de Investigaciones Agrobiológicas de Galicia, CSIC, España.

BIBLIOGRAFIA

- ACOSTA-MARTÍNEZ, V; CRUZ, L; SOTOMAYOR-RAMÍREZ, D and PÉREZ-ALEGRÍA, L. 2006. Enzymes activities as affected by soil properties and land use in a tropical watershed. *Applied Soil Ecology*, article in press.
- ACOSTA - MARTINEZ, V. and TABATABAI, M. A. 2000. Enzyme activities in a limed agricultural. *Soil Biology and Fertility of Soils* 31: 85-89.
- ACEVEDO, E. y SILVA, P. 2003. *Agronomía de la Cero Labranza*. Santiago, Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas N° 10.132pp.
- ALVEAR, M., ROSAS, A. ROUANET, J.L. y BORIE F., 2005. Effects of three soil tillage systems on some biological activities in an Ultisol from southern Chile. *Soil and Tillage Research* 82, 195-202.
- ALVEAR, M., LOPEZ, R., ROSAS, A. y ESPINOZA, N. 2006. Efecto de la aplicación de herbicidas en condiciones de campo sobre algunas actividades biológicas. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal* 6, 64-76.
- BADALUCCO, L. GELSOMINO, A., DELL'ORCO, S. GREGO, S. and NANNIPIERI, P. 1992. Biochemical characterization of soil organic compounds extracted by 0.5 M K_2SO_4 before and after chloroform fumigation. *Soil Biology & Biochemistry* 24, (6):569-578.
- BORIE, F., 1994. Microorganismos y cero labranza. *Frontera Agrícola* (N° 1) p 13-26.
- BORIE, F., RUBIO, R., MORALES, A. y CASTILLO, C., 2000. Relación entre densidad de hifas de hongos micorrizógenos arbusculares y pro-

- ducción de glomalina con las características físicas y químicas de suelos bajo cero labranza. *Revista Chilena de Historia Natural* 73:749-756.
- BOWMAN, M. G. and TABATABAI, M. A., 1978. Phosphodiesterase activity of soils. *Soil Science Society of American Journal* 42:284-290.
- BROOKES, P. C., LANDMAN, A., PRUDEN, G. and JENKINSON, D. S., 1985. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. *Soil Biology & Biochemistry*. 17:837-842.
- CERÓN, L. E. y MELGAREJO, L. M., 2005. Enzimas del suelo: Indicadores de Salud y Calidad. *Acta Biológica Colombiana* 10, 5-18.
- CROVETTO, C., 1992. Rastrojos sobre el suelo. Una introducción a la cero labranza. Editorial Universitaria. Santiago, Chile. 312pp.
- CROVETTO, C., 1996. Stubble over the soil. *American Society of Agronomy*. Madison, WI, 264pp.
- CROVETTO, C., 2002. Cero Labranza: Los rastrojos, la nutrición del suelo y su relación con la fertilidad de las plantas. Trama Impresores S.A., Talcahuano, Chile. 225pp
- DENG, S., and TABATABAI, M., 1996. Effects of tillage and residues management on enzyme activity in soil. I. Amidohidrolases. *Biology and Fertility of Soils* 22:202- 207.
- DICK, R. P., RASMUSSEN, P. E. and KERLE, E. A., 1988 Influence of long-term residue management on soil enzyme activities in relation to soil chemical properties of a wheat-fallow system. *Biology & Fertility of Soils* 6:159-164.
- DORAN, J. W., 1980. Soil microbial and biochemical changes with reduced tillage. *Soil Science Society American Journal* 44:765-771.
- EIVAZI, F. and TABATABAI, M. A., 1990. Factors affecting glucosidase and galactosidase activities in soils. *Soil Biology and Biochemistry* 22:891-897.
- FRANZLUEBBERS, A., 2002. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *Soil and Tillage Research* 66, 95-106.
- FRENEY, J.R., 1961. Some observations on the nature of organic sulphur compounds in soil. *Australian Journal of Agriculture Research* 12:424-432.
- GARCIA-ALVAREZ, A. and IBÁÑEZ, J., 1994. Seasonal fluctuations and crop. Influence on microbiota and enzyme activity in fully developed soils of Central Spain. *Arid Soil Research and Rehabilitation* 8:161-178.
- GARCIA-IZQUIERDO, C., GIL-SOTRES, F., HERNÁNDEZ-FERNÁNDEZ, T. y TRASAR-CEPEDA, C. 2003. Técnicas de Análisis Bioquímicos en suelos: Medida de Actividades Enzimáticas y Biomasa Microbiana. GGHT Ediciones y Mundi-Prensa, España, 371 p.
- GAWRONSKA, A., KULINSKA, D., LENART, S., and JASKOWSKA, H., 1992. The effect of the maize monoculture on the biological properties of soil and on the yields of plants. *Polish Journal Soil Science* 25:89-94.
- GIL-SOTRES, F., TRASAR-CEPEDA, M., CIARDI, C., CECCANTTI, B., and LEIROS, M., 1992. Biochemical characterization of biological activity in very young mine soils. *Biology and Fertility of Soils* 13, 25-30

- GROFFMAN, P. M., HANSON, G.C., KIVIAT, E., and STEVENS, G. 1996. Variation in microbial biomass and activity in four different wetland types. *Soil Science Society of American Journal* 60:622-629.
- JENKINSON, D., and LADD, N., 1981. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. En: Paul E A & Ladd N (eds). *Soil Biochemistry*: : 415-471. Marcel Dekker, N.Y., Estados Unidos.
- JOERGENSEN, R., 1996. Quantification of the microbial biomass by determining ninhydrin-reactive N. *Soil Biology and Biochemistry* 22: 1023-1028.
- JOERGENSEN, R., and EMMERLING, C., 2006. Methods for evaluating human impact on soil microorganisms based on their activity, biomass, and diversity in agricultural soils. *Journal Plant Nutrition Soil Science* 169, 295-309
- KANDELER, E., and EDER, G., 1993. Effect of cattle slurry in grassland on microbial biomass on activities of various enzymes. *Biology and Fertility of Soils* 16: 249-254.
- KANDELER, E., TSCHERKO, D., and SPIEGEL, H., 1999. Long-term monitoring of microbial biomass, N mineralization and enzyme activities of a Chernozem under different Tillage management. *Biology & Fertility of Soils* 28: 343-351.
- KAWAGUCHI, S., PEYARA, S. M., and YAMADA, Y., 1995. Soil properties and enzyme activity along narrow topographic environments of Salva series soils in Bangladesh. *Institut of Tropical Agriculture* 18:71-79.
- KEENEY, D. R., and BREMNER, J. M., 1966. Comparison and evaluation of laboratory methods of obtaining an index of soil nitrogen availability. *Agronomical Journal* 58: 498-503.
- KLEIN, T. M., and KOTHS, J. S., 1980. Urease, protease and acid phosphatase in soil continuously cropped to corn by conventional or non-tillage methods. *Soil Biology and Biochemistry*, 12: 293-294.
- KLOSE, S., and TABATABAI, M., 1999. Arylsulfatase activity of microbial biomass in soils. *Soil Science Society of American Journal* 63:569-574.
- LADD, J. N., and BUTLER, J. H. A., 1972. Short-term assays of soil proteolytic enzyme activities using protein and dipeptide derivatives as substrates. *Soil Biology and Biochemistry* 4:19-30.
- MARTENS, R., 1995. Current methods for measuring microbial biomass C in soil: potentials and limitations. *Biology and Fertility of Soils* 19:87-99.
- MELILLO, J. M., ABER, J. D., and MURATORE, J.F., 1982. Nitrogen and lignin control of hardwood leaf litter decomposition dynamics. *Ecology* 63, 621-626.
- MERA, M. and ROUANET, J. L. 2003. Contribución de las leguminosas de grano en rotación con cereales: una revisión. *Ca8. 4*. En: Acevedo, E. (Ed) *Sustentabilidad en cultivos anuales: Cero labranza y manejo de rastrojos*. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Serie Ciencias Agronómicas N° 8, pp 135-156.
- NANNIPIERI, P., LANDI, L., and BADALUCCO, J., 1995. La capacità metabólica e la Qualità del suolo. *Agronomia* 29, 312-316.
- OJEDA, G., 1996. Determinación de actividades biológicas en suelos volcánicos por medio de mediciones enzimáticas y de ATP. Tesis Licenciado en Bioquímica, Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 72p.

- OLANDER, L.P. and VITOUSEK, P.M., 2000. Regulation of soil phosphatase and chitinase activity by N and P availability. *Biogeochemistry* 49: 175-190.
- PERUCCI, P., SCARPONI, L. and BUSINELLI, M., 1984. Enzyme activities in a clay loam soil amended with various crop residues. *Plant & Soil* 81: 345-351.
- PULFORD, I. and TABATABAI, M., 1988. Effect of water logging on enzyme activities in soils. *Soil Biology and Biochemistry* 20: 215-219.
- ROLDÁN, A; CARAVACA, F; HERNANDEZ, M.T and GARCÍA, C. 2003. No-tillage, crop residue addition on soil quality characteristics under maize in Patzcuaro watershed (Mexico). *Soil and Tillage Research* 72:65-73.
- SAFFIGNA, P., POWLSON, D., BROOKES, P. and THOMAS, G., 1989. Influence of sorghum residues and tillage on soil organic matter and soil microbial biomass in on Australian vertisol. *Soil Biology and Biochemistry* 21:759-765.
- SALAM, A. K., DESVIA, Y., SUTANTO, E., SYAN, T., NUGROHO, S. G. and KIMURA, M., 1999 Activities of soil enzymes in different land-use systems in middle terrace areas of Lampung Province, South Sumatra, Indonesia. *Soil Science and Plant Nutrition* 45 (1): 89-99.
- SAUERBECK, D.R., 2001. CO₂ emissions and C sequestration by agriculture-perspectives and limitations. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 60, 253-266.
- SCHINNER, F. and VON MERSI, W., 1990. Xylanase-, CM-cellulase- and invertase activity in soil: and improved method. *Soil Biology & Biochemistry* 22:511-515.
- SKUJINS, J., 1978. History of abiotic soil enzymes research. En: R G Burns (Ed) *Soil Enzymes: 1-49* Academic Press, London.
- SMITH, J. and PAUL, E., 1990. The significance of soil microbial biomass estimations. *Soil Biology and Biochemistry* 6:357-396.
- SPARLING, G., BRANDENBURG, S. and ZHU, CH., 1994 Microbial C and N in revegetated wheat belt soils in western Australia: estimation in soil, humus and leaf-litter using the ninhydrin method. *Soil Biology and Biochemistry* 26: 1179-1184.
- TABATABAI, M. A., 1982. Page A L, Miller R H & Keeney D R (eds) *Soil Enzymes*. En: *Methods of Soil Analysis. Chemical and Microbiological Properties Part 2: 903-947* 2nd Ed. Agronomy 9, ASA-SSSA. Madison.
- TABATABAI, M. A., 1994. Enzymes. En: Weaver R, Augle S, Bottomly P, Bezdicek D, Smith S, Tabatabai A, Wollum A (eds). *Methods of soil analysis. Microbiological and biochemical properties :775-833* Part 2., N°5. Soil Science Society of America, Madison. Pp.
- TABATABAI M, A. and BREMNER, J. M., 1970 Arylsulfatase activity of soil. *Soil Science Society of American Proceedings*. 34:225-229.
- TRASAR-CEPEDA, C., LEIROS, M. C. and GIL-SOTRES, F., 1998. Towards a biochemical quality index for soils: an expression relating several biological and biochemical properties.. *Biology and Fertility of Soils* 26: 100-106.
- TRASAR-CEPEDA, C., CAMIÑA, F., LEIROS, M. C. and GIL-SOTRES, F., 1999. An improved method to measure catalase activity in soils. *Soil Biology and Biochemistry* 31:483-485.

- TRASAR-CEPEDA, C., LEIROS, M. and GIL-SOTRES, F., 2000. Biochemical properties of acid soils under climax vegetation (Atlantic oakwood) in an area of the European temperated-humid zone (Galicia, NW Spain): specific parameters. *Soil Biology and Biochemistry* 32:747-755.
- VANCE, E. D., BROOKES, P. C. and JENKINSON, D. S., 1987. An extraction method for measuring soil microbial C. *Soil Biology & Biochemistry* 19:159-164.
- VIDAL, I., ETCHEVERS, J. y FISCHER, A., 1997. Biomasa microbiana en un suelo sometido a diferentes manejos de labranza y rotación. *Agricultura Técnica (Chile)*. 57:272-281.
- VIDAL, I. y TRONCOSO, H., 2003. Manejo de rastrojos en cultivos bajo cero labranza. Cap. 4. En: Acevedo, E. (Ed) *Sustentabilidad en cultivos anuales: Cero labranza y manejo de rastrojos*. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Serie Ciencias Agronómicas N° 8, pp 57-81.
- ZAGAL, E., RODRÍGUEZ, N., VIDAL, I. y QUEZADA, L. 2002. Actividad microbiana en un suelo volcánico bajo distinto manejo agronómico. *Agricultura Técnica* 62(2): 297-309.