

BIOMASA MICROBIANA Y ACTIVIDAD UREASA DEL SUELO EN UNA PRADERA PERMANENTE PASTOREADA DE CHILE

PEDRO ANTONIO NÚÑEZ RAMOS^{1*}; ALEJANDRA ANTONIA JARA CASTILLO^{2,3}; YESSICA SANDOVAL SANDOVAL⁵; ROLANDO DEMANET⁴ & MARÍA DE LA LUZ MORA^{2,3}

Recibido: 10-08-11

Recibido con revisiones: 27-06-12

Aceptado: 01-07-12

RESUMEN

En los sistemas de pasturas, la productividad de la pradera puede estar influenciada por el manejo, debido a su impacto sobre los microorganismos del suelo y el reciclaje de nutrientes. El objetivo de este trabajo fue evaluar la biomasa microbiana (BM) del suelo asociada al nitrógeno (BMN), carbono (BMC) y la actividad ureasa (AU) en una pradera permanente del sur de Chile. Entre la primavera de 2005 y el invierno de 2006 fueron evaluados dos sistemas de pastoreo: pastoreo intenso (PI), pastoreo suave (PS) y un tratamiento control (C). El diseño fue en bloques al azar con tres repeticiones. En relación a los valores promedios medidos de las variables en pre y post pastoreo, se produjo un incremento en los contenidos de CB en un 21,8 y 8,6% para PI y PS, mientras que en el control fue sólo de 1,9%. Los contenidos de NB también fueron incrementados en un 16 y 19% para PI y PS, respectivamente en comparación con el control (4%). La actividad ureasa aumentó en 13 y 27% para PI y PS, respectivamente en comparación con el control (5%). El pastoreo, produce un flujo más alto de residuos orgánicos en el suelo, lo que estimula la actividad de la biomasa microbiana y, por tanto, aumentó la AU y los contenidos de CB y NB. Esto sugiere que, en los sistemas de pastoreo, se mejora la fertilidad biológica de los suelos y la disponibilidad de nutrientes.

Palabras clave. Pastoreo, actividad biológica, nitrógeno y carbono biomásico.

SOIL MICROBIAL BIOMASS AND UREASE ACTIVITY IN A GRAZED PERMANENT PASTURE FROM CHILE

ABSTRACT

In pasture systems, management practices can affect pasture productivity differently due to their impact on soil microorganisms and nutrient cycling. The objective of this study was to evaluate the relationship between soil microbial biomass (MB) nitrogen (MBN), carbon (MBC) and urease activity (UA) in a permanent pasture in southern Chile. Two grazing systems were evaluated between spring 2005 and winter 2006: heavy grazing (HG), light grazing (LG) and a control treatment (C). Treatments were arranged in a randomized block design with three replications. Concerning the average values of the variables measured at the beginning and at the end of grazing, there was an increase in the content of BC of 21.8 and 8.6% for HG and LG, while the control was only 1.9%. BN contents were also increased by 16 and 19% for HG and LG, respectively, compared with the control (4%). The urease activity increased by 13 and 27% for HG and LG, respectively, compared with the control (5%). Grazing produced a higher flow of organic residues in the soil, stimulating microbial biomass and therefore increasing the UA and the BC and BN content. Thus, soil biological fertility and nutrient availability s increase under grazing systems.

Key words. Grazing, biological activity, carbon and nitrogen biomass.

1*Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, República Dominicana,

2 Departamento de Ciencias Químicas y Recursos Naturales,

3 Scientific and Technological Bioresources Nucleous (BIOREN),

4 Departamento de Ciencias Agropecuarias, Universidad de La Frontera, Temuco, Chile,

5 Especialista Ambiental independiente, Chile

*Autor para correspondencia: pnunez@idifaf.gov.do

INTRODUCCIÓN

Los Lagos y La Araucanía son las principales regiones del sur de Chile en producción de leche y carne con énfasis en la utilización de praderas mejoradas y naturales. Estas regiones representan entre el 9,2 y 7,5%, respectivamente, de las áreas ganaderas de Chile (INE, 1997) y poseen un 60% del área nacional dedicada a ganadería con bovinos en pastoreo (INE, 2007). Estas zonas ganaderas son de gran importancia económica, por lo que es de interés estudiar los procesos biológicos de estos ecosistemas, en especial las actividades biológicas del suelo, ya que están influenciando la productividad.

Los microorganismos juegan un papel fundamental en la sustentabilidad de los ecosistemas, por sus funciones en el reciclaje de nutrientes, formación de humus, mejoramiento de las propiedades del suelo y mantenimiento de la biodiversidad (Campbell *et al.*, 1997). La biomasa microbiana (BM), a pesar de que sólo representa entre un 1 a 3% del total de materia orgánica (MO) de acuerdo con Sparling (1985), tiene un impacto positivo en el ciclo de descomposición de la MO y en la fertilidad del suelo por la liberación de nutrientes. Las determinaciones de la BM pueden indicar cambios en los contenidos de MO (Jenkinson & Ladd, 1981). Por otro lado las actividades enzimáticas del suelo son sensores del estatus microbial y condiciones físico-químicas (Aon & Colaneri, 2001; Baum *et al.*, 2003).

En praderas pastoreadas la BM del suelo y su actividad pueden ser estimuladas por la cantidad de carbono (C) disponible en el suelo, esto dependerá, a su vez, de la incorporación de la excreta animal y de la superficie o cobertura a ocupar por la deposición. Iyyemperuma *et al.* (2007), demostraron que existe un incremento del N y del C microbiano en el suelo con la deposición de excretas en el ecosistema pratense, correlacionando positivamente este incremento con el contenido de N y C total.

Por otra parte rápidos cambios en la humedad y la temperatura del suelo pueden causar la muerte de una gran proporción de la biomasa microbiana y por consiguiente se produce un incremento en la mineralización de N.

El pastoreo produce daños físicos a las plantas por el corte realizado por los animales. Estas producen exudados radicales y a la vez activan la actividad de los microorganismos en el suelo, además de incorporar una gran cantidad de residuos orgánicos vía fecas, orina y residuos de la parte aérea y raíces del pasto, muerte de raíces. La actividad biológica de los microorganismos en el suelo pue-

de ser evaluada por la cantidad de nitrógeno y carbono de la biomasa (NB y CB) presente en el suelo y por evaluación de actividades enzimáticas como la ureasa.

Alvear *et al.* (2007) sugieren que una mayor actividad ureasa (AU) en el suelo está asociada a un mayor contenido de biomasa microbiana, coincidiendo con Nannipieri *et al.* (1979), quienes sugirieron que la AU se incrementa con la biomasa microbiana, ya que esta es un constituyente intracelular. Sin embargo, Antil *et al.* (1992), plantearon que una mayor AU está asociada a un mayor contenido de MO en el suelo más que a un incremento en la biomasa microbiana. Generalmente en los horizontes superiores hay un mayor contenido de MO y se produce una mayor AU, por ejemplo Baligar *et al.* (1991), demostraron que en los horizontes sub superficiales hay menor AU en comparación con los horizontes superficiales.

En las praderas pastoreadas, la productividad puede estar influenciada por el manejo del pastoreo, debido a su impacto sobre los microorganismos del suelo y sobre los procesos biológicos que afectan el ciclo de los nutrientes. Por lo tanto, una mayor intensidad y frecuencia de pastoreo, generará un mayor flujo de residuos y esto asociado a la estación de pastoreo, afectará la actividad biológica del suelo. El objetivo de la investigación fue evaluar los contenidos de biomasa microbiana del suelo antes y después del pastoreo, a través del nitrógeno y del carbono biomásico, junto con la actividad de la ureasa, en una pradera permanente del sur de Chile bajo diferentes sistemas de pastoreo durante un año de monitoreo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Datos experimentales y localización

El experimento se realizó en un suelo Freire (Andisol) de la Estación Experimental Maquehue, Universidad de La Frontera, Región de La Araucanía, 38°50' LS, 72°42', 70 m s.n.m. durante la temporada primavera 2005 a invierno 2006 (Núñez *et al.*, 2010a, Núñez *et al.*, 2010b). El suelo estudiado a una profundidad de 0-10 cm, presentó niveles bajos de fósforo disponible con un promedio de 15 mg kg⁻¹ y pH promedio de 5,5 (Núñez, 2008). Los valores de N total medidos estuvieron en el rango de 5,2-5,3 g kg⁻¹ y los de C total entre 64-77 g kg⁻¹ (Núñez, 2008). Otras características del suelo son reportadas de acuerdo a Núñez *et al.* (2010a) en base al CIREN (2003).

El diseño fue de bloques completos al azar, con tres repeticiones y 3 tratamientos. El período de evaluación abarcó

cuatro estaciones climáticas entre 2005 y 2006 (primavera, verano, otoño e invierno) en parcelas de 165 m². Los tratamientos aplicados fueron dos sistemas de pastoreo: pastoreo intenso (PI) y pastoreo suave (PS) y un tratamiento control (C) sin pastoreo.

La disponibilidad de forraje en PI a la entrada de los animales fue de 2200, 2000, 1500 y 1500 kg de materia seca (MS) ha⁻¹ para primavera, verano, otoño e invierno, respectivamente. Mientras que, los residuos de forraje terminado el pastoreo en PI fueron de 1200, 1200, 1000 y 1000 kg MS ha⁻¹ primavera, verano, otoño e invierno, respectivamente (Núñez *et al.*, 2010a).

La disponibilidad de forraje en PS a la entrada de los animales fue de 2600, 2400, 1800 y 1800 kg MS ha⁻¹ para primavera, verano, otoño e invierno, respectivamente. Mientras que, los residuos de forraje terminado el pastoreo en PS fueron de 1600, 1600, 1300 y 1300 kg MS ha⁻¹ para primavera, verano, otoño e invierno, respectivamente (Núñez *et al.*, 2010a).

La intensidad y frecuencia del pastoreo se realizó en base a las disponibilidades de pasto antes de la entrada de los animales y residuos dejados (altura de corte) al concluir el mismo. En PI se realizaron 10 pastoreos en el año y en PS unos 11, variando el número de eventos con la estación (Núñez *et al.*, 2010a; Núñez *et al.*, 2010b). El control de animales en el pastoreo se realizó con el plato medidor de forraje «Rising Plate Meter, Nueva Zelanda» de acuerdo a lo reportado por Núñez *et al.* (2010a).

En el tratamiento control (C) sin pastoreo, el corte del pasto se realizó con máquina podadora de césped y los residuos fueron removidos fuera del área experimental. No se reguló el corte a la entrada en el C (simulando el pastoreo) con la máquina, pero sí se estableció un residuo de 1400, 1400, 1150 y 1150 kg MS ha⁻¹ (Núñez *et al.*, 2010a).

Se estableció una pradera permanente el 8 de mayo de 2004 con ballica (*Lolium perenne* L.) cv. Quartet, festuca (*Festuca arundinacea* Schreb.) cv. Mylena y pasto ovilla (*Dactylis glomerata* L.) cv. Starly, asociados a trébol blanco (*Trifolium repens* L.) cv. Tribute y Nusiral.

La pradera fue fertilizada con N, P, K y «Sulpomag» (sulfato de potasio y magnesio) con las dosis y frecuencias de aplicación reportadas en Núñez *et al.* (2010a). Durante el período experimental (primavera 2005 a invierno 2006), la pradera fue fertilizada con 230 kg N ha⁻¹ como urea, distribuido equitativamente: dos veces en primavera (15 octubre y 15 de noviembre 2005), dos veces en otoño (4 de abril y 8 de mayo del 2006) y una vez en invierno (17 de agosto del 2006). Además, en cada fertilización se aplicó «Sulpomag» (22% K₂O, 18% MgO, 21,5% S, 2,5% Cl y 0,5% humedad) en dosis de 100 kg ha⁻¹, en otoño e invierno súper fosfato triple en dosis de 200 kg ha⁻¹ cada una y sólo en invierno 1000 kg ha⁻¹ de «Magnecal 15» (cal, 15% MgO) y 500 kg ha⁻¹ de «Ferti yeso» de acuerdo

a Núñez *et al.* (2010b). En los años 2005-2006 el control de especies no deseadas se realizó con los animales en pastoreo y en el control con la máquina cortadora de césped.

Se realizó el pastoreo con vacas secas Holsteins Friesian con peso promedio de 400 kg durante las cuatro estaciones, las cuales fueron seleccionadas del rebaño lechero de la Estación Experimental Maquehue. La carga animal promedio del año fue de 2,1 unidades de animales por hectárea.

Los animales fueron introducidos en grupos de seis a cada tratamiento de acuerdo a la disponibilidad de MS en PI y PS; y al llegar al residuo deseado eran sacados del área. Para el control de los animales se usó un cerco eléctrico marca «Gallager Power Fence» y durante los pastoreos las vacas tuvieron acceso permanente al agua de bebida.

Variables evaluadas

Las variables meteorológicas del experimento fueron obtenidos en la Dirección Meteorológica Maquehue, Chile (2005-2006). La temperatura del suelo fue medida con termómetro a 5 cm de profundidad (Tabla 1) durante las cuatro estaciones. Además, se determinó pH y humedad con medidor de pH. La temperatura del suelo fue medida al momento de tomar las muestras durante todo el año. En este trabajo se reportan los datos mensuales, incluyendo un promedio anual y rango (valores máximos y mínimos). Otras mediciones fueron precipitaciones, horas sol, humedad relativa, evaporación, velocidad del viento, presión a nivel del mar y del suelo. Los valores de temperatura promedio mensuales fueron entre 8,7 y 16,5 °C, variando en forma similar en los valores máximos, mínimos y de suelo, las demás variables son reportadas en la Tabla 1.

Los muestreos fueron realizados 3-4 días antes del pastoreo (pre) y 3-4 días después del pastoreo (post). En el control se tomaron 72 muestras, 78 en PI y 66 en PS durante las cuatro estaciones de pastoreo. Al mismo tiempo se midió pH, temperatura y humedad del suelo. Se tomó un volumen de 0,5 kg de suelo en recipientes de plástico. Las muestras extraídas se trasladaron al laboratorio refrigeradas y se conservaron a 4 °C en heladera durante las determinaciones de ureasa; y carbono y nitrógeno de la biomasa microbiana.

La actividad de la enzima ureasa se determinó utilizando urea como sustrato, incubada a 37 °C por dos horas (Gil-Sotres *et al.*, 1992). El N-NH₄⁺ liberado fue medido usando un electrodo ion selectivo.

El NB y CB se determinó por el método de fumigación-extracción (Vance *et al.*, 1987). El N de las muestras fue determinado por el N reactivo a ninhidrina, por la técnica de colorimetría de Joergensen y Brookes (1990) a una absorbancia de 570 nm. Las lecturas se compararon con la línea patrón preparada en idénticas condiciones (Joergensen, 1995). El CB se determinó usando los mismos extractos y se leyó por

Tabla 1. Rangos promedios mensuales de los factores climatológicos durante el período septiembre 2005-septiembre 2006.
Table 1. Monthly averages of climatic factors during the september 2005 - september 2006 period.

Período (meses)	Temperatura promedio (°C)			Presión a nivel		Humedad aire (%)	Pluviometría (mm)	Evaporación real (mm)	Sol Horas	Velocidad viento (m s ⁻¹)
	Aire Max	Min	Suelo 5 cm	Mar (hPa)	Estación (hPa)					
Sept*	8,7	3,7	10,1	1022,1	1010,3	80,1	87,5	46,4	179,4	2,22
Octubre*	10,2	4,8	12,5	1021,2	1021,2	76,3	62,2	63,1	184,6	2,36
Noviembre*	13,2	7,7	15,6	1017,2	1005,9	79,8	149,8	74,7	176,9	2,56
Diciembre*	14,1	7,7	16,7	1016,6	ND	78,3	71,0	113,8	251,3	2,39
Enero**	15,6	1,9	17,8	1015,0	1004,6	76,0	85,8	124,2	281,4	2,42
Febrero**	16,5	2,3	19,0	1014,7	1003,7	75,0	44,2	132,0	240,3	2,17
Marzo**	12,4	6,2	16,1	1017,4	1006,1	82,0	62,2	124,9	252,8	1,92
Abril **	10,7	5,6	12,1	1017,7	1006,5	84,0	153,6	44,9	153,5	1,92
Mayo**	8,5	4,5	9,9	985,7	1007,1	85,8	107,4	27,9	101,0	1,81
Junio **	9,8	7,3	9,6	1016,0	1004,3	88,0	311,1	28,2	52,0	2,44
Julio**	8,5	5,6	10,0	1016,2	1005,0	87,0	215,4	238,8	79,8	2,53
Agosto**	7,9	3,8	ND	1017,6	1006,1	84,0	128,0	53,6	133,9	2,39
Sept**	8,6	9,4	ND	1020,4	1009,0	84,0	128,8	54,9	ND	2,17
Promedio	11,1	5,4	13,6	1015,2	1007,5	81,6	123,6	86,7	173,91	2,25
Rango	8,5-16,5	1,9-9,4	9,6-19,6	985,0-1022,1	1003,7-1021,2	73,0-88,0	44,2-311,1	27,9-238,8	52,0-281,4	1,81-2,56
Total							1607,0	1127,4		

*2005, **2006.

hPa= hectopascals. ND= No disponible. Primavera 2005-2006 (21 septiembre a 21 diciembre 2005), verano (21 de diciembre a 21 de marzo), otoño (21 de marzo a 21 de junio 2006) e invierno (21 junio a 21 de septiembre 2006). Med= media; Max= máxima; Min= mínima; Sept= septiembre.

espectrofotometría a 600 nm por el método de colorimetría mediante la oxidación de las muestras con dicromato de acuerdo a Sadzawka *et al.* (2000). Los resultados de NB y CB corresponden a la diferencia entre el suelo fumigado y no fumigado.

Los datos obtenidos fueron analizados estadísticamente a través de un software estadístico JPM (SAS Institute, USA, 2002) a un nivel de confianza del 95%. Se realizó un análisis de varianza y los resultados que presentaron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) fueron analizados mediante la Prueba de Comparación Múltiple de Tukey, a un nivel de 5%. Además, se realizó análisis de correlación (r de Pearson) entre variables de interés, utilizando el «software» estadístico SPS versión 13.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contenidos de carbono biomásico (CB)

La mayor cantidad de CB promedio anual ocurrió en PI (Tabla 2) con 297 mg C kg^{-1} en post pastoreo ($p \leq 0,05$). Estos valores se relacionan directamente con el tiempo de pastoreo y cantidad de residuos antes del mismo, variando con la estación en un rango de 1500 a $2200 \text{ kg MS ha}^{-1}$, en un tiempo de pastoreo acumulado de $26,7$ horas en 10 eventos. Concluido el pastoreo se dejó unos 1000 a $1200 \text{ kg MS ha}^{-1}$; estos residuos y disponibilidades son diferentes a PS, donde los animales entran con disponibilidades más altas (rango promedio 1800 a $2600 \text{ kg MS ha}^{-1}$) y salen con residuos más altos (rango promedio 1300 a $1600 \text{ kg MS ha}^{-1}$) y un tiempo acumulado de pastoreo menor ($24,6$ horas) en 11 eventos. Los resultados mostraron una correlación significativa ($p \leq 0,01$; Tabla 3), entre los valores de CB en pre y post pastoreo, así como entre los valores

de CB y NB en post pastoreo con una correlación de $0,57$. Esto está relacionado con el flujo de MO, cantidad de fecas y de orina que entra por deposición al suelo y la estimulación de los organismos. Por lo tanto, los contenidos de CB y NB aumentan en post pastoreo afectando su correlación. Estos resultados coinciden con los obtenidos por García y Nahas (2007), estos reportan una alta correlación entre la MO, el C orgánico y N total con la cantidad de biomasa microbiana. En pasturas pastoreadas con ovejas, estos concluyen que hay mayores contenidos de BM a $0-10 \text{ cm}$ de profundidad en comparación a 10 a 20 cm .

El CB es una fracción muy pequeña en el suelo, sin embargo esta fracción es importante, ya que se refiere a la fracción de C inmovilizada en los microorganismos, esta fracción es fácilmente mineralizable después de la muerte de éstos (Jones, 1998). En este trabajo, el CB representó entre el $0,3-0,4\%$ del C orgánico.

El CB mostró variabilidad durante el año (Fig. 1a). Durante el estudio, la estación de pastoreo en primavera 2005-2006 (21 de septiembre a 21 de diciembre 2005), verano (21 de diciembre a 21 de marzo), otoño (21 de marzo a 21 de junio 2006) e invierno (21 junio a 21 de septiembre 2006) y los factores climáticos (Tabla 1) produjeron altas y bajas en las concentraciones de CB en el suelo. Los valores más bajos, ocurrieron durante el invierno con 28 mg C kg^{-1} y los más altos en las estaciones de otoño y primavera en un rango de $681-697 \text{ mg C kg}^{-1}$ (Fig. 1a). La mayor actividad microbiana en el suelo es asociada a la mayor humedad del suelo, condición que favorece el desarrollo y proliferación de la biomasa microbiana (Jones, 1998) y aumenta la tasa de descomposición, liberación, movilización y reciclaje de nutrientes, esto explica los valores de CB

Tabla 2. Carbono biomásico (CB) en el suelo. Promedio anual en pre y post pastoreo en cada tratamiento. Valores de error estándar (entre paréntesis).

Table 2. Soil biomass carbon (CB). Annual average at the beginning and at the end of grazing for each treatment. Standard error values (between parentheses).

Tratamiento	CB $\text{mg C kg}^{-1} \text{ s}$		Valores de CB $\text{mg C kg}^{-1} \text{ s}$
	Pre pastoreo	Post pastoreo	(Mínimos-Máximos)
C	198aB (28,6)	202aB (10,7)	68-440
PI	232bA (22,0)	297aA (52,5)	40-697
PS	266aA (50,7)	291aA (50,9)	28-546

C = Control sin pastoreo; PI = pastoreo intenso y PS = pastoreo suave. Tamaño muestra: $n = 72$ en C, 78 en PI y 66 en PS. Diferentes letras minúsculas entre una misma fila indican diferencias significativas $\alpha=0,05$. Diferentes letras mayúsculas entre filas de una misma columna indican diferencias significativas $\alpha=0,05$.

Tabla 3. Comparación de correlaciones (r de Pearson) sobre los parámetros biológicos del suelo.

Table 3. Pearson correlation coefficients among soil biological parameters.

	MO	C _{org}	CBpre	CBpos	NT	ENS	NBpre	NBpos	AUpres	AUpres
MO	1	0,93**	-0,21	-0,62*	0,09	-0,61*	-0,58*	-0,69**	0,01	-0,29
C _{org}		1	-0,42	-0,69**	0,14	-0,69**	-0,62*	-0,69**	0,23	-0,10
CBpre			1	0,67**	-0,23	0,03	-0,22	0,09	-0,34	-0,19
CBpos				1	-0,14	0,47	0,37	0,57*	-0,15	-0,02
NT					1	-0,08	-0,07	-0,42	0,04	0,04
NDpre						0,72**	0,46	0,53*	-0,24	0,23
NDpos						0,82**	0,54*	0,59*	-0,18	0,25
ENS						1	0,69**	0,63*	-0,03	0,22
NBpre							1	0,72**	-0,06	0,07
NBpos								1	0,14	0,29
AUpres									1	0,59*
AUpres										1

MO = materia orgánica; C_{org} = carbono orgánico; CBpre = carbono biomásico prepastoreo; CBpos = carbono biomásico postpastoreo; NT = N total; ENS = entradas N al sistema; NBpre = N biomásico prepastoreo; NBpos = N biomásico postpastoreo; AUpres = actividad ureasa prepastoreo; AUpres = actividad ureasa postpastoreo.* Indica un nivel de significancia al 0,05; ** Indica un nivel de significancia al 0,01.

obtenidos en primavera, este reciclaje es favorecido por las condiciones climáticas y de suelo (Tabla 1). El PI, favorece el flujo de carbono en el suelo, esto fue reportado por Yong-Zhong *et al.* (2005) en pastoreo rotacional, concluyendo que el pastoreo afecta la cobertura vegetal de la pradera, la acumulación de residuos, las concentraciones de C y N, y la actividad microbiana del suelo.

Los contenidos de CB determinados en este estudio, se encuentran en el mismo rango (167-300 mg C kg⁻¹) que los reportados por López (2006) y similares a los informados por Zagal y Córdova (2005) en suelos de la Serie Diguillín (273 y 551 mg C kg⁻¹). Sin embargo, los usos y manejos de estos suelos son diferentes; en algunos casos Alvear *et al.* (2007) reportan valores de CB 668-876 mg C kg⁻¹ s en un Andisol de origen forestal, estos valores son muy superiores a los encontrados en este estudio, ya que las raíces de los árboles secretan compuestos orgánicos, lo que generaría mayor cantidad de sustratos carbonados (Leyval & Berthelin, 1993).

Wang *et al.* (2005) en el 2002, estudiaron la biomasa microbiana en diferentes praderas de la Florida, demostrando que los valores de CB en una pradera semi nativa se incrementan de 209 µg g⁻¹ (pradera no pastoreada) a 292 µg g⁻¹ (pradera pastoreada), es decir un incremento del 139%, lo que es un cambio significativo, y este incremento se relaciona con las mediciones al inicio de los pastoreos y cortes en el control (pre) y los valores medidos en período

posterior a la medición (post pastoreo). En praderas mejoradas, los investigadores mostraron un incremento del 220% en la Florida (Wang *et al.*, 2005), durante dos años de evaluación (2002-2003). Estos resultados demuestran que un mayor flujo de residuos orgánicos en el suelo (fecas, orina y residuos de plantas e incorporación de raíces muertas por efecto del pastoreo), asociado a condiciones favorables para los microorganismos, estimula la biomasa microbiana y por tanto incrementa el contenido de CB. Ekelund *et al.* (2001) y Fierer *et al.* (2003), reportan que los contenidos de CB en el suelo, son mayores en los primeros cm del suelo (0-10 cm), ya que este horizonte recibe el mayor flujo de MO y por tanto se produce una mayor actividad biológica.

Por otro lado, los valores más altos de CB se registraron en primavera en los tratamientos pastoreados. En esta estación se registran las mayores tasas diarias de crecimiento de la pradera (50 y 40 kg MS ha⁻¹ en PI y PS, respectivamente) y por lo tanto, una mayor producción de biomasa (4540 y 3634 kg MS ha⁻¹ en PI y PS, respectivamente), mayor número de pastoreos (3 en PI y 4 en PS) y mayor tiempo de pastoreo acumulado (14,7 horas en PI y 15,8 horas en PS), incrementó la cantidad de deyecciones de los animales en el pastoreo PI en comparación a PS con un aporte de N de 50,2 y 45,1 kg/ha/año en PI y PS, respectivamente (Núñez *et al.*, 2010a), incrementando con esto el aporte de MO al suelo. En primavera las condiciones

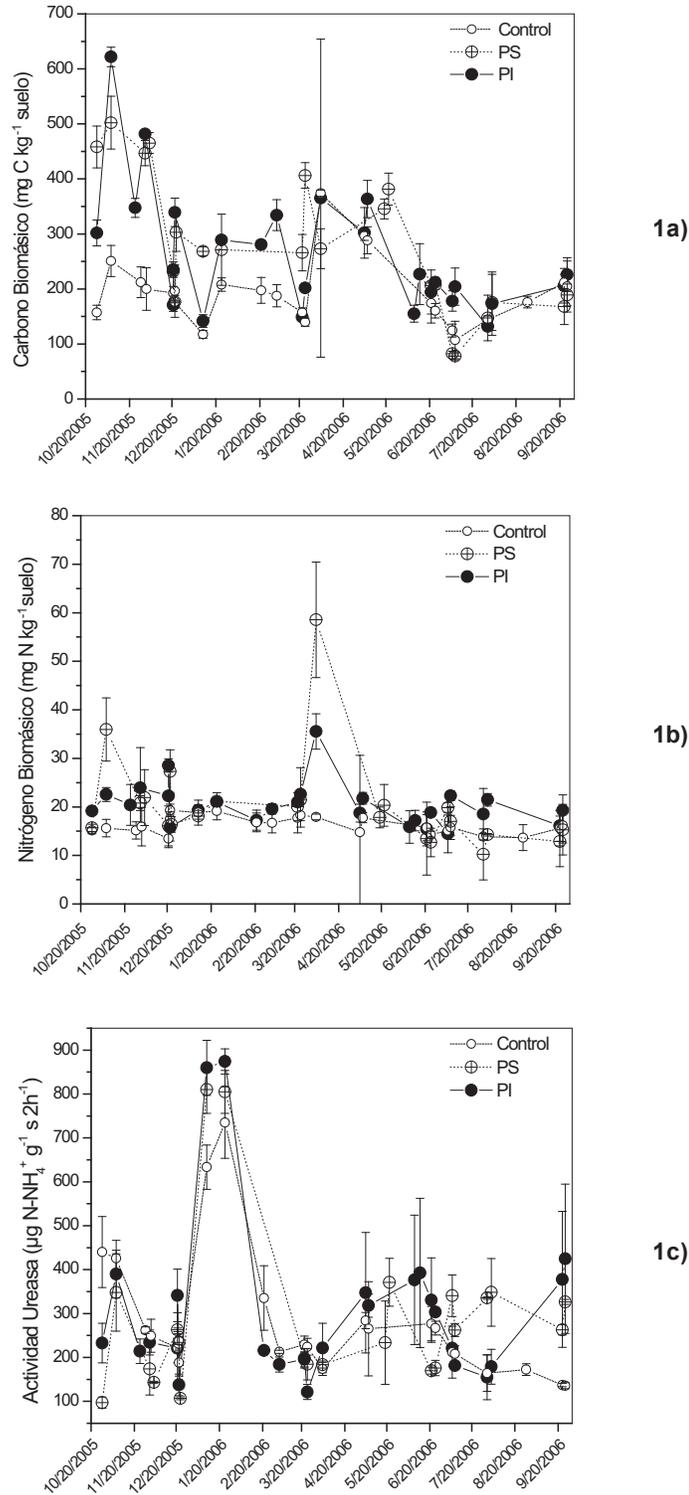


Figura 1. Fluctuaciones de la biomasa microbiana y actividad ureasa en el suelo durante las cuatro estaciones de pastoreo de la temporada (2005-2006): 1a). Carbono biomásico (CB), 1b). Nitrógeno biomásico (NB) y 1c). Actividad enzima ureasa (AU). C = Control sin pastoreo; PI = pastoreo intenso; PS = pastoreo suave.

Figure 1. Microbial biomass and urease activity fluctuations in soil during the four grazing seasons (2005-2006): 1a). Biomass carbon (BC), 1b). Biomass nitrogen (BN) and 1c). Urease activity (UA). C = Control without grazing HG = heavy grazing; LG = light grazing.

climáticas como temperatura y humedad del suelo (Tabla 1) favorecieron la descomposición de los residuos. Caso contrario sucede en el invierno en donde ocurren las menores concentraciones de CB. Las concentraciones de CB fueron variables entre las estaciones de verano y otoño, siendo superiores en ambas estaciones en los tratamientos pastoreados. En general, la cantidad de CB durante el año fue superior en los tratamientos pastoreados en relación al control, excepto en el trimestre mayo-julio 2006, en donde los turnos de pastoreo son más largos (Núñez *et al.*, 2010a). En relación a la cantidad de residuo presente en el suelo y el contenido de CB, Alvear *et al.* (2005), plantean que el CB es afectado por la cantidad de residuo, de la estación del año y la profundidad de muestreo. En ese sentido, Muñoz (2006) reportó que la mayor cantidad de CB encontrado en ecosistemas forestales ocurre en la superficie del suelo (5-10 cm), sin embargo en nuestro experimento no se tomó una profundidad específica, sino un rango de 0-10 cm. Por tanto, el tipo de cobertura influye en el contenido de CB en el suelo. Además, Nishiyama *et al.* (2001) en suelos volcánicos y no volcánicos de Japón, concluyeron que el contenido de CB depende de la cantidad de agua y carbohidratos presentes en los residuos, los contenidos de humedad en los residuos (datos no mostrados) fueron mayores en primavera e invierno, lo que coincide con lo sugerido con estos investigadores. Los contenidos de CB en primavera en post pastoreo aumentaron en ambos pastoreo (de 273,3 a 446,3 en PI y de 282,2 a 391,88 en PS mg C/kg s) en comparación con el control que paso de 187 a 216 mg C/kg s). Otros factores que podrían afectar el contenido de CB son el manejo anterior del predio, el sistema de labranza al momento del establecimiento y edad de la pradera (Haynes, 2000).

El pastoreo incrementa la biomasa microbiana en el suelo (Wang *et al.*, 2005. Incorpora MO al suelo pastoreado y entradas de MO lábil a través de la orina y fecas; y usualmente estimula el crecimiento de nueva biomasa radical, resultando en alta relación raíz/parte aérea como de hojas, tallos y gran exudación de C lábil desde las raíces (Milchunas & Lauenroth, 1993; Bardgett *et al.*, 1998; Bardgett & Wardle, 2003; Sakaran & Augustine 2004), condición que favorece el crecimiento de los microorganismos. Otros trabajos sugieren que el pastoreo con especies tolerantes al corte, producen la exudación de C por las raíces, que es rápidamente asimilado por la población microbiana en la rizósfera (Hamilton & Frank, 2001) y con esto se producen mayores contenidos de CB en el suelo en post pastoreo en primavera.

Nitrógeno biomásico (NB)

El NB fue superior en post pastoreo en todos los tratamientos en comparación al pre pastoreo (valores promedios medidos 3 a 4 días antes de cada evento), con valores anuales promedios, superiores en PI de 21,6 $\mu\text{g N g}^{-1}\text{s}$ y PS con 20,4 $\mu\text{g N g}^{-1}\text{s}$, respectivamente (Tabla 4). El promedio anual de NB en post pastoreo fue mayor en el tratamiento PI, sin presentar diferencias significativas con PS ($p \leq 0,05$), pero sí en relación al control (Tabla 4). En ambos pastoreos se está produciendo un mayor flujo de N al suelo vía el reciclaje animal (fecas, orina) y de plantas, por lo tanto se produce una mayor mineralización e inmovilización de N por los microorganismos, sin embargo no se observaron diferencias significativas en los valores promedios entre los sistemas de pastoreo.

Los valores de NB en post pastoreo mostraron una significativa correlación con los valores de N disponible en

Tabla 4. Nitrógeno biomásico y relación CB/NB en el suelo. Promedio anual en pre y post pastoreo en cada tratamiento. Valores de error estándar (entre paréntesis).

Table 4. Soil biomass nitrogen and BC/BN ratio. Annual Average at the beginning and at the end of grazing for each treatment. Standard error values (between parentheses).

Tratamiento	Nitrógeno biomásico (NB)		Valores de NB (Mínima-Máxima)	Relación CB/NB	
	$\mu\text{g N g}^{-1}\text{s}$			Pre pastoreo	Post pastoreo
	Pre pastoreo	Post pastoreo			
C	15,7aC (0,80)	16,4aB (0,61)	8-33	12,6aB (2,10)	12,0aB (0,93)
PI	18,0bA (0,90)	21,6aA (1,22)	3-39	12,9aB (1,02)	14,0aA (1,72)
PS	16,4bB (0,81)	20,4aA (2,92)	8-70	16,2aA (2,61)	14,0aA (1,82)

C = Control sin pastoreo; PI = pastoreo intenso y PS = pastoreo suave. Tamaño muestra: n = 72 en C, 78 en PI y 66 en PS; CB = carbono biomásico. Diferentes letras minúsculas entre una misma fila indican diferencias significativas $\alpha=0,05$. Diferentes letras mayúsculas entre filas de una misma columna indican diferencias significativas $\alpha=0,05$.

el suelo en pre y post pastoreo, así como con las entradas de N al sistema (precipitación de N, fertilización con urea, fijación biológica de N, reciclaje animal, y reciclaje de plantas) y el NB en pre pastoreo (Tabla 3). Los valores de NB en post pastoreo indicarían que estas concentraciones dependen directamente de las entradas de N al sistema (427, 371 y 288 kg N ha⁻¹ año⁻¹ para PI, PS y C, respectivamente), más las condiciones de humedad y temperatura del suelo. En el caso de la MO esta tuvo una correlación negativa con los valores NB.

El flujo de NB por estación en orden decreciente fue: primavera > verano > otoño > invierno, resultando superior en los tratamientos pastoreados en primavera, verano y otoño en relación al control (datos por estaciones no mostrados; Núñez, 2008), sin embargo en invierno el control tuvo un mayor contenido de NB que el tratamiento PS (Fig. 1b), lo que podría ser atribuido a la fertilización nitrogenada de invierno y a la acumulación de residuos de plantas, después del corte con máquina (este tipo de corte es homogéneo y quedaban muchos residuos sobre el suelo en la recolección). Los valores máximos de NB se produjeron en las estaciones de otoño y primavera en un rango de (39-70 µg N g⁻¹ s) y los menores valores ocurrieron en un rango de 3-8 µg N g⁻¹ s (Tabla 4).

La fluctuación de NB durante el año mostró un patrón similar al comportamiento del CB, sin embargo se observó una concentración de NB en verano superior a la encontrada en la estación de otoño, caso contrario al CB en estas estaciones (Fig. 1b). Esto podría ser atribuido al efecto del fertilizante nitrogenado aplicado sobre la actividad de los microorganismos, que en presencia de diferentes fuentes de N en el suelo, prefieren la que involucre menor gasto de energía. Sin embargo, la relación CB/NB ocurrió entre 12:1 y 14:1 variando con los tratamientos (PI y PS) y reduciéndose a 12,0-12,6 para el C. Mientras que la relación C/N en promedio fue entre 12,0:1 y 14,5:1 siendo inferior en los tratamientos pastoreados y con mayor mineralización en relación al control.

En PS, existe un efecto del residuo incorporado al suelo por efecto de una mayor altura de residuo a la salida de los animales, como fue descrito en metodología. Este tratamiento tuvo la mayor cantidad de biomasa sobre el suelo, y por eso se incrementó la cantidad de NB en niveles similares a los tratamientos intensos (20 µg N g⁻¹ s), siendo un 19% superior al tratamiento control en post pastoreo (Tabla 4).

Estos resultados coinciden con los obtenidos por López (2006) que reporta valores entre 13-28 µg N g⁻¹ s. Los valores reportados por Alvear *et al.* (2005) y Muñoz (2006), tienen la misma tendencia, que es a incrementar el NB con la cantidad de residuo. Sin embargo, los valores obtenidos por Alvear *et al.* (2006) son superiores, teniendo un rango de actividad entre 50-260 mg N kg⁻¹ s, ya que los suelos manejados con cero labranza tienen una mayor actividad biológica, igual ocurre con los resultados obtenidos por Zagal & Córdova (2005).

Lo que implica que existe un efecto del manejo del suelo y del sistema de producción sobre la actividad biológica (Haynes, 2000). Sin embargo, Iyemperuma *et al.* (2007) plantean que la biomasa microbiana relativa al C y N en el suelo bajo pastoreo es independiente de la intensidad de los depósitos de excreta animal, indicando además que estos depósitos no alteran las comunidades microbianas del suelo. En este caso no se estudió las comunidades microbianas, pero sí se demostró que se produce un incremento en las concentraciones de NB y CB, lo que estaría indicando una mayor actividad microbiana en el suelo, por efecto de un mayor flujo de MO y fotosintatos emitidos por el sistema radical de la planta en respuesta al estrés físico (corte) provocado por los animales en pastoreo. En ese sentido Wang *et al.* (2005) reportaron un incremento en los niveles de NB en praderas semi nativas de la Florida de hasta un 174-202% y en una pradera mejorada un 215%. Los valores promedios de NB en pre pastoreo fueron menores (37-63 µg N g⁻¹ s) en comparación a los obtenidos en post pastoreo entre 64-135 µg N g⁻¹ s. Las diferencias entre los valores obtenidos pueden ser atribuidas al tipo de suelo, al clima y sobre todo al tipo de pastoreo en comparación con el control.

Actividad ureasa (AU)

La actividad ureasa fue menor en el tratamiento control, con un valor promedio anual de 283 µg N-NH₄⁺ g⁻¹ s 2h⁻¹ en post corte (Tabla 5) y superior en los demás tratamientos pastoreados (329-331 µg N-NH₄⁺ g⁻¹ s). El pastoreo produjo diferencias significativas (p<0,05) en los valores de AU en pre y post pastoreo, siendo, la actividad AU superior después del pastoreo, sin embargo no se encontró diferencias significativas (p<0,05) entre estos tratamientos en post pastoreo, en un rango de 329-331 µg N-NH₄⁺ g⁻¹ s 2h⁻¹, esto indica que el pastoreo incrementó la actividad de la enzima, sin embargo los sistemas de pastoreo no presentaron diferencias significativas.

Tabla 5. Actividad ureasa (AU) en el suelo. Promedio anual en pre y post pastoreo en cada tratamiento. Valores de error estándar (entre paréntesis).

Table 5. Soil urease activity (UA). Annual average at the beginning and at the end of grazing for each treatment. Standard error values (between parentheses).

Tratamiento	Actividad ureasa $\mu\text{g N-NH}_4^+ \text{ g}^{-1} \text{ s } 2\text{h}^{-1}$		Valores de AU (Mínimos-Máximos)
	Pre pastoreo	Post pastoreo	$\mu\text{g N-NH}_4^+ \text{ g}^{-1} \text{ s } 2\text{h}^{-1}$
C	268aB (38,4)	283aB (45,3)	116-922
PI	286bA (29,9)	329aA (27,0)	84-696
PS	241bC (32,4)	331aA (56,6)	85-862

C = Control sin pastoreo; PI = pastoreo intenso; PS = pastoreo suave. Tamaño muestra: $n = 72$ en C, 78 en PI y 66 en PS. Diferentes letras minúsculas entre una misma fila indican diferencias significativas $\alpha=0,05$. Diferentes letras mayúsculas entre filas de una misma columna indican diferencias significativas $\alpha=0,05$.

Cabe destacar que esta pastura es de reciente establecimiento. Singh & Rai (2004), concluyen que en general la mayor actividad enzimática en el suelo se produce con un pastoreo moderado en comparación a un pastoreo más intensivo, sin embargo en nuestro estudio esto no ocurre. Estos concluyen que la intensidad del pastoreo determina la actividad microbiana del suelo. En general la AU incrementa con un aumento de la temperatura y humedad (25% de capacidad de campo) de acuerdo a Kumar & Wagenet (1984).

En ese sentido Yadav *et al.* (1987) concluyen que la temperatura y la humedad del suelo tienen un efecto en la hidrólisis de la urea. Juan *et al.* (2009) reportaron que el régimen de humedad afectó la cinética de la enzima ureasa en el suelo en condiciones de laboratorio. Cartes *et al.* (2009) en estudio de cinética de la ureasa en laboratorio, reportan una directa relación entre la actividad de la enzima, los contenidos de materia orgánica, la temperatura y el suministro de urea. En condiciones naturales esta enzima extracelular es afectada por factores como éstos, en el experimento se observó una mayor actividad en las estaciones de verano y otoño, ambas con mayor temperatura (Tabla 1) en el aire (Máxima de 24,1 y 35,9 °C en otoño y verano, respectivamente) y en el suelo a una profundidad de 0-10 cm (máximas promedio de 13 y 21 °C en otoño y verano, respectivamente), lo que influyó en la actividad de la enzima (Fig. 1c).

En primavera e invierno se produjo una menor AU (Fig. 1c), por efecto de menores temperaturas del suelo, caso contrario a otoño y verano donde las temperaturas del suelo son más altas. Sandans *et al.* (2008), reportan que un incremento en la actividad de la enzima en la estación

debe combinar alta temperatura con alta humedad, y en su experimento, no hubo diferencias significativas en verano, ya que la humedad fue baja. En otoño se registró un efecto de la aplicación de 200 kg urea ha^{-1} , lo que influyó en la actividad enzimática. El pastoreo intenso se caracterizó por un mayor reciclaje de N, como fue discutido y mayor aporte de biomasa (10.383, 7265 y 7107 kg MS $\text{ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en PI, PS y C, respectivamente) y por lo tanto mayor aporte de residuos orgánicos, lo que influyó en la mayor AU en el suelo. La actividad ureasa fue 14% superior en los tratamientos pastoreados en relación al control.

Los valores de AU reportados en este estudio, están en el rango reportado en Andisoles. Cárcamo *et al.* (2004) reportó valores de ureasa entre 337-553 $\mu\text{g N-NH}_4^+ \text{ g}^{-1} \text{ s } 2\text{h}^{-1}$ en un Andisol con una plantación de bosque. El incremento de AU es atribuido a un efecto de la fertilización con N. Hwa Han *et al.* (2004) y Mahata & Antil (2004) indicaron que el contenido de MO en el suelo tiene efecto positivo sobre la AU (Roscoe *et al.*, 2000).

Al incrementar el contenido de C en el suelo, asociado a condiciones de humedad favorable para los microorganismos se produce, una rápida hidrólisis de la urea. En las estaciones de verano y otoño hay un efecto de la temperatura sobre la emisión de NH_3 , esto es atribuido a una mayor actividad de la enzima en esas estaciones. Por lo tanto, la actividad de la enzima está relacionada con la cantidad de N disponible en el suelo, con la dosis de N aplicado, condiciones del suelo como la humedad, temperatura y otros factores climatológicos.

Las fluctuaciones de la AU en el suelo durante el año, muestran que los valores máximos en los tratamientos pastoreados PI y PS ocurren en verano y en el tratamiento

PS en otoño (final de marzo), en el tratamiento C ocurren en verano (enero), aunque en menor magnitud. En términos de temperatura del aire y del suelo, este periodo no presentó diferencias (Tabla 1), además los máximos valores coinciden en todos los casos con la realización del pastoreo.

En ese sentido Alvear *et al.* (2007) sugieren que una mayor AU en el suelo está asociada a un mayor contenido de biomasa microbiana, coincidiendo con Nannipieri *et al.* (1979), quienes sugirieron que la AU incrementa con la biomasa microbiana, ya que la ureasa es un constituyente intracelular. Sin embargo, Antil *et al.* (1992), plantearon que una mayor actividad ureasa está asociada a un mayor contenido de MO en el suelo más que a un incremento en la biomasa microbiana. Generalmente en los horizontes superiores hay un mayor contenido de MO y se produce una mayor actividad ureasa, por ejemplo Baligar *et al.* (1991), demostraron que en los horizontes sub superficiales hay menor AU en comparación con los horizontes superficiales. Los resultados muestran un efecto de factores de MO, pH, temperatura sobre la actividad de la enzima y en nuestro caso, se muestra un incremento por efecto del sistema de pastoreo, o sea después de la salida de los animales. De acuerdo con esto, los datos obtenidos muestran que el sistema de pastoreo influye en las actividades biológicas del suelo, específicamente la AU, lo que implícitamente sería un indicador del contenido de MO del suelo. El sistema de pastoreo influye en las actividades microbianas y, por lo tanto, la selección del mismo afecta la biología del suelo.

CONCLUSIONES

El pastoreo incrementó los contenidos promedios de CB en un 21,8 y 8,6% para PI y PS, mientras que en el control fue sólo de 1,9%. Los contenidos de NB también fueron incrementados por el pastoreo en un 16 y 19% para PI y PS, respectivamente en comparación con el control (4%). Estos porcentajes incluyen el promedio anual de CB y NB en el suelo en pre y post pastoreo (3-4 días antes y después de cada evento).

La mayor actividad ureasa en PI y PS fue de 329-331 $\mu\text{g N-NH}_4^+ \text{g}^{-1} \text{2h}^{-1}$, respectivamente en post pastoreo, pero sin diferencias significativas entre los dos sistemas ($P \leq 0,05$), pero sí superior al control (283 $\mu\text{g N-NH}_4^+ \text{g}^{-1} \text{2h}^{-1}$, $P \leq 0,05$), estas diferencias son atribuidas a un mayor

reciclaje de N vía fecas y orina de los animales bovinos en pastoreo. La actividad ureasa fue incrementada por el pastoreo en un 13 y 27% para PI y PS, respectivamente en comparación con el control (5%), esto relacionado a los valores promedios de AU en el suelo en pre y post pastoreo. La forma de pastorear (PI y PS) afectará los contenidos de CB, NB y AU en el suelo, por lo tanto se afecta la disponibilidad de N y C en el suelo. Este aumento biológico mejorará la fertilidad biológica, la disponibilidad de nutrientes y la producción de forraje en las praderas.

RECONOCIMIENTOS

A los Proyectos DIUFRO 160603, FONDECYT 1020934, 1040104 y 1061262 y FIA (FIA-PI-C-2003-1) de la Universidad de La Frontera por financiar la investigación. Al Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF), por facilitar la estadía del Dr. Pedro Núñez en el Programa de Doctorado en Ciencias de Recursos Naturales en la Universidad de La Frontera.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvear, M; A Rosas; JL Rouanet & F Borie. 2005. Effects of three soil tillage systems on some biological activities in an Ultisol from southern Chile. *Soil Til. Res.* 82: 195-202.
- Alvear, M; M Pino; C Castillo; C Trasar-Cepeda & F Gil- Sotres. 2006. Efecto de la cero labranza sobre algunas actividades biológicas en un Alfisol del sur de Chile. *Rev. Cien. Suelo Nutr.Veg.* 6: 38-53.
- Alvear, M; F Reyes; A Morales; C Arriagada & M Reyes. 2007. Actividad biológica y agregados estables al agua en dos tipos de formaciones vegetales de un bosque templado del Centro Sur de Chile con perturbación antrópica. *Ecol. Aust.* 17: 113-122.
- Antil, RS; RP Narwal & AP Gupta. 1992. Urease activity and urea hydrolysis in soils treated with sewage. *Ecol. Engin.* 1: 229-237.
- Aon, MA & AC Colaneri. 2001. II. Temporal and spatial evolution of enzymatic activities and physico-chemical properties in an agricultural soil. *Appl. Soil Ecol.* 18: 255-270.
- Baligar, VC; TE Staley & RJ Wright. 1991. Enzyme activities in Appalachian soils: Urease. *Comm. Soil Sci. Plant anal.* 22: 315-322.
- Bardgett, RD; DA Wardle & GW Yeates. 1998. Linking above-ground and below-ground interactions: how plant responses to foliar herbivore influence soil organisms. *Soil Biol. Bioch.* 30: 1867-1678.
- Bardgett, RD & DA Wardle. 2003. Herbivore mediated linkages between aboveground and belowground communities. *Ecology* 84: 2258-2268.
- Baum, C; P Leinweber & A Schlichting. 2003. Effects of chemical conditions in re-wetted peats temporal variation in microbial biomass and acid phosphatase activity within the growing season. *Appl. Soil Ecol.* 22: 167-174.
- Campbell, C; S Grayston & D Hirst. 1997. Use of rhizosphere carbon sources in soil carbon source test to discriminate soil microbial communities. *J. Microbiol. Meth.* 30: 33-41.

- Cárcamo, A; LS Puentes; R Godoy; C Oyarzun & E Valenzuela. 2004. Actividad biológica del suelo en un bosque de *Nothofagus obliqua* (Mirb) Oerst., centro - sur de Chile. *Rev. Cien. Suelo Nutr. Veg.* (l) 4: 14-25.
- Cartes, P; AA Jara; R Demanet & ML Mora. 2009. Urease activity and nitrogen mineralization kinetics as affected by temperature and urea input rate in southern Chilean Andisol. *R.C. Suelo Nutr. Veg.* 9: 69-82.
- CIREN. 2003. Descripciones de suelos, materiales y símbolos, estudio agrológico X Región. Vol. II. Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN), Santiago, Chile.
- Ekelund, F; R Ronn & S Christensen. 2001. Distribution with depth protozoa, bacteria and fungi in soil profiles from three Danish forest sites. *Soil Biol. Bioch.* 33: 475-481.
- Fierer, N; JP Schimel & PA Holden. 2003. Variations in microbial community composition through two soil depth profiles. *Soil Biol. Bioch.* 35: 167-176.
- García, MRL & E Nahas. 2007. Biomass and microbial activity in pasture soil under different sheep grazing pressure. *Rev. Brasileira Cien. Do Solo.* 31: 269-276.
- Gil-Sotres, F; MC Trasar-Cepeda; C Ciardi & B Ceccanti. 1992. Biochemical characterization of biological activity in very young mine soils. *Biol. Fert. Soils* 13: 25-30.
- Haynes, RJ. 2000. Labile organic matter as an indicator of organic matter quality in arable and pastoral soils in New Zealand. *Soil Biol. Bioch.* 32: 211-219.
- Hamilton, EW & DA Frank. 2001. Can plants stimulate soil microbes and their own nutrient supply? Evidence from a grazing tolerant grass. *Ecology* 82: 2397-2402.
- Hwa Han, K; J Choi; G Hyun-Han; S In Yun; S Yoo & H Myong Ro. 2004. Urea- nitrogen transformation and compost-nitrogen mineralization in three different soils as affected by the interaction between both nitrogen inputs. *Biol. Fert. Soils.* 39: 193-199.
- INE. 1997. Resultados preliminares VI Censo Agropecuario. INE-Instituto Nacional de Estadísticas de Chile, impresos Universitarios SA, Santiago, Chile.
- INE. 2007. Informe estadísticas agropecuarias para el período 2001-2006 y primer semestre 2007. Disponible en: http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/estadisticas_agropecuarias/pdf/pecuarioprimersemestre2007_2.pdf Acceso en diciembre 2007.
- Iyyemperuma, K; DW Israel & W Shi. 2007. Soil microbial biomass, activity and potential nitrogen mineralization in a pasture: Impact of stock camping activity. *Soil Biol. Bioch.* 39: 149-157.
- Jenkinson, DC & JN Ladd. 1981. Microbial biomass: measurement and turnover. pp. 415-471. Volume 5. In: Paul, E & JN Ladd (eds.). *Soil biochemistry*. Marcel Dekker. New York.
- Joergensen, R & P Brookes. 1990. Ninhydrin-reactive measurements of microbial biomass in 0.5 M K₂SO₄ soil extracts. *Soil Biol. Bioch.* 22: 1023-1027.
- Joergensen, R. 1995. The use of the ninhydrin nitrogen reaction for estimating microbial biomass. In: *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. (K Alef, P Nannipieri, eds.), 391 p., Academic Press, Londres, Inglaterra.
- Jones, D. 1998. Organics acids in the rhizosphere a critical review. *Plant Soil.* 205: 25-44.
- Juan, YH; LJ Chen, ZJ Wu & Wang. 2009. Kinetics of soil urease affected by urease inhibitors at contrasting moisture regimes. *R. C. Suelo Nutr. Veg.* 9: 125-133.
- Kumar, V & RJ Wagenet. 1984. Urease activity and kinetics of urea transformations in soils. *Soil Sci.* 137: 263-269.
- Leyval, C & J Berthelin. 1993. Rhizodeposition and net release of soluble organic compounds by pine and beech seedlings inoculated with rhizobacteria and ectomycorrhizal fungi. *Biol. Fert. Soil.* 15: 259-267.
- López, ERS. 2006. Evaluación del efecto de molibdeno sobre algunos parámetros bioquímicos del suelo y la planta en Andisoles del sur de Chile. Universidad de La Frontera, Temuco, Chile. 131 p.
- Mahata, MK & RS Antil. 2004. Effect of organic matter and level of organic carbon on urease activity of selected surface soil contaminated with lead. *Environm. Ecol.* 22: 314-314.
- Milchunas, DG & WK Lauenroth. 1993. A quantitative assessment of the effects of grazing on vegetation and soils over a global range of environments. *Ecolog. Monog.* 63: 327-366.
- Muñoz, VMC. 2006. Dinámica del carbono orgánico del suelo en ecosistemas de la zona Mediterránea de Chile. Tesis Doctoral, Universidad de La Frontera, Temuco, Chile. 123 p.
- Nannipieri, P; F Pechozzini; PG Arcada & C Pionarelli. 1979. Changes in amino acids, enzyme activities and biomass during soil microbial growth. *Soil Sci.* 127: 26-34.
- Nishiyama, M; Y Sumikawa; G Guan & T Maremoto. 2001. Relationship between microbial biomass and extractable organic carbon content in volcanic and non-volcanic ash soil. *Appl. Soil Ecol.* 17: 183-187.
- Núñez, RPA. 2008. Efecto de la frecuencia e intensidad de pastoreo en las pérdidas de nitrógeno en una pradera permanente del Sur de Chile. Tesis Doctorado en Ciencias de Recursos Naturales. Universidad de La Frontera. Temuco, Chile. 186 p.
- Núñez, PA; R Demanet; TH Misselbrook; M Alfaro & ML Mora. 2010a. Nitrogen losses under different cattle grazing frequencies and intensities in a volcanic soil of southern Chile. *Chilean J. Agric. Res.* 70: 237-250.
- Núñez, PA; R Demanet; M Alfaro & ML Mora. 2010b. Nitrogen soil budgets in contrasting dairy grazing systems of southern Chile. *R.C. Suelo Nutr. Veg.* 10: 170-183.
- Roscoe, RM; CA Vasconcellos; AE Furtini Neto; GAA Guedes & LA Fernández. 2000. Urease activity and its relation to soil organic matter, microbial biomass nitrogen and urea-nitrogen assimilation by maize in a Brazilian Oxisol under no-tillage and tillage systems. *Biol. Fert. Soils.* 32: 52-59.
- Sadzawka, A; ZR Grez; ML Mora; RN Saavedra; CA Carrasco & WC Rojas. 2000. Métodos de análisis recomendados para los suelos chilenos. Comisión de normalización y acreditación (CNA), Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo, 63 p. Disponible en: <http://alerce.inia.cl/docs/presentaciones/Doc002ASR.pdf>. Visitado en diciembre 2007.
- Sandans, J; J Peñuelas & M Estiarte. 2008. Changes in soil enzymes related to C and N cycle and in soil C and N content under prolonged warming and drought in a Mediterranean shrubland. *Applied Soil Ecol.* 39: 223-235.
- Sakaran, M & DJ Augustine. 2004. Large herbivores suppress decomposer abundance in a semiarid grazing ecosystem. *Ecology.* 85: 1052-1061.

- SAS Institute. 2002. JMP 5.0.1.2 the statistical discovery software 2002. SAS Institute Inc. Campus Drive, Cary, North Carolina, USA.
- Singh, SK & JPN Rai. 2004. Soil microbial population and enzyme activity related to grazing pressure in alpine meadows of Nanda Devi Biosphere Reserve. *J. Environ. Biol.* 25: 103-107.
- Sparling, GP. 1985. The soil biomass. *In: Soil organic matter and biological activity* (D, Vaughan; RE Malcolm, eds), Martinus Nijhoff/ Dr. W Junk, Dordrecht, pp. 223-262.
- Vance, F; P Brookes & D Jerkinson. 1987. Microbial biomass measurements in forest soils: The use of the cloroformo fumigation-incubation method in strongly acid soils. *Soil Biol. Bioch.* 19: 697-702.
- Yadav, DS; V Kumar; M Singh & PS Relan. 1987. Effect of temperature and moisture on kinetics of urea hydrolysis and nitrification. *Aust. J. Soil Res.* 25: 185-191.
- Yong-Zhong, S; L Yu-Lin; C Jian-Yuan & Z Wen-Zhi. 2005. Influences of continuous grazing and livestock exclusion on soil properties in a degraded sandy grassland, Inner Mongolia, northern China. *Catena.* 59: 267-278.
- Zagal, E & C Córdova. 2005. Indicadores de calidad de la materia orgánica del suelo en un Andisol cultivado. *Agric. Técn.* 65: 186-197.
- Wang, Y; M Xue; X Zheng; B Ji; R Du & Y Wang. 2005. Effects of environmental factors on N₂O emission from and CH₄ uptake by the typical grasslands in the Inner Mongolia. *Chemosphere.* 58: 205-215.