

# ROLADO DE FACHINALES Y CALIDAD DE SUELOS EN EL CHACO OCCIDENTAL, ARGENTINA

ANALÍA ANRIQUEZ<sup>1</sup>; ADA ALBANESI<sup>1</sup>; CARLOS KUNST<sup>2</sup>; ROXANA LEDESMA<sup>2</sup>; CARLOS LÓPEZ<sup>3</sup>; ARIEL RODRÍGUEZ TORRESI<sup>1</sup> & JOSÉ GODOY<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Cátedra de Microbiología Agrícola, Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Universidad Nacional de Santiago del Estero. Av. Belgrano Sur 1912, 4200 Santiago del Estero. E-mail: albanesi@unse.edu.ar

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Estación Experimental Agropecuaria Santiago del Estero.

<sup>3</sup>Cátedra de Mejoramiento Forestal, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero.

Recibido: 10/07/05

Aceptado: 09/08/05

## RESUMEN

En la Región Chaqueña occidental la sustentabilidad de establecimientos ganaderos es reducida, debido a la existencia de grandes áreas dominadas por arbustos de los géneros *Acacia*, *Celtis* y *Prosopis* ('fachinales') que generan baja capacidad receptiva y escasa accesibilidad del ganado. Con el propósito de controlar estas especies improductivas y aumentar la oferta forrajera en dichas áreas, se utilizan comúnmente prácticas agronómicas como por ejemplo el rolado, que generalmente es acompañado por siembra de pasturas y/o fuego prescrito. Nuestro objetivo fue evaluar el efecto de estas prácticas sobre algunos indicadores de calidad de suelo, tales como densidad aparente, carbono orgánico total, carbono orgánico particulado, respiración edáfica, carbono de la biomasa microbiana, actividad deshidrogenasa, en tres sitios característicos de la región: Alto, Media Loma y Bajo. Los tratamientos aplicados fueron rolado, rolado con siembra de *Panicum maximum* cv. trichoglume cv green panic, y rolado seguido por fuego prescrito. La densidad aparente, el carbono orgánico total, el carbono orgánico particulado y el carbono de la biomasa microbiana no fueron alterados por los tratamientos. Una mayor actividad deshidrogenasa se observó en el sitio Bajo, independientemente de los tratamientos y probablemente debido a un mayor contenido de agua del suelo. La respiración edáfica aumentó en el sitio Alto en todos los tratamientos, probablemente debido a la modificación de la actividad microbiana del suelo, atribuible al estímulo producido por los exudados radiculares del green panic y de las herbáceas nativas que aparecieron después de los tratamientos. En general, los indicadores de calidad de suelo no fueron afectados significativamente por los tratamientos usados, hecho atribuible a la baja intensidad de aplicación del rolado y de las prácticas asociadas (siembra de pasturas y fuegos prescritos). No obstante, hubo un efecto significativo de sitio.

**Palabras clave.** Degradación de suelos; materia orgánica; región semiárida, manejo de pastizales; sustentabilidad ecológica.

## ROLLER-CHOPPING OF SHRUB-THICKETS AND SOIL QUALITY IN THE WESTERN CHACO, ARGENTINA

### ABSTRACT

In the western Chaco region the suitability for cow-calf operations of areas dominated by shrub thickets of *Acacia*, *Celtis* and *Prosopis* ('fachinales') is reduced because of their low carrying capacity and poor accessibility. Our objective was to assess the effect of practices commonly used to increase the standing forage of 'fachinales' on some indicators of soil quality (bulk density, total soil organic carbon, respiration, particulate organic carbon, microbial biomass carbon and dehydrogenase activity) at three range sites of the Chaco region: upland, midland and lowland. The treatments applied were roller chopping, roller chopping plus seeding of *Panicum maximum* cv trichoglume cv Green panic, roller chopping followed by prescribed fire and controls. Bulk density, total soil organic carbon, particulate organic carbon and microbial biomass carbon were not altered by the treatments. A higher dehydrogenase activity was observed in the lowland site, irrespective of treatments, probably due to a greater soil water content. Soil respiration increased in the upland site in all treatments, probably because of the modification of soil microbial activity, attributable to the stimulation produced by the root exudates of green panic, native grasses and forbs that appeared after the treatments. In general, soil quality indicators were not significantly affected by treatments, a fact attributed to their 'low' intensity of application. However, there was a significant effect of range site.

**Key words.** Soil degradation; organic matter; semiarid region, range management; ecological sustainability.

## INTRODUCCIÓN

En la Región Chaqueña argentina el manejo inadecuado de bosques y sabanas para fines ganaderos y forestales promueve el desarrollo de arbustales ó 'fachinales'. El fachinal es una comunidad vegetal dominada por especies arbustivas espinosas y arbóreas, pertenecientes a los géneros *Prosopis*, *Acacia*, *Celtis*, *Schinus*, *Larrea* y/o *Opuntia* (Kunst *et al.*, 2003).

La cobertura y estructura de esta vegetación reducen significativamente la oferta y la accesibilidad del forraje de origen herbáceo, base de la ganadería regional; e impiden el tránsito del personal y la hacienda. El horizonte superficial del suelo puede estar compactado y/o cubierto de costras que impiden la infiltración del agua de lluvia y favorecen la escorrentía. Estos aspectos causan una baja aptitud ganadera e influyen en forma

negativa sobre la sustentabilidad ecológica y económica del sistema productivo (Kunst *et al.*, 2003).

El control y/o tratamiento del fachinal es necesario para aumentar la receptividad ganadera en las regiones subhúmedas a áridas del país (Aguilera & Steinaker, 2001) y el tratamiento agronómico más empleado es el “rolado”. Este consiste en el pasaje de un cilindro de metal lastrado con agua y traccionado por tractor o topadora, que “aplasta” el fachinal, dejando en pie las leñosas arbóreas de mayor diámetro y permite un mayor ingreso de luz y agua que genera importantes aumentos en la biomasa herbácea y, por ende, una mayor oferta de forraje (Aguilera & Steinaker, 2001).

El rolado es más conservador que el desmonte total ya que la sombra de los árboles atempera los efectos adversos del clima, se produce un aporte de nutrientes desde el follaje caducifolio arbóreo al suelo, los pastos conservan su valor forrajero en la época seca y se morigera el efecto de heladas y sequías (Tiessen *et al.*, 2003). El rolado no impacta en el ciclo del agua y nutrientes en el mediano plazo (Cortés & Aguilera, 2003; Kunst *et al.*, 2003) y, en general, el mantenimiento de los árboles en los ecosistemas semiáridos conserva o incrementa la materia orgánica del suelo (Tiessen *et al.*, 2003).

Generalmente el rolado es complementado con otras prácticas como la siembra de especies subtropicales para aumentar aún más la calidad y la cantidad del forraje, y/o el uso del fuego para acelerar la degradación de los residuos vegetales producidos por el rolado, mantener libre de renovales leñosos y así sostener la oferta de forraje.

Mientras el rolado genera aumentos del 100 al 300% de la biomasa herbácea compuesta por gramíneas y latifoliadas nativas en 1-2 estaciones de crecimiento, las pasturas subtropicales exóticas producen aumentos de biomasa en más del 600% en comparación con las especies nativas (Kunst *et al.*, 2003). Por esto, la introducción de gramíneas subtropicales como *Panicum maximum* cv *Trichoglume* cv *green panic* y/o *Panicum maximum* cv *gaton panic*, comúnmente implantadas junto con el rolado, podría alterar el ciclo de los nutrientes por tratarse de especies agresivas, con altas demandas nutricionales, diferentes a la vegetación nativa (Williams & Baruch, 2000).

El fuego es un disturbio natural vinculado con la existencia y la dinámica de pastizales y sabanas. Como práctica asociada al rolado podría afectar al suelo por las altas temperaturas y las cenizas generadas. El fuego, aún con prescripciones, influirá sobre el ecosistema dependiendo de su frecuencia, intensidad y manejo posterior (Choromanska & De Luca, 2001).

La productividad y sostenibilidad de los ecosistemas

dependen de la calidad del suelo que se define como la capacidad de funcionar como un sistema diverso y resiliente, soportar una productividad primaria y secundaria neta sostenible y proteger la calidad del ambiente. Este concepto involucra a las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Harris & Bezdicke, 1994).

La calidad del suelo es un criterio clave para evaluar la sostenibilidad de prácticas agronómicas pero no se posee información en la región chaqueña que permita establecer los efectos del rolado y prácticas asociadas en los atributos del suelo y generar normas de manejo sostenible de los ecosistemas chaqueños para fines ganaderos. Estos objetivos son acordes con las necesidades regionales y nacionales y exigencias internacionales de certificación de los productos obtenidos.

En este contexto, la hipótesis de trabajo fue que el rolado y prácticas asociadas modifican la calidad del suelo de los ecosistemas de la Región Chaqueña. El objetivo de este trabajo fue evaluar el comportamiento de algunos indicadores de calidad de suelo, tales como densidad aparente (indica el grado de compactación), carbono orgánico total (indica el contenido de materia orgánica), carbono asociado a partículas mayores a 53 µm (alude a la fracción fácilmente degradable y los cambios en el corto plazo), respiración edáfica (indica la actividad de la biota del suelo), carbono de la biomasa microbiana (refiere a la cantidad de microorganismos), actividad deshidrogenasa (señala la actividad oxidativa del suelo), en un eco-sistema de la Región Chaqueña occidental donde se aplicó rolado y prácticas asociadas (fuego y siembra de *green panic*).

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el Campo Experimental “La María”, perteneciente a la EEA INTA Santiago del Estero, ubicado a 28° 3′ Lat S. y 64° 15′ Long O. El clima es semiárido subtropical, con una precipitación anual promedio de 574 mm y régimen monzónico. La lluvia anual acumulada observada en el área de estudio durante el período de experimentación fue superior al promedio histórico, siendo los registros: 1998: 538 mm, 1999: 650 mm, 2000: 684 mm y 2001: 977 mm, respectivamente.

### Área de estudio

A una escala de 1:20.000, los suelos y la vegetación de la Región Chaqueña se distribuyen a lo largo de un gradiente topográfico o catena desde el ‘Alto’, con suelos de textura gruesa donde se encuentra el bosque de *Aspidosperma quebracho blanco* y *Schinopsis quebracho colorado* hasta la sabana de *Elionorus muticus* (aibe) en el ‘Bajo’ con suelos de textura más fina y con mayor desarrollo. Los ‘parques’ se ubican en la Media Loma (Morello & Adámoli, 1974). Este conjunto de suelos y vegetación pueden asimilarse a tres sitios de pastizal denominados

'Alto' (A), 'Media Loma' (ML) y 'Bajo' (B), respectivamente, que son propios a toda la Región Chaqueña. Los arbustales o fachineales son ubicuos y poseen distinto origen (falta de fuego, sobrepastoreo, etc.).

Mediante fotointerpretación de imágenes remotas del Campo Experimental a distintas escalas y la experiencia de los autores se seleccionó un área continua con los tres sitios de pastizal descriptos ocupados con un 'fachinal' de 2-3 m de altura. Los suelos de los sitios A y ML fueron clasificados como Haplustoles énticos y los del sitio B como Haplustoles típicos, con excepción del sitio Bajo correspondiente a una parcela control sin disturbar (B-T2) que es un Haplustol páchico. Los dos primeros constituyen los tipos de suelos más comunes en la Región Chaqueña occidental. Los Haplustoles páchicos ocupan superficies menores, ya que se encuentran en microdepressiones del paisaje (Duffau obs. pers.). La decisión de incluir este último tipo de suelo dentro del área experimental se basó en que los tres tipos de suelos constituyen una catena representativa del paisaje regional considerando distancias de 1.000-2.000 m.

Las especies leñosas dominantes fueron: sitios A y ML: *Aspidosperma quebracho blanco*, *Schinopsis quebracho colorado*, *Acacia furcatispina*, *Celtis spinosa* y *Atamisquea emarginata*; sitio B: *Acacia aroma* (tusca); *Prosopis nigra* (algarrobo negro) y *Schinus* spp. (molle). En el A y la ML, el estrato herbáceo estaba compuesto por *Setaria leiantha*, *Digitaria californica*, *Wissadulla densiflora* y *Lantana* spp., con una oferta de forraje actual de 1.000 kg materia seca ha<sup>-1</sup> (kg MS ha<sup>-1</sup>) en el B las herbáceas dominantes fueron *Elionurus muticus* y *Pappophorum pappipherum*, con una oferta de 500 kg MS ha<sup>-1</sup> (Kunst *et al.*, 2003). La densidad de leñosas, en todos los sitios, fue mayor a 2.000 tallos ha<sup>-1</sup>, de distinto diámetro.

### Unidades experimentales, diseño experimental y tratamientos

El experimento fue establecido conforme a un diseño en parcelas divididas, asignando 'tratamientos' a las parcelas y 'sitios' a las subparcelas, con estructura completamente aleatorizada.

Se delimitaron cinco parcelas rectangulares de 100 por 300 m de superficie, conteniendo cada una los tres sitios de pastizal A, ML y B. En parcelas seleccionadas al azar se aplicó uno de los siguientes tratamientos: rolado sin siembra seguido de fuego (RF), rolado solo sin siembra ni fuego (RR) y rolado con siembra instantánea de *Panicum maximum* cv *Trichoglume* cv *green panic* con una densidad de 6 kg ha<sup>-1</sup> (RS). Se usaron dos parcelas como controles sin disturbar (T1yT2).

El rolado en RR, RF y RS se realizó en abril de 1999 y consistió en dos pasadas oblicuas de rolo traccionado con topadora Caterpillar D-6. El rolo constaba de un cilindro de metal de 1,4 m de diámetro y 2 m de largo, armado de cuchillas, lastrado con agua hasta obtener un peso de 3.000 kg.

El rolado aplastó entre 6-10 t ha<sup>-1</sup> de la vegetación leñosa de baja y mediana altura (árboles y arbustos de altura ≤ 3 m), dejando en pie individuos leñosos con diámetro a 1,30 m (DAP) > 15 cm y ramas/hojas con distinto grado de corte y entierre. Ello modificó profundamente la fisonomía y estructura de la vegetación de las áreas tratadas, creándose un 'parque' en los sitios A y ML y una 'sabana con árboles aislados' en el B, que generó una sucesión secundaria dominada por latifoliadas, en primera instancia, y luego por gramíneas (Kunst *et al.*, 2003).

El rolado produjo una oferta promedio de biomasa aérea acumulada al final de los períodos de crecimiento de, aproximada-

mente, 3.000-4.000 kg MS ha<sup>-1</sup> en RR y RF y 7.000 kg MS ha<sup>-1</sup> en RS vs. 1.000-1.200 kg MS ha<sup>-1</sup> en los controles (Kunst *et al.*, 2003). En RS, el green panic se implantó solamente en el sitio Alto y en parte de la Media Loma.

Las parcelas RR y RS tuvieron un pastoreo ligero de 30 animales durante el lapso de una semana dentro de cada intervalo entre todas las fechas de muestreo. RF no fue pastoreado para permitir la acumulación de combustible fino necesario para la quema prescrita; que se aplicó luego de dos años y medio del rolado, en octubre de 2001.

En RF el fuego prescrito se aplicó con éxito solo en el sitio B-RF y parte de ML-RF, debido a que era el único sector de la parcela adonde se había acumulado suficiente combustible fino para propagarlo. Se empleó fuego frontal con una longitud de llama mayor a 2 m en ML y B, estimándose su intensidad como de media a alta (Ryan & Noste, 1985). La eficiencia de consumo de combustibles de diámetro 0,5-2,5 cm y de diámetro 2,6-10 cm, estimada mediante el análisis a lo largo de transectas fijas, fue de 50% y 100%, respectivamente. La severidad de la quema fue estimada como media a alta en B-RF, media en ML-RF y nula en A-RF (Ryan & Noste, 1985).

A lo largo del período de muestreo la dinámica del contenido de agua del suelo fue similar en áreas tratadas y los controles, observándose un efecto estacional debido a las lluvias. En el sitio B-T2 el contenido de humedad del suelo fue mayor y se mantuvo por más tiempo, hecho que se atribuye a su ubicación en una microdepresión en el paisaje.

### Indicadores de calidad de suelos

**Densidad aparente (Dap)**, por gravimetría de muestras volumétricas de 250 cm<sup>3</sup>. Los resultados se expresaron en g cm<sup>-3</sup> (Klute, 1986).

**Carbono orgánico total (COT)**, mediante el método de Walkley y Black. Los resultados se expresaron en g C kg<sup>-1</sup> de suelo (Nelson & Sommers, 1982).

**Carbono orgánico particulado (COP)**, por dispersión en hexametáfosfato de sodio al 5% y tamizado por tamices entre 2.000 y 53 μm (Cambardella & Elliott, 1992), determinando luego el contenido de carbono por el método de Walkley y Black. Se calculó la relación COP/COT.

**Respiración edáfica (RE)**, por incubación controlada durante 10 días determinando el CO<sub>2</sub> capturado en NaOH 0,1 M, titulando con HCl 0,1 M. Los resultados se expresaron en mg C kg<sup>-1</sup> de suelo (Weaver *et al.*, 1994).

**Carbono de la biomasa microbiana (C-BM)**, mediante fumigación-extracción utilizando una constante de extracción de 0,45 (Weaver *et al.*, 1994). Los resultados se expresaron en mg C kg<sup>-1</sup> de suelo. Se calculó la relación C-BM/COT (Anderson & Domsch, 1989) y el qCO<sub>2</sub> (cociente entre RE y C-BM).

**Actividad deshidrogenasa (Dh-asa)**, por reducción de 2,3,5 cloruro de tetrazolio a trifeníl formazan (TPF) y detectada por espectrofotometría (Weaver *et al.*, 1994). Los resultados se expresaron en mg TPF kg<sup>-1</sup> de suelo.

## Muestreo de suelos

La evolución de indicadores fue estudiada por un período de tres años, comenzando los muestreos en Abril de 1999, y continuando por siete fechas de muestreo consecutivas separadas entre sí por 3-5 meses, hasta Noviembre de 2001. El lapso de tres años es considerado de manera empírica como la duración mínima del período 'útil' de un rolado desde el punto de vista ganadero.

El muestreo se realizó mediante un diseño al azar estratificado siendo el estrato el sitio de pastizal, extrayéndose  $n_1 = 2$  muestras para estimar densidad aparente a una profundidad de 0-8,5 cm; y  $n_2 = 3$  muestras para otros indicadores a una profundidad de 0-15 cm, siendo cada una de ellas compuesta por tres submuestras. Las muestras fueron colocadas en bolsas de polietileno, transportadas al laboratorio, secadas al aire y tamizadas por malla de 2.000  $\mu\text{m}$ .

El indicador COT fue evaluado en cinco fechas de muestreo (07/99, 12/99, 03/00, 02/01, 10/01); el indicador RE en seis fechas de muestreo (07/99, 12/99, 03/00, 07/00, 02/01, 10/01) y el indicador Dap en siete fechas de muestreo (07/99, 12/99, 03/00, 07/00, 02/01, 08/01, 10/01), a partir de la aplicación del rolado.

El indicador COP fue determinado en tres fechas: 07/99 (luego del rolado); 7/00 (entre el rolado y la aplicación del fuego) y el 10/01 (posterior a la aplicación del fuego prescripto).

Los indicadores C-BM y Dh-asa fueron evaluados en la fecha 12/99, luego del rolado y antes de la aplicación del fuego.

En laboratorio, de cada muestra de suelo se realizaron tres mediciones para cada indicador, a excepción del COT, del que se efectuaron dos mediciones en cada muestra.

## Análisis estadístico

Para evaluar el efecto de los disturbios sobre los ecosistemas se recomienda emplear una unidad experimental de tamaño suficiente que permita incluir todo el contexto físico, químico y biológico relevante (Carpenter, 1998), evitar un enfoque reduccionista y ampliar el alcance de las conclusiones (Schindler, 1998). En este sentido, los 'sitios de pastizal' representan la variación en suelos y vegetación de la Región Chaqueña, percibida a una escala adecuada para el manejo. El tamaño resultante de las parcelas y los costos asociados con la logística e infraestructura del rolado, fuego prescripto y pastoreo animal, limitaron la posibilidad de repeticiones de las unidades experimentales. Este problema es ampliamente conocido y discutido en la bibliografía internacional; siendo muchas veces inevitable (Carpenter, 1998).

Para estimar la variancia de los indicadores se emplearon las muestras de suelo por sitio de pastizal como 'replicaciones', aunque constituyen 'pseudoreplicaciones'. Teniendo en cuenta esta limitante, la inferencia estadística se basó en un estimador aceptable del error experimental (Hurlbert, 2004); y la interpretación de los resultados fue complementada con inferencia ecológica y agronómica y la experiencia de los autores.

Los indicadores Dap, COT, COP y RE fueron analizados mediante un modelo de parcelas divididas con medidas repetidas en el tiempo (Milliken & Johnson, 1996):

$$Y_{ijkl} = \mu + t_i + S(t)_{k(i)} + (Sxt)_{kl} + T_l + (txT)_{il} + (SxT)_{kl} + (txSxT)_{ikl} + p_{ij} + d_{ijk} + e_{ijkl} \quad [1]$$

Donde  $Y_{ijkl}$ : indicador;  $m$ : promedio;  $t_i$ : efecto de tratamiento (parcela);  $S(t)_{k(i)}$ : efecto de sitio de pastizal (subparcela);  $T_l$ : efecto del tiempo;  $(Sxt)_{kl}$ ,  $(txT)_{il}$ ,  $(SxT)_{kl}$  y  $(txSxT)_{ikl}$ : interacciones;  $p_{ij}$ : error entre parcelas,  $d_{ijk}$ : error dentro de parcelas;  $e_{ijkl}$ : error de medición para una fecha dada.

La simetría fue evaluada mediante el test de Huynh-Feldt (Milliken & Johnson, 1996). Para el procesamiento estadístico se empleó el PROC GLM del paquete estadístico SAS (SAS, 1998).

Conceptualmente, el factor 'tratamiento' representa el efecto del rolado y prácticas asociadas sobre los indicadores estudiados, mientras que 'sitio' es un factor de clasificación que representa la variación intrínseca entre indicadores por diferencias en composición botánica y suelos de los tres sitios de pastizal, considerando un nivel de percepción de 1.000 -2.000 m, aproximadamente. El factor 'fecha de muestreo' o 'tiempo' representa la variación atribuible al tiempo cronológico y el efecto de las estaciones del año.

Para cada indicador existe dentro de un sitio de pastizal una heterogeneidad espacial y temporal intrínsecas, que podría ser modificada por los tratamientos. Para evaluar este efecto, los desvíos estándares de las medias de COT y de RE observadas en cada fecha de muestreo fueron sometidos a análisis de variancia, previa transformación a rangos, empleando el modelo estadístico sugerido por Albanesi (2001), con las mismas fuentes de variación del caso anterior. Los indicadores COT y RE fueron empleados porque la fuente de variación tratamiento presentaba diferencias significativas atribuibles a la variabilidad aportada por los controles y no por los tratamientos rolados y prácticas asociadas.

Los indicadores Dh-asa y C-BM se analizaron, bajo un diseño en parcelas divididas, mediante ANVA cuyas fuentes de variación fueron sitio, tratamiento y la interacción sitio\*tratamiento. El indicador C-BM debió ser transformado en rangos, previo al análisis, debido a la falta de homogeneidad de las variancias.

Cuando fue necesario se empleó para la comparación de medias el test de diferencias de medias de Tukey (SAS, 1998).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Dap varió entre los valores extremos de 0,62 y 1,18  $\text{g cm}^{-3}$  de suelo durante todo el estudio (Fig. 1), magnitudes que se encuentran dentro del rango informado para los suelos de la Región Chaqueña (Ramsperger, 1992) y son menores a los reportados en otros ecosistemas semiáridos sometidos al rolado en la Argentina (Aguilera & Steinhaker, 2001).

En Dap la triple interacción entre sitio, tratamiento y fecha de muestreo fue altamente significativa (Tabla 1). La falta de significancia del factor tratamiento (Tabla 1) sugirió un importante efecto espacial y temporal. Las variaciones encontradas no revisten importancia agronómica ni ecológica dado que los valores de Dap son menores a 1,6-1,8  $\text{g cm}^{-3}$ , 'umbral' superior en suelos limosos, por sobre el cual la Dap representa un impedimento para el crecimiento de las plantas (Reynolds *et al.*, 2002).



Tabla 1. Análisis de la variancia de los indicadores de calidad de suelo evaluados, para cinco tratamientos y tres sitios de pastizal, Región Chaqueña occidental, Argentina. Referencias: Dap: densidad aparente; COT: carbono orgánico total; RE: respiración edáfica; COP: carbono orgánico particulado; C-BM: carbono de la biomasa microbiana; Dh-asa: actividad deshidrogenasa.

Table 1. Analysis of variance of soil quality indicators assessed in five treatments and three range sites, western Chaco region, Argentina. References: Dap: bulk density; COT: total organic carbon; RE: soil respiration; COP: particulate organic carbon; C-BM: microbial biomass carbon; Dh-asa: dehydrogenase activity.

Fuente de Variación	Dap	COT	RE	COP	C-BM	Dh-asa
	<i>P&gt;F</i>	<i>P&gt;F</i>	<i>P&gt;F</i>	<i>P&gt;F</i>	<i>P&gt;F</i>	<i>P&gt;F</i>
Tratamiento	0,5975	0,0003	0,0002	0,2410	0,0001	0,0001
Sitio	0,0081	0,0001	0,0005	0,0001	0,0023	0,0001
Sitio*tratamiento	0,0334	<0,0001	0,0002	0,0019	0,0001	0,0001
Fecha	<0,0001	0,0071	<0,0001	<0,0001		
Fecha*tratamiento	0,0018	0,0053	<0,0001	0,1277		
Fecha*sitio	0,0004	<0,0001	0,003	<0,0001		
Fecha*sitio*tratamiento	0,0054	0,0008	0,0018	0,0157		

Los efectos del rolado sobre la Dap concuerdan con lo observado por Tomsic & Albanesi (2003) que informaron que, cuando los mismos sitios de pastizal fueron sometidos a desmonte selectivo manual y manejo silvo-pastoril, no existieron diferencias significativas de la Dap con respecto al testigo control, el monte natural. Por el contrario, Ramsperger (1992) informó un aumento significativo de la Dap cuando los mismos sitios fueron sometidos a desmonte total y posterior uso agrícola convencional.

El COT varió entre 9,09 y 39,39 g C kg<sup>-1</sup> de suelo durante el estudio (Fig. 2). Estas magnitudes se consideran medias a altas para la Región Chaqueña (Ramsperger, 1992; Albanesi *et al.*, 2003). En el COT la interacción triple entre tratamiento, sitio y fecha de muestreo fue altamente significativa (Tabla 1). Esas diferencias no se atribuyeron a los tratamientos rolado y sus prácticas asociadas sino a la variabilidad aportada por parcelas que no recibieron tratamiento efectivo, tales como A-T2, B-T2 y A-RF.

El valor medio en A-T2 (Fig. 2) fue significativamente menor que en los demás tratamientos, lo que se atribuye a una menor densidad de leñosas con respecto a A-T1, que pudo haber generado diferencias en la cantidad y calidad de mantillo. Esa menor cobertura vegetal podría haber desprotegido al suelo del excesivo calentamiento, estimular la mineralización del C y la formación de compuestos de más labilidad y, por ende, de menor protección a la degradación microbiana (Albanesi *et al.*, 2003). Ello se evidencia porque A-T2 posee la

mayor relación COP/COT durante el tiempo de estudio (datos no presentados). El sitio B-T2 se destacó por registrar el mayor valor de COT durante todo el lapso estudiado (Fig. 2), por estar sujeto a una mayor acumulación de agua y nutrientes por escorrentía, ya que está ubicado en las áreas más bajas del paisaje (Cambardella & Elliott, 1992) y, consecuentemente, es el que presenta el menor valor de Dap.

Por otra parte, en las dos últimas fechas de muestreo el COT en A-RF presenta una magnitud media mayor que en los otros sitios y tratamientos (Fig. 2), posiblemente porque no fue pastoreado y por ende, hubo un mayor aporte al suelo de mantillo proveniente de la vegetación.

En el análisis de los desvíos estándares de las medias del COT no se registraron diferencias significativas entre tratamientos (Tabla 2). Ello evidencia que los tratamientos rolados mantienen la variabilidad de COT y por ende del ambiente edáfico, a diferencia de prácticas agronómicas convencionales que tienden a homogeneizarlo (Albanesi, 2001). Aún cuando no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, se observa que los valores de COT para los tratamientos rolados (RR, RF y RS) variaron en el sitio A entre 12,65 y 30,96 g C kg<sup>-1</sup> de suelo, más altos que los observados en los sitios ML (9,36 - 18,31 g C kg<sup>-1</sup>) y B (9,09-19,69 g C kg<sup>-1</sup>, Fig. 2). Esto se atribuye a la distinta calidad de los aportes de materia orgánica, generada solo por arbustos en B y ML; y árboles y arbustos en A, respectivamente.

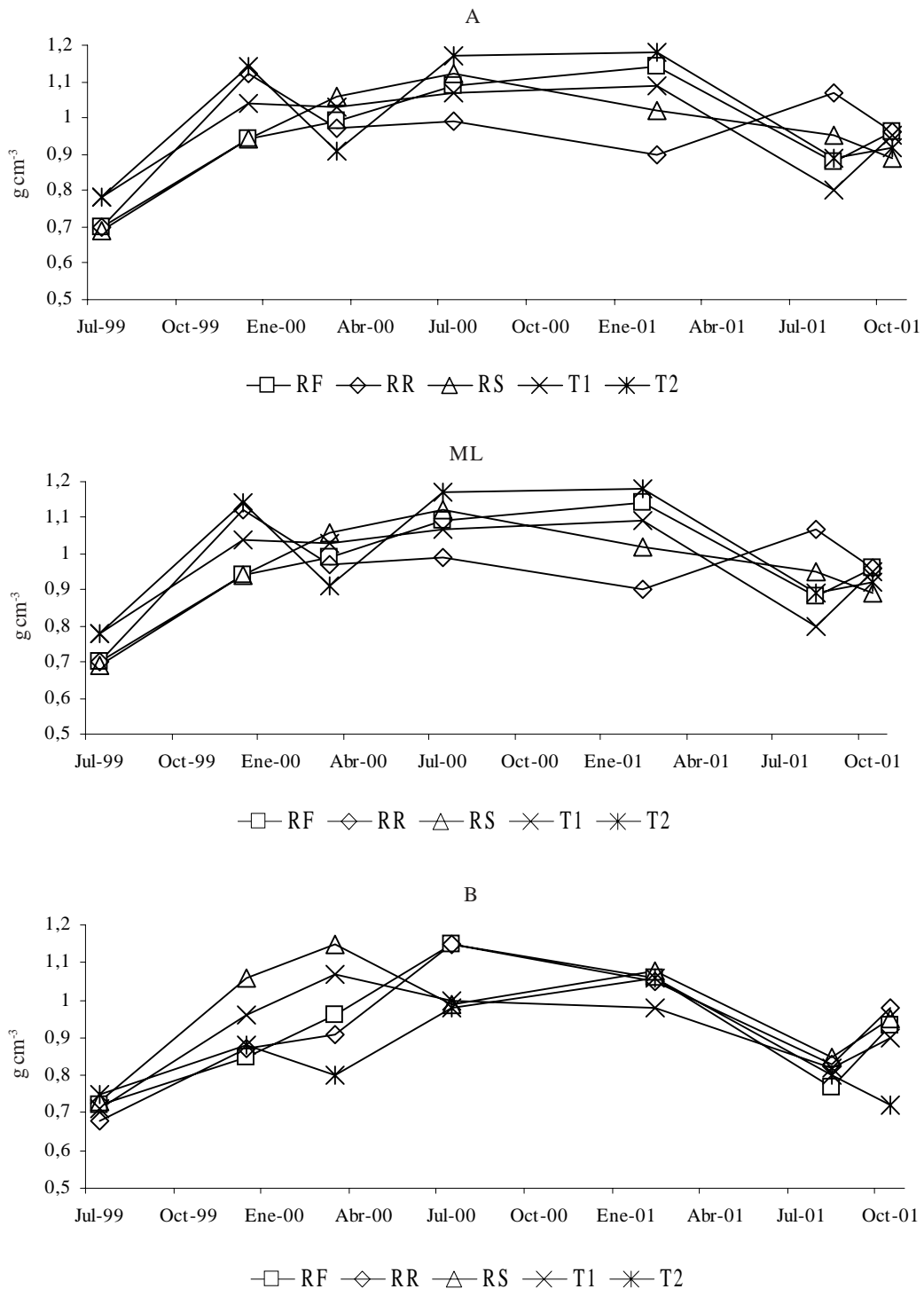


Figura 1. Dinámica temporal de la Dap media del suelo observada a 0-15 cm de profundidad entre 1999 y 2001 en tratamientos y controles en tres sitios de pastizal: (A) alto; (ML) media loma y (B) bajo, Región Chaqueña occidental, Argentina. Por otras referencias, ver texto.

Figure 1. Temporal dynamics of mean Dap observed at 0-15 cm soil depth during 1999-2001 at three range sites: (A) upland site; (ML) midland site; and (B) bottom site, western Chaco region, Argentina. For other references, see text.

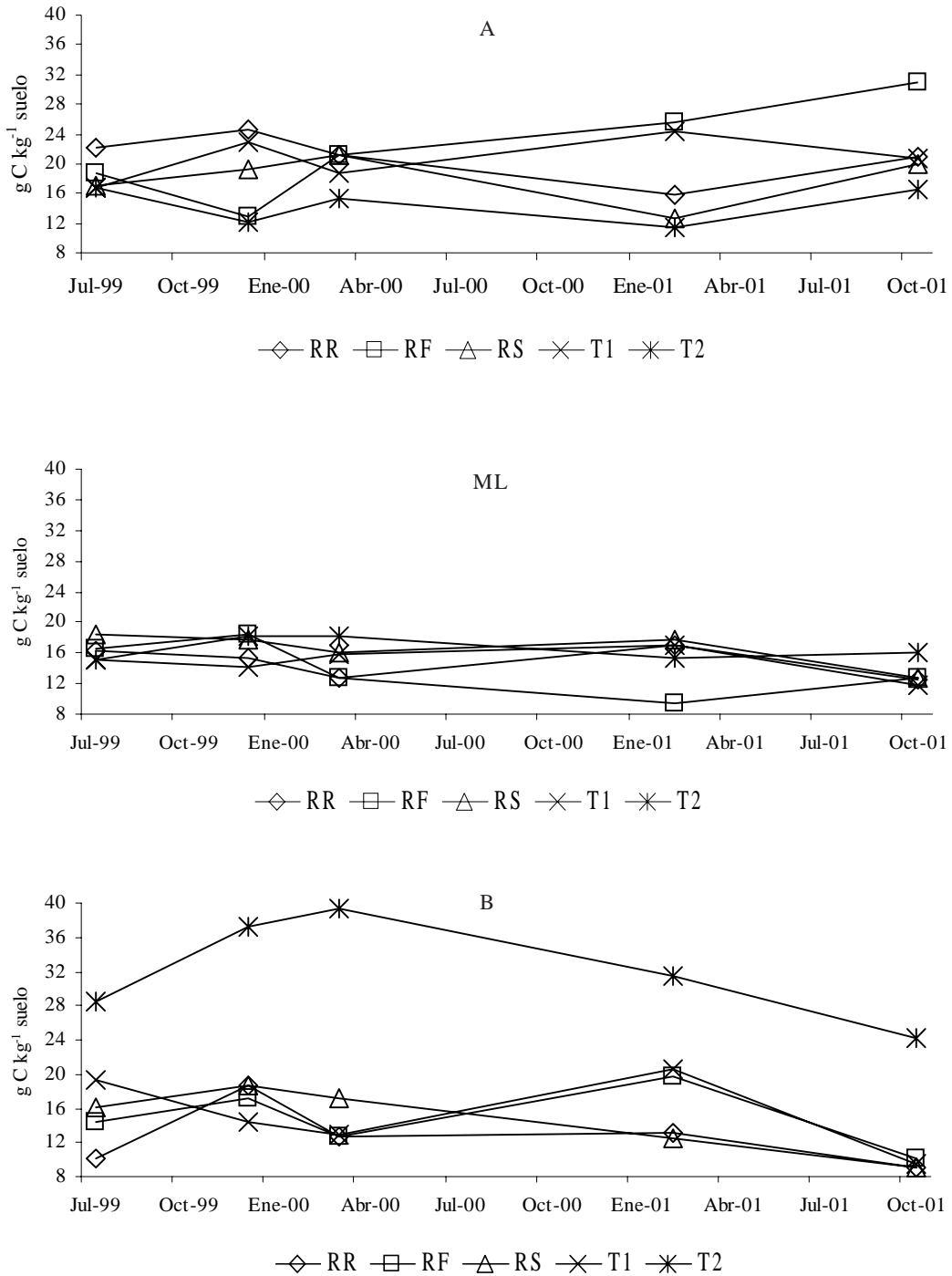


Figura 2. Dinámica temporal del COT medio observado a 0-15 cm de profundidad del suelo entre 1999-2001 en tratamientos y controles en tres sitios de pastizal: (A) alto; (ML) media loma y (B) bajo, Región Chaqueña occidental, Argentina. Por otras referencias, ver el texto.

Figure 2. Temporal dynamics of mean COT observed at 0-15 cm soil depth in treatments and control plots during 1999-2001 at three range sites: (A) upland site; (ML) midland site; and (B) bottom site, western Chaco region, Argentina. For other references, see text.

En general, la magnitud del COT evidenció que en los tres años considerados, los sitios tratados mantuvieron las reservas de materia orgánica en relación a los controles, al contrario de lo informado por Albanesi *et al.*, (2003) que observan una disminución significativa del COT cuando los mismos sitios de pastizal son sometidos a desmonte total y posterior uso agrícola.

El COP constituyó entre un 63-88% del COT en todas las parcelas tratadas y controles, a excepción del sitio B-T2, donde representó un 54% del COT (datos no presentados). La alta proporción del COP dentro del COT evidencia que existió poco carbono protegido de la degradación microbiana, aún en los sectores donde los pastos eran dominantes, en concordancia con García-Oliva *et al.*, (1999) que indicaron que en suelos forestales el 80% del C está asociado al COP.

En COP, la triple interacción entre sitio, tratamiento y fecha de muestreo fue altamente significativa (Tabla 1). La falta de significancia del factor tratamiento (Tabla 1) sugiere un importante efecto espacial y temporal sobre el COP.

El mayor contenido de COT y la menor proporción del COP en el sitio B-T2 y, por ende, un mayor contenido de carbono asociado al menor tamaño de partículas, podría deberse a posibles diferencias en la temperatura, contenido de humedad y sustrato disponible que favorecen la habilidad de ese sitio para secuestrar materia orgánica (Cambardella & Elliott, 1992) (Fig. 3).

En RE se observó, en forma similar a las variables anteriores, que la triple interacción entre los factores del análisis fue altamente significativa (Tabla 1). En la primera fecha de muestreo, todos los sitios sometidos a rolados y prácticas asociadas presentaron una magnitud

significativamente menor de RE en comparación con los controles (Fig. 4). Esta disminución se produciría por la degradación de los residuos recientemente semi-incorporados que habría estimulado su inmediata asimilación por la biota heterotrófica y por ende, la inmovilización temporaria de los nutrientes del suelo (Lavahun *et al.*, 1996). A partir de la tercera fecha de muestreo, en general, RE aumenta en los tratamientos rolados, debido probablemente, a la paulatina disminución de la relación C/N de los residuos semiincorporados por el rolado, a modificaciones en la calidad de éstos por aumento de las fracciones de mayor labilidad y al ingreso de mayor radiación por eliminación de árboles y arbustos que favorecieron la actividad microbiana y la descomposición de residuos (Amelung *et al.*, 1998).

El aumento de RE en los sitios A de todos los tratamientos se debió, probablemente, al efecto de la pastura green panic sembrada al rolar en RS (abril de 1999) y a la aparición de herbáceas nativas (gramíneas y latifoliadas) en RF y RR. Estas especies aumentaron su biomasa en forma paulatina, aportando necromasa aérea y exudados radiculares en forma continua, que estimularon las poblaciones microbianas que metabolizan materiales de más fácil descomposición (Loveland & Webb, 2003). El análisis de los desvíos estándares de las medias de RE (Tabla 2) no mostró diferencias significativas y evidenció que los tratamientos rolados no afectan la variabilidad de RE, de manera similar al comportamiento del COT. El fuego no pareció afectar RE en B-RF, ya que este indicador siguió con la tendencia positiva iniciada antes del tratamiento (Fig. 4).

El efecto del tratamiento sobre Dh-asa varió por sitio de pastizal (Tabla 1). La Dh-asa media no presentó

Tabla 2. Análisis de la variancia de los desvíos estándares del COT y RE, para cinco tratamientos y tres sitios de pastizal, Región Chaqueña occidental, Argentina. Referencias: COT: carbono orgánico total y RE: respiración edáfica

Table 2. Analysis of variance of standard deviation assessed in five treatments and three range sites, western Chaco region, Argentina. References: COT: total organic carbon; RE: soil respiration.

Fuentes de variación	COT	RE
	<i>P&gt;F</i>	<i>P&gt;F</i>
Tratamiento	0,8	0,05
Sitio	0,86	0,26
Fecha	0,28	0,11
Tratamiento*sitio	0,57	0,31
Tratamiento*fecha	0,81	0,38
Tratamiento*sitio*fecha	0,93	0,95



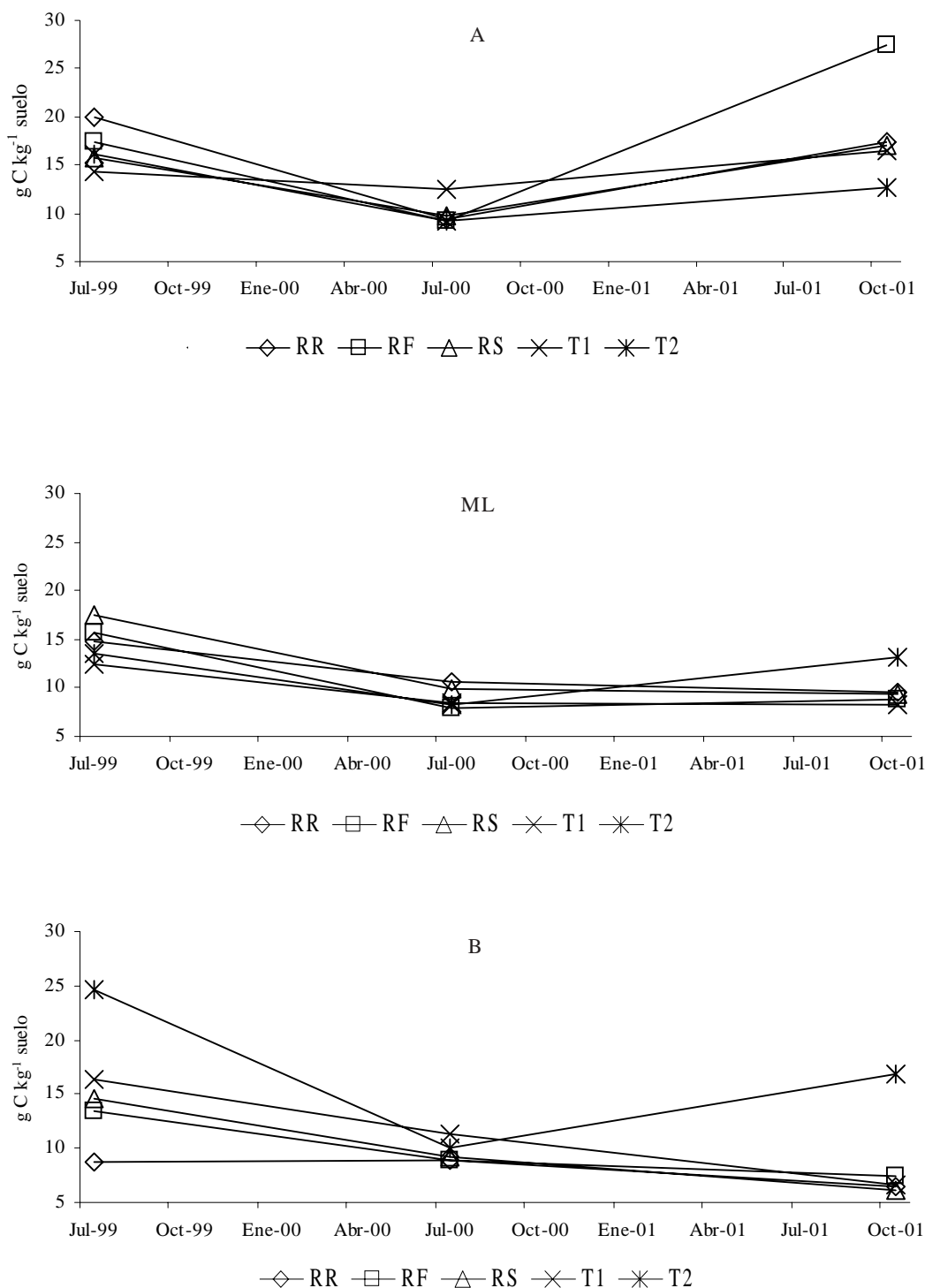


Figura 3. Dinámica temporal de COP medio del suelo observado a 0-15 cm de profundidad entre 1999 y 2001 en tratamientos y testigos en tres sitios de pastizal: (A) alto; (ML) media loma y (B) bajo, Región Chaqueña occidental, Argentina. Por otras referencias, ver texto.

Figure 3. Temporal dynamics of mean COP observed at 0-15 cm soil depth during 1999-2001 at three range sites: (A) upland site; (ML) midland site; and (B) bottom site, western Chaco region, Argentina. For other references, see text.

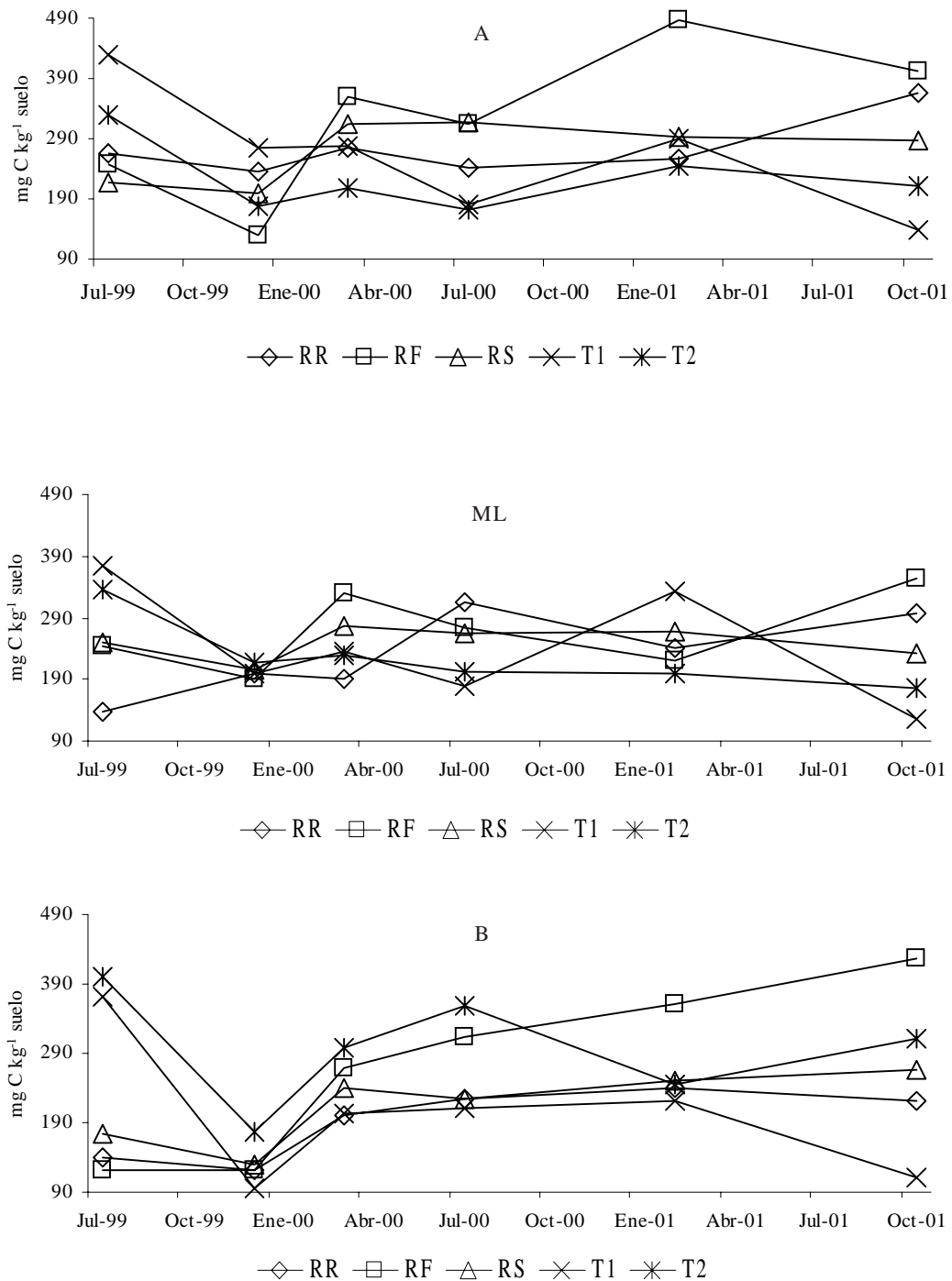


Figura 4. Dinámica temporal de la RE media del suelo observada a 0-15 cm de profundidad entre 1999 y 2001 en tratamientos y controles en tres sitios de pastizal: (A) alto; (ML) media loma y (B) bajo, Región Chaqueña occidental, Argentina. Por otras referencias, ver texto.

Figure 4. Temporal dynamics of mean RE observed at 0-15 cm soil depth during 1999-2001 at three range sites: (A) upland site; (ML) midland site; and (B) bottom site, western Chaco region, Argentina. For other references, see text.

diferencias significativas entre tratamientos en los sitios A y ML, pero sí en B, donde se observó la mayor actividad enzimática (Tabla 3), destacándose la actividad en el B-T2, seguido de los otros tratamientos. Este resultado es similar a lo observado en otros ecosistemas de la región donde la actividad de Dh-asa no presentó dependencia espacial, sino que estaría influenciada por el contenido de agua del suelo (Bergstrom *et al.*, 1998; Albanesi *et al.*, 2003).

En C-BM el efecto de los tratamientos varió de acuerdo al sitio de pastizal (Tabla 1). En los sitios con vegetación natural, el C-BM siguió el siguiente orden de magnitud: en T1 fue  $ML > B > A$ , en T2 fue  $B > A > ML$ , siendo menores a los valores observados por Albanesi *et al.*, (2003) en suelos del centro-este de Santiago del Estero (Tabla 3).

La relación C-BM/COT, que brinda indicios de la eficiencia metabólica de la biota del suelo, varió entre 0,12 a 0,88% (Tabla 3). En los sitios tratados dicha relación se ubicó dentro del rango de los valores delimitados por T1 y T2, a excepción del B-RR y B-RF, donde se

observaron las menores magnitudes del indicador (Tabla 3). Ello se atribuyó a la disminución en el C-BM, que implica una reducida disponibilidad de sustratos de fácil descomposición, generando una baja incorporación del sustrato por parte de la biomasa microbiana que mineraliza una alta proporción de materia orgánica para mitigar las demandas energéticas (Anderson & Domsch, 1989).

En resumen, durante los tres años de estudio, el rolado y sus prácticas asociadas (siembra de green panic y fuego prescripto) no modificaron la calidad del suelo, evaluada mediante los indicadores Dap, COT, RE, COP, C-BM y Dh-asa. La densidad aparente no fue afectada por los tratamientos a pesar del peso de las maquinarias involucradas. Las reservas de materia orgánica del suelo de las parcelas, expresadas mediante el contenido de carbono orgánico del mismo, no fueron modificadas debido a que la incorporación de residuos vegetales compensaron las pérdidas generadas por el movimiento del suelo, por el pasaje del rolo y las demandas nutricionales de la sucesión secundaria posterior.

Tabla 3. Promedios observados por sitio de pastizal y tratamiento de: actividad deshidrogenasa (Dh-asa,  $\text{mg TPF kg}^{-1}$ ); carbono de la biomasa microbiana (C-BM,  $\text{mg C kg}^{-1}$ ) y relación C-BM/COT (%). Región Chaqueña occidental, Argentina. Medias seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes ( $\alpha = 0,1$ ). Por otras referencias, ver texto.

Table 3. Means of: dehydrogenase activity (Dh-asa,  $\text{mg TPF kg}^{-1}$ ); microbial biomass carbon (C-BM,  $\text{mg C kg}^{-1}$ ) and C-BM/COT relationship (%) observed in each range site and treatments, western Chaco region, Argentina. Means followed by the same letter are not significantly different, ( $\alpha = 0.1$ ). For other references, see text.

Tratamientos	Dh-asa	C-BM	C-BM/COT
A-T1	96,81 a	41,16 a	0,18
A-T2	97,27 a	106,41 c	0,88
A-RF	94,40 a	37,88 a	0,29
A-RR	96,07 a	84,67 b	0,34
A-RS	102,50 a	107,06 c	0,55
ML-T1	103,90 a	119,20 b	0,84
ML-T2	82,78 a	88,20 a	0,49
ML-RF	83,40 a	84,41 a	0,46
ML-RR	95,14 a	83,40 a	0,55
ML-RS	90,60 a	86,00 a	0,49
B-T1	119,30 b	72,30 b	0,50
B-T2	187,80 d	140,80 c	0,38
B-RF	121,12 b	21,45 a	0,12
B-RR	134,17 b	36,00 a	0,19
B-RS	149,30 c	79,70 b	0,43

El rolado afectó la actividad respiratoria (RE) favoreciendo la asimilación microbiana en forma inmediata por la semiincorporación de los residuos. Ese efecto se modificó en el tiempo por la disminución de la relación C/N, que estimuló la mineralización y por ende la RE, en particular cuando se incorpora al ecosistema una especie exótica como green panic, por modificaciones del ambiente rizosférico.

La alta proporción de COP en todos los sitios (A, ML y B), que indica menor carbono protegido de la degradación microbiana, no varió con los rolados. Estos no influyen sobre la actividad Dh-asa pero en B disminuyen la eficiencia metabólica debido a la merma producida en el C-BM, lo que genera una menor cantidad de sustrato de fácil descomposición como el de la biomasa microbiana y una lenta asimilación de los residuos semiincorporados.

Se debe tener en cuenta que el rolado empleado en este estudio dejó en pie la mayor parte de los árboles presentes, el fuego prescripto no fue severo y la intensidad de pastoreo fue ligera. En ese contexto, los cambios resultantes del impacto de los tratamientos sobre los indicadores no fueron capaces de superar la variación intrínseca resultante del clima, de la posición topográfica, del tipo de suelo y de la fisonomía vegetal, representados por los factores fecha de muestreo y sitio de pastizal (A, ML y B). Esta aseveración, aunque limitada por la falta de repeticiones de las unidades experimentales, se apoya en los resultados encontrados, la experiencia de los autores y la representatividad de las parcelas en relación a los ecosistemas de la región.

Los resultados de este estudio indican que la hipótesis original debe ser rechazada: la calidad del suelo de los sitios A, ML y B representativos del ambiente de la Región Chaqueña a un nivel de percepción 'local' no es modificada por el rolado y prácticas asociadas. Esto convierte al rolado, cuando se aplica de manera racional, en una práctica promisoriosa para la recuperación de ecosistemas degradados de la Región Chaqueña y que no atenta sobre su sustentabilidad en el mediano plazo.

#### AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada conjuntamente por la Universidad Nacional de Santiago del Estero, Secretaría de Ciencia y Técnica, mediante los proyectos 'Modificación de Ecosistemas Degradados para Uso Ganadero y Caprino Sustentable' y 'Las Actividades Agropecuarias en el Desarrollo Sustentable de Santiago del Estero, con Énfasis en Calidad del Suelo'; y por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Centro Regional Noroeste, a través del Proyecto Regional 'Intensificación de la Producción de Carne Bovina del Noroeste Argentino'.

#### BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera, M & D Steinaker. 2001. Rolado y siembra en arbustales semiáridos de San Luis. *En: J Panigatti; D Buschiazio & H Marelli. (eds) Siembra Directa II*, p. 289-302. INTA
- Albanesi, A. 2001. Parámetros de calidad biológica del suelo para evaluar degradación en función del uso de la tierra en una zona del Chaco semiárido, Argentina. Tesis Magister UBA. 168p.
- Albanesi, A; A Anriquez & A Polo Sánchez. 2003. Efectos de la agricultura convencional en algunas formas del C en una toposecuencia de la Región Chaqueña, Argentina. *Agriscientia* 20: 1-9.
- Amelung, W; KW Flach; X Zhang & W Zech. 1998. Climatic effects on C pools of native and cultivated prairie. *En: H Blume; HEger; E Fleischhauer; A Hebel; C Reij & K Steiner. (eds): Towards sustainable land use. Advances in Geoecology* 31. Catena Verlag, Reiskirchen. 217-224.
- Anderson, T & K Domsch. 1989. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. *Soil Biol. Biochem.* 21: 471-479.
- Bergstrom, D; C Monreal; J Millette & D King. 1998. Spatial dependence of soil enzyme activities along a slope. *Soil Science of America Journal* 62: 1302-1308.
- Cambardella, C & E Elliott. 1992. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 777-783.
- Carpenter, SR. 1998. The need for large scale experiments to assess and predict the response of ecosystems to perturbation. Cap. 12, p. 287-312. *En: M. Pace & P. Groffman (eds.): Success, limitations and frontiers in ecosystem science.* Springer Verlag, N. Y.
- Choromanska, U & T DeLuca. 2001. Prescribed fire alters the impact of wildfire on soil biochemical properties in a Ponderosa Pine Forest. *Soil Science of America Journal* 65: 232-238.
- Cortés, M & M Aguilera. 2003. Manejo y conservación de tierras semiáridas: materia orgánica y degradación de suelos. *En: O Aguilera & J Panigatti (eds): Con las metas claras. La Estación experimental Agropecuaria San Luis: 40 años a favor de desarrollo sustentable.* 57-68. INTA.
- García-Oliva, F; Jr RL Sanford & E Kelly. 1999. Effects of slash and burn management on soil Aggregate Organic C and N in a Tropical Deciduous Forest. *Geoderma* 88: 1-12.
- Harris, R & D Bezdicek. 1994. Descriptive aspects of soil quality/health. *En: Defining soil quality for a sustainable environment.* JW Doran; DC Coleman; DF Bezdicek & BA Stewart. (eds). SSSa Special Publication Number 5. madison, Wisconsin, USA. 23-35
- Hurlbert, S. 2004. On misinterpretation of pseudoreplication and related matters: a reply to Oksanen. *Oikos* 104: 591-597.
- Klute, A. (ed). 1986. Methods of soil analysis. Part 1: Physical and mineralogical methods. *Agronomy* 9, ASA, ASSA, Inc, Publisher, 1188 p., Madison, Wisconsin, USA.
- Kunst, C; R Ledesma; M Basan; G Angella; D Prieto & J Godoy. 2003. Rolado de fachinales e infiltración de agua en el suelo en el Chaco occidental argentino. *Revista de Investigaciones Agropecuarias* 32: 105-122.

- Lavahun, M; R Joergensen & B Meyer. 1996. Activity and biomass of soil microorganisms at different depths. *Biol. Fertil. Soils*. 23: 38-42.
- Loveland, P & J Webb. 2003. Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions? A review. *Soil & Tillage Research* 70: 1-18.
- Milliken, G & D Johnson. 1996. Analysis of messy data. Chapman and Hall. London.
- Morello, J & J Adámoli. 1974. Las grandes unidades de vegetación y ambiente de la Pcia. del Chaco. *Serie Fitogeográfica* N° 13, INTA.
- Nelson, D & L Sommers. 1982. Methods of soil analysis. En: Page, A. (ed). Agronomy 9, ASA, SSSA. 539-579.
- Ramsperger, B. 1992. Alteraciones de la condición del suelo debido a un cambio en el uso agrícola. Caso particular: Regosoles en el Chaco seco, Argentina. Tesis de Grado. Convenio UNSE-GTZ. Univ. de Hohenheim, Alemania. Stuttgart-Hohenheim, Alemania. 112 p.
- Reynolds, WD; BT Bowman; CF Drury; CS Tan & X Lu. 2002. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. *Geoderma* 110: 131-146.
- Ryan, K & N Noste. 1985. Evaluating prescribed fires. En: J. Lotan, B. Kilgore, W. Fischer & R. Mutch (eds.) Proceedings of the Symposium and Workshop on Wilderness Fire. Intermountain Forest and Range Exp. Station, Missoula, Montana, GTR INT-182 230-238.
- SAS. 1998. Statistics. SAS Institute, Inc, North Carolina.
- Schindler, D. 1998. Replication versus realism: the need for ecosystem-scale experiments- *Ecosystems* 1: 323-334.
- Tiessen, H; R Menezes; I Salcedo & B Wick. 2003. Organic matter transformations and soil fertility in a treed pasture in semiarid NE Brazil. *Plant and Soil* 252 195-205.
- Tomsic, P & A Albanesi. 2003. Relación del balance de N con las variables meteorológicas y edáficas en un sistema silvo-pastoril. IX Reunión Nac. de Biol. de Suelos, Argentina. Publicado en CD. ISBN 987-99083-5-8.
- Weaver, R; J Angle & P Bottomley. (ed). 1994. Methods of soil analysis. Part 2: Microbiological and biochemical properties. SSSA Book Series 5, Madison, USA:
- Williams, D & Z Baruch. 2000. African grass invasion in the Americas: ecosystem consequences and the role of ecophysiology. *Biological Invasions* 2: 123-140.