

## CARBONO ORGÁNICO Y ACTIVIDAD MICROBIANA EN UN SUELO DEL CALDENAL PAMPEANO CON DIFERENTES MANEJOS

MARÍA SOFÍA LARROULET<sup>1\*</sup>; ESTELA NOEMÍ HEPPEL<sup>1</sup>; PAULA ANDREA FERREYRA<sup>1</sup>; JULIO OSVALDO IGLESIAS<sup>2</sup>; JUAN ALBERTO GALANTINI<sup>3</sup>

Recibido: 17/10/2019

Recibido con revisiones: 02/03/2020

Aceptado: 12/03/2020

### RESUMEN

El rolado produce cambios en las fracciones orgánicas, que alteran la actividad biológica y la quema posterior produce pérdidas de carbono orgánico y disminución de la actividad microbiana. El objetivo fue cuantificar los cambios producidos en las fracciones orgánicas y en la actividad microbiana de un suelo del Caldenal pampeano, luego de rolado selectivo con y sin quema controlada. Los tratamientos estudiados fueron: testigo arbustiva, testigo graminoso-herbácea, rolado arbustiva, rolado graminoso-herbácea, rolado quemado-arbustiva y rolado quemado graminoso-herbácea. Para cada tratamiento se seleccionaron seis sitios y en cada uno se tomó una muestra compuesta de los 2,5 cm superficiales. Se determinó: carbono orgánico total y en fracción gruesa y fina; nitrógeno total; actividad promedio y biomasa bacteriana. El rolado aumentó el carbono total, la fracción fina y el nitrógeno respecto del testigo. Luego de la quema el carbono total y la fracción fina disminuyeron hasta no presentar diferencias con el testigo. La relación C:N disminuyó hasta valores menores al testigo luego de la quema. El rolado aumentó la respiración edáfica respecto del testigo y luego de la quema disminuyó hasta valores similares al testigo. La actividad deshidrogenasa y la respiración inducida por sustrato disminuyeron luego de la quema hasta valores significativamente menores al testigo. El rolado acumuló biomasa vegetal y generó un microambiente favorable para la actividad microbiana y la transformación de los residuos. La combustión de la materia orgánica ocasionó pérdidas de carbono total, donde la fracción fina fue la única afectada y disminuyó la actividad microbiana, especialmente en el suelo bajo combustible grueso. El rolado selectivo produjo cambios favorables en los parámetros estudiados y la quema en las condiciones realizada no produjo cambios negativos. Podría recomendarse la aplicación de estos manejos en suelos del Caldenal pero esta recomendación es parcial ya que es necesario un estudio integral de dicho ecosistema.

**Palabras clave:** fracciones de carbono, propiedades microbiológicas, rolado selectivo, quema prescripta.

## ORGANIC CARBON AND MICROBIAL ACTIVITY IN A PAMPEAN CALDENAL SOIL WITH DIFFERENT MANAGEMENT

### ABSTRACT

Roller chopping induces changes in organic fractions, which alter biological activity and subsequent burning causes losses of organic carbon and decreased microbial activity. The objective was to quantify changes produced in organic fractions and microbial activity in a Caldenal Pampean soil, after roller-chopping with or without controlled burning application. Treatments studied were: shrub control, gramineous-herbaceous control, shrub roller chopping, gramineous-herbaceous roller chopping, shrub roller copping and burnt and gramineous-herbaceous roller chopping and burnt. Six sampling plots were selected for each treatment and in each one, a composed sample of superficial 2.5 cm was taken. Then total, particulate, and mineral organic carbon contents; total nitrogen; average activity and biomass of bacterial population of the soil were determined. Roller-chopping increased the fine fraction and total carbon, and nitrogen compared to the control. After controlled burning, the total carbon and the fine fraction decreased until there were no differences with the control. The C:N ratio decreased to lower values than the control, after burning. Roller-chopping increased edaphic respiration with respect to the control

1 Facultad de Agronomía-Universidad Nacional de La Pampa. Argentina

2 Departamento de Agronomía-Universidad Nacional del Sur. Argentina

3 Departamento de Agronomía-Universidad Nacional del Sur, Comisión de Investigaciones Científicas de la Pcia. de Bs. As. Argentina

4 Autor de contacto: sofialarroulet@agro.unlpam.edu.ar

and after burning it decreased to values similar to the control. Dehydrogenase activity and substrate-induced respiration decrease after burning to significantly lower values than the control. Roller-chopping produced plant biomass accumulation and was generated a favorable microenvironment for microbial activity and residues transformation. The combustion of organic matter caused losses of total carbon, where the fine fraction was the only one affected and microbial activity decreased, especially in the soil under coarse fuel. Selective roller-chopping improved soil properties studied and the burning in the performed conditions did not produce negative changes. The application of these managements in Caldenal soils could be recommended but it is partial since an integral study of this ecosystem is necessary.

**Key words:** particle-size fractions, microbiological properties, roller-chopping, prescribed fire.

## INTRODUCCIÓN

La presencia del ganado en el bosque de caldén (*Prosopis caldenia* Burkart) contribuyó a la diseminación endozooica de su semilla. Esto sumado a la disminución de la cobertura de gramíneas por el sobrepastoreo, favoreció la implantación de leñosas y provocó la arbustización del bosque (Llorens & Frank, 2003). Como consecuencia de este proceso se produjo disminución de la productividad y una gran heterogeneidad estructural con la vegetación distribuida en parches (Morici *et al.*, 2009).

Con el fin de disminuir la densidad de leñosas, se considera la aplicación del rolado selectivo. Esta práctica permite un mayor ingreso de luz y agua al suelo, lo que origina aumentos de la biomasa herbácea (Aguilera & Steinaker, 2001) y de la broza depositada (Adema *et al.*, 2003). La eliminación de cobertura arbórea, produce muerte y descomposición de raíces, cambios en la vegetación y alteración de la superficie del suelo (Ryan *et al.*, 1992; Hannerz & Hänell, 1997). Por otra parte, la disminución del sombreado puede incrementar las temperaturas máximas de los suelos con la consiguiente modificación de la tasa de descomposición de la materia orgánica y de mineralización de nutrientes (Prescott, 2002).

Para eliminar o reducir el volumen de los residuos leñosos aplastados por el rolado es conveniente aplicar una quema controlada. Los cambios inducidos por el fuego en el agua, el suelo, la vegetación y la fauna, dependen de la intensidad y severidad del mismo y de condiciones ambientales (Zavala *et al.*, 2014). Cuando se quema material combustible concentrado, se puede dar un calentamiento severo del suelo como consecuencia de un pulso extremo de calor (Jiménez Esquilín *et al.*, 2007). Esto puede generar temperaturas de hasta 1000 °C (Kunst & Bravo, 2003)

y se puede transferir el calor a mayor profundidad (Neary *et al.*, 2005)

Entre los estudios realizados acerca del efecto del rolado sobre propiedades edáficas, se encuentra el de Martín *et al.* (2008), quienes observaron aumento del contenido de carbono orgánico en los primeros 10 cm del perfil, luego de un rolado selectivo. Otros autores no encontraron diferencias significativas en este contenido, ni en el contenido de nitrógeno total (Torres & Abril, 1996; Fontúrbel *et al.*, 2016). García *et al.* (1997) reportaron que la respiración edáfica disminuyó inmediatamente después de un rolado selectivo, y se lo atribuyen a la inmovilización temporaria de nutrientes generada por la biota heterotrófica que degrada los residuos parcialmente incorporados al suelo. En un estudio realizado por Anriquez *et al.* (2005) en la Región Chaqueña occidental, los tratamientos de rolado y quema controlada generaron un aumento de la respiración edáfica con el transcurso del tiempo y no afectaron a la actividad de la enzima deshidrogenasa. Durante una quema prescrita de pastizales naturales se encontró que disminuyeron en forma inmediata diversos grupos de microorganismos como así también la respiración edáfica (González *et al.*, 2004).

El fuego acelera la descomposición de la materia orgánica, por lo que tiene un rol perjudicial no sólo sobre ésta, sino también sobre las comunidades biológicas del suelo (Minervini *et al.*, 2018). Los efectos del fuego sobre el contenido total de materia orgánica, son muy variables. Estos pueden ir desde la casi total destrucción de la materia orgánica por aumento de la tasa de descomposición (Minervini *et al.*, 2018), hasta aumentos de casi el 30% en las capas superficiales por ingresos externos, principalmente de hojas secas y materiales de plantas parcialmente que-

mados por incendios que afectan a la copa del árbol (Larroulet *et al.*, 2016).

En el ecotono caldenal-jarillal en la Provincia de La Pampa, Adema *et al.* (2003) realizaron estudios con el objetivo de evaluar el efecto del rolado e intersiembra de una forrajera (*Panicum coloratum* var. verde) sobre la dinámica del agua del suelo y la productividad del pastizal, pero es escasa la información sobre el efecto de esta práctica de manejo y prácticas asociadas, sobre la vegetación y las propiedades edáficas del bosque de caldén.

A partir del análisis de la bibliografía surge como hipótesis de trabajo que el rolado produce cambios en las fracciones orgánicas del suelo, que alteran la actividad biológica, mientras que la quema posterior al rolado produce pérdidas de carbono orgánico y disminución de la actividad microbiana. En función de esta hipótesis se plantea como objetivo cuantificar los cambios producidos en las fracciones orgánicas y en la actividad microbiana de un suelo del caldenal pampeano, luego de un rolado selectivo con o sin quema controlada.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Sitio de estudio

Este estudio se realizó en un potrero de 75 ha ubicado en el establecimiento "Bajo Verde" perteneciente a la UNLPam (36°27' Lat. S. y 64°39' Long O), el cual se encuentra dentro del Distrito del Caldén (Caldenal) en el Departamento Toay (La Pampa). La vegetación característica es un bosque dominado por caldén (*Prosopis caldenia* Burkart) asociado a otras especies arbóreas como algarrobo (*Prosopis flexuosa*), chañar (*Geoffroea decorticans*) y sombra de toro (*Jodina rhombifolia*); al estrato arbóreo le continúa un estrato medio, presente o no, compuesto por especies arbustivas y un estrato herbáceo dominado principalmente por gramíneas (Lell, 2005).

El área posee clima templado, con temperatura media anual entre 14 y 16 °C y se encuentra entre las isohietas de 500 y 600 mm. El relieve es llano y la altitud varía entre 80 y 120 m.s.n.m. El suelo fue clasificado como Haplustol Éntico de textura franco arenosa (Larroulet *et al.*, 2016).

### Rolado selectivo y quema controlada

El rolado se realizó en noviembre de 2013 sobre 50 ha dentro del sitio de estudio. Consistió en atravesar el potrero con un rolo (cilindro de metal de 1,1 m de diámetro y 2,5 m de largo con un peso de 8500 kg) para formar callejones. El rolado generó un mosaico de vegetación similar al de una sabana, donde predominaron parches con vegetación gramínea-herbácea e isletas de árboles y arbustos.

En abril de 2015 personal de Defensa Civil de La Pampa realizó una quema controlada dentro del sitio de estudio. De las 50 ha roladadas solo fueron quemadas 25 ha. La temperatura ambiente el día de la quema fue de 22,2 °C, la humedad relativa del aire fue de 50 % y el viento soplaba en la dirección NNE a una velocidad de 1,8 km h<sup>-1</sup>. Durante la quema se alcanzó un alto de llama entre 1,20 – 1,50 m y la velocidad de propagación fue de 360 m h<sup>-1</sup>. Para determinar el rango de temperaturas que contiene a la temperatura máxima alcanzada durante la quema se colocaron (sin disturbar el terreno y en sobres de aluminio), en la superficie y a la profundidad de muestreo (2,5 cm), un conjunto de 10 crayones sensibles al calor. Cada uno de ellos funde a una temperatura específica: 52, 93, 121, 163, 204, 246, 316, 427, 538 y 649 °C. Luego de la quema se controló cuales crayones fundieron y así se estableció el rango de temperaturas dentro del cual se encontraba la temperatura máxima que alcanzó el suelo durante la quema.

Luego del rolado y la quema controlada, quedaron delimitadas dentro del potrero los siguientes manejos (25 ha cada uno): testigo sin rolado ni quema, rolado y rolado seguido de quema.

Por otra parte, en trabajos anteriores se menciona que la vegetación dominante sobre la superficie del suelo influye en su fertilidad física y química como consecuencia de un aporte diferencial de residuos vegetales y se recomienda que los estudios en suelos del caldenal se realicen con un diseño experimental que permita controlar la variabilidad ocasionada por la vegetación dominante (Hepper *et al.*, 2013). Por esto, se seleccionaron los siguientes parches de vegetación: uno dominado por especies arbustivas (A) y otro

dominado por especies graminoso-herbáceas sin influencia de caldén (GH).

### Muestreo y determinaciones de laboratorio

El muestreo de suelos se realizó, en simultáneo en todos los tratamientos, el día después de la quema en abril de 2015 (a 18 meses del rolado) para evitar las variaciones que pudieran generar las variables climáticas sobre los parámetros estudiados. Entre la quema y el muestreo no se registraron lluvias.

En el tratamiento testigo A se realizó el muestreo bajo los arbustos, en el tratamiento rolado A se realizó el muestreo debajo de las pilas de material leñoso generadas por el paso del rolo y en el rolado quemado A se realizó el muestreo del suelo luego de retirar las cenizas generadas por la quema de las pilas de material leñoso.

Dentro de cada manejo, se seleccionaron seis sitios de muestreo (25 m<sup>2</sup>) para cada parche. En cada sitio, luego de retirada la broza o las cenizas según correspondiere, se tomó una muestra compuesta de suelo (formada por seis sub-muestras) de los 2,5 cm superficiales. Las muestras fueron tamizadas por 2 mm, y acondicionadas en función de los análisis que se describen a continuación: humedad edáfica por gravimetría; carbono orgánico total por combustión seca (1500°C) con analizador automático de carbono LECO CR12 (LECO, St. Joseph, MI, USA); nitrógeno total por el método de Kjeldahl (IRAM-SAGyP 29572); fraccionamiento físico por tamaño de partícula mediante tamizado en húmedo (Duval *et al.*, 2013) obteniéndose tres fracciones: la fracción gruesa (105–2000  $\mu\text{m}$ ) que contiene carbono orgánico particulado grueso (COPg) y arenas finas a gruesas, la fracción media (53–105  $\mu\text{m}$ ) que incluye carbono orgánico particulado fino (COPf) y arena muy fina y la fracción fina (<53  $\mu\text{m}$ ) que contiene carbono orgánico asociado a la fracción mineral (COM) así como minerales de limo y arcilla. En las fracciones gruesa y media se determinó el contenido de carbono orgánico por combustión seca (1500°C) con analizador automático de carbono LECO CR12 (LECO, St. Joseph, MI, USA). El contenido de carbono en la fracción COM se calculó con la expresión:  $\text{COM} = \text{COT} - (\text{COPg} + \text{COPf})$ . La actividad

promedio y biomasa de la población bacteriana del suelo se estudiaron a partir de las siguientes determinaciones: respiración edáfica (RE) por incubación controlada y posterior determinación del CO<sub>2</sub> capturado en una solución estandarizada de NaOH (Zibilske, 1994); actividad deshidrogenasa (ADH) por reducción de 2,3,5 cloruro de tetrazolio a trifeníl formazan y detectado por espectrofotometría (Tabatabai, 1994); respiración inducida por sustrato (RIS) por agregado de solución de glucosa al suelo, incubación y posterior determinación del CO<sub>2</sub> capturado en una solución estandarizada de NaOH (Anderson & Domsch, 1975). También se calcularon la relación COT:Nt, el coeficiente de mineralización en 7 días (relación entre carbono de la biomasa microbiana y el COT) y el cociente metabólico ( $q\text{CO}_2$ , relación entre la respiración edáfica y el carbono de la biomasa microbiana).

### Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizó un diseño factorial doble, en el cual el factor manejo tuvo tres niveles: testigo, rolado y rolado seguido de quema y el factor vegetación dos niveles: arbustiva y graminoso-herbácea. Por la combinación de manejos y vegetaciones se generaron los siguientes tratamientos: testigo arbustiva (TA), testigo graminoso-herbáceo (TGH), rolado arbustiva (RA), rolado graminoso-herbáceo (RGH), rolado quemado arbustiva (RQA) y rolado quemado graminoso-herbáceo (RQGH). Se tomaron seis repeticiones al azar por cada tratamiento y cada repetición está compuesta por seis sub-réplicas. Las comparaciones entre medias de tratamientos se realizaron a través de la prueba LSD de Fisher (Kuehl, 2001). Los datos obtenidos se analizaron con el programa InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2009).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Temperaturas en la quema y humedad edáfica

La temperatura alcanzada en el suelo durante la quema es un efecto directo de esta y varía con la cantidad de combustible y la humedad edáfica, entre otros factores. En la superficie de los suelos

de los parches gramíneo-herbáceo se encontró que las temperaturas no superaron los 163°C mientras que en la de los suelos de los parches con vegetación arbustiva se alcanzaron temperaturas superiores a los 649 °C. En la **Tabla 1** se observa que no hay diferencias en la humedad edáfica de los suelos testigo para los dos tipos de vegetación estudiados, lo que significa que la humedad inicial del suelo no fue determinante de la diferente temperatura alcanzada en estos parches. Las mayores temperaturas en el tratamiento RQA se pueden atribuir a la presencia de pilas de material leñoso generadas por el paso del rolo, ya que diversos autores encontraron temperaturas en superficie de hasta 700 °C y en algunos casos hasta 1000°C en quemados de pilas de material generadas por corte previo (Kunst & Bravo, 2003; Certini, 2005; Switzer *et al.*, 2012).

A los 2,5 cm de profundidad, las temperaturas alcanzadas en RQGH no superaron los 52 °C y fueron menores que en superficie, mientras que en RQA, se alcanzaron temperaturas superiores a los 649 °C al igual que en la superficie. Esto coincide con los resultados observados por Neary *et al.* (2005) que mencionan que cuando el combustible que se quema se encuentra concentrado, por ejemplo por corte previo, se alcanzan temperaturas más altas por largos períodos de tiempo y se puede transferir el calor a mayor profundidad, hasta 40 y 50 cm por debajo de la superficie del suelo.

Los valores del contenido de humedad presentaron interacción entre manejo y parche de vegetación, lo que indica que hubo un efecto diferencial de las prácticas en función del tipo de vegetación dominante sobre el suelo. Debido

a esto se analizó el efecto de los diferentes manejos en cada parche de vegetación y se observó que en el parche GH el contenido de humedad aumento más que en el parche A por efecto del rolo (**Tabla 1**). En un trabajo realizado en el ecotono caldenal jarillal, Adema *et al.* (2003) también observaron un aumento en la humedad edáfica por efecto de esta práctica. Estos autores lo atribuyen a la reducción del escurrimiento y al aumento de la infiltración de agua en el perfil debido a que los restos de arbustos pasan a formar parte de la cobertura de broza sobre la superficie y a un aumento de la rugosidad del suelo provocado por las cuchillas del rolo. Luego de la quema la humedad edáfica disminuyó hasta valores menores que los del testigo en RQA mientras que no se observaron diferencias significativas con respecto al rolo ni al testigo en RQGH (**Tabla 1**). La disminución observada en el tratamiento RQA podría deberse a que el agua almacenada cerca de la superficie del suelo se evaporó por la energía calórica liberada durante la combustión (Larroulet *et al.*, 2016); mientras que en RQGH las temperaturas no fueron suficientemente altas como para generar diferencias significativas en los valores de humedad.

### Fracciones de carbono

El contenido de COT, sus fracciones (COPg, COPf y COM), Nt y la relación COT:Nt, no presentaron interacción entre los manejos y los parches de vegetación. Esto indica que no hubo un efecto diferencial del rolo en función del tipo de vegetación dominante sobre el suelo. El COT y la fracción COPf aumentaron por efecto del rola-

**Tabla 1:** Humedad gravimétrica, cociente metabólico ( $qCO_2$ ) y coeficiente de mineralización del carbono en 7 días en los diferentes tratamientos.

**Table 1:** Gravimetric moisture, metabolic quotient ( $qCO_2$ ) and carbon mineralization coefficient in 7 days in different treatments.

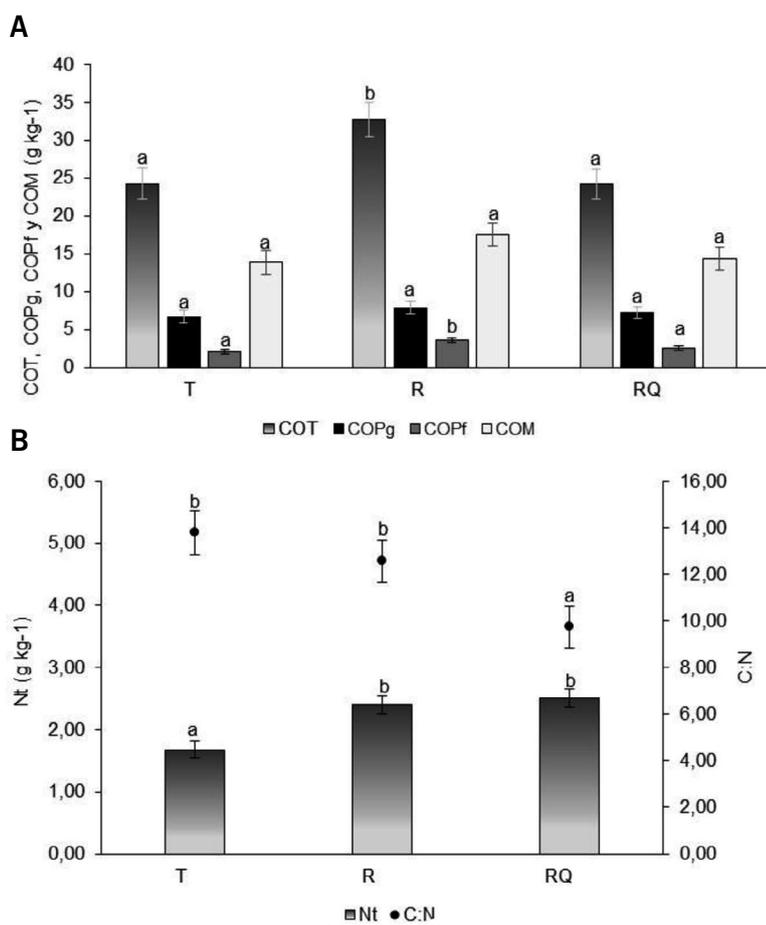
Vegetación	Humedad gravimétrica (%)			$qCO_2$			Coef. de mineralización de C en 7 días		
	Testigo	Rolado	Rolado/ Quemado	Testigo	Rolado	Rolado/ Quemado	Testigo	Rolado	Rolado/ Quemado
Gramíneo-Herbáceo	17,13±1,20 <sup>b</sup>	22,89±1,20 <sup>c</sup>	19,74±1,20 <sup>bc</sup>	0,19±0,03 <sup>a</sup>	0,35±0,03 <sup>b</sup>	0,09±0,03 <sup>a</sup>	0,19±0,01 <sup>c</sup>	0,08±0,01 <sup>a</sup>	0,15±0,01 <sup>b</sup>
Arbustivo	18,49±1,20 <sup>b</sup>	22,52±1,20 <sup>c</sup>	10,38±1,20 <sup>a</sup>	0,11±0,03 <sup>a</sup>	0,15±0,03 <sup>a</sup>	0,17±0,03 <sup>a</sup>	0,15±0,01 <sup>b</sup>	0,10±0,01 <sup>a</sup>	0,06±0,01 <sup>a</sup>
Interacción: Parche de vegetación - manejo				p < 0,05					

Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos dentro de un mismo parche de vegetación ( $p < 0,05$ ).

do (**Figura 1A**). Este resultado indica que luego de 18 meses del rolado los residuos incorporados en forma de restos de hojas, tallos y tejidos vegetales han sido transformados. También, el mayor contenido de carbono asociado a la fracción fina podría deberse al aumento observado en el contenido de humedad y a posibles diferencias en la temperatura y en el sustrato disponible, que favorecerían el secuestro de materia orgánica (Anriquez *et al.*, 2005). Luego de la quema los contenidos de COT y COPf disminuyeron respecto del rolado hasta valores que no presentaron diferencias significativas con los del testigo (**Figura 1A**). Esta disminución podría deberse a la volatilización de compuestos orgánicos, como sugieren Armas-Herrera *et al.* (2016) quienes indican que la combustión de la materia orgánica se hace importante a temperaturas de entre 200-250 °C. Los contenidos de COPg y COM no se vieron afectados por el rolado ni por la quema posterior a este (**Figura 1A**). La fracción COPg al ser fácilmente utilizable por los microorganismos del suelo puede ser más variable que COPf y no reflejar

los cambios por efecto del manejo (Duval *et al.*, 2013; Duval *et al.*, 2014; Galantini *et al.*, 2014; Galantini *et al.*, 2016). En el caso del COM es esperable que no presente cambios debido a que representa la forma más transformada y estable del material orgánico del suelo, que se encuentra químicamente protegida.

El Nt aumentó respecto del testigo por efecto del rolado (**Figura 1B**). El paso del rolo genera pilas de material proveniente de una leguminosa que se transforma en un sustrato nitrogenado de alta calidad. Además, el material acumulado genera un microambiente que favorece la actividad microbiana y acelera la descomposición de restos vegetales (Adema, 2006). Luego de la quema, no se observaron diferencias significativas en el contenido de Nt entre rolado y rolado quemado (**Figura 1B**). En el pache GH las temperaturas de quema no superaron los 52 °C, esto podría explicar el resultado anterior, ya que diversos autores indican que el nitrógeno disminuye luego en una quema controlada cuando se superan los 200 °C (Raison, 1979; Giardina



**Figura 1.** A) contenido medio de carbono orgánico total (COT), carbono orgánico particulado asociado a la fracción gruesa (COPg), carbono orgánico particulado asociado a la fracción fina (COPf) y carbono orgánico particulado asociado a la fracción mineral (COM) en los tratamientos testigo (T), rolado (R) y rolado quemado (RQ). B) contenido medio de nitrógeno total (Nt) y relación carbono nitrógeno (C:N) en los tratamientos testigo (T), rolado (R) y rolado quemado (RQ). Letras diferentes en cada variable indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0,05$ ).

**Figure 1.** A) Mean content for total organic carbon (COT), particulate organic carbon associated with coarse fraction (COPg), particulate organic carbon associated with fine fraction (COPf) and particulate organic carbon associated with mineral fraction (COM) in control (T), roller chopping (R) and roller chopping and burnt (RQ) treatments. B) Mean content for total nitrogen (Nt) and total organic carbon/total nitrogen ratio (C:N) in control (T), roller chopping (R) and roller chopping and burnt (RQ) treatments. Different letters in each variable indicate significant differences between treatments ( $p < 0,05$ ).

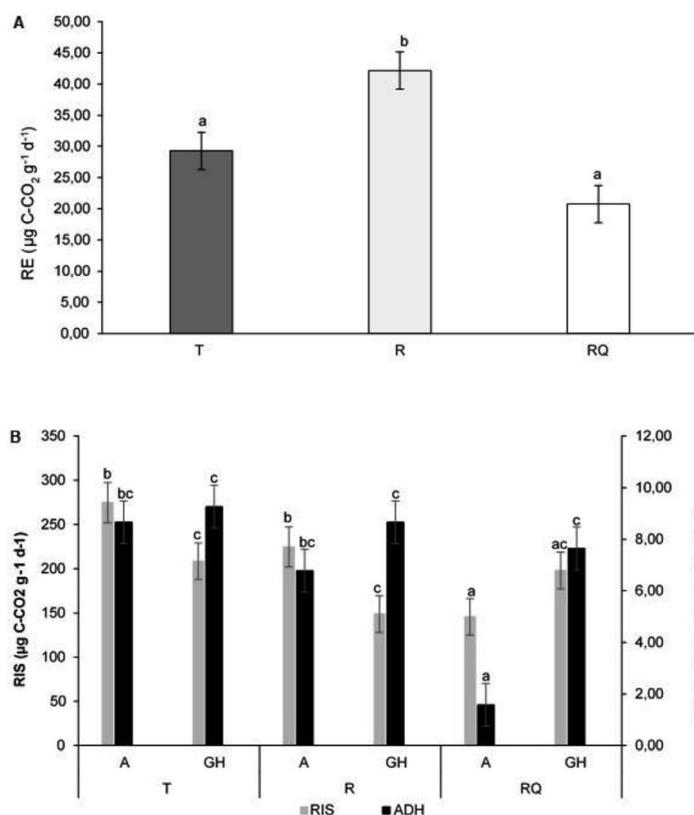
*et al.*, 2000; Mataix-Solera & Guerrero, 2007). También podría explicarse por el hecho que en el parche A las temperaturas de quema fueron superiores a los 649 °C, por lo tanto la disminución en el contenido de Nt puede deberse a que las pérdidas generadas por volatilización hayan sido compensadas por el ingreso al suelo de restos de vegetación seca y parcialmente quemada y a la incorporación de la capa de broza en forma de material particulado con un tamaño menor a 2 mm (González-Pérez *et al.*, 2004; Larroulet *et al.*, 2016). La relación C:N no se modificó por el rolado y disminuyó hasta valores menores a los del testigo luego de la quema (**Figura 1B**). Esta disminución se debería a un cambio en la calidad de la materia orgánica generado por una disminución del COT.

### Actividad microbiana

La RE no presentó interacción entre manejos y parches de vegetación y se observó un aumento por efecto del rolado (**Figura 2A**), en coincidencia con lo encontrado por Anriquez *et al.* (2005) en un estudio realizado en la Región Chaqueña occidental. El rolado incorpora al suelo residuos frescos

que aportan materiales orgánicos de mayor labilidad (Reicosky & Lindstrom, 1993; Toledo *et al.*, 2013), lo que conduce a un aumento de RE y por lo tanto a modificaciones en la tasa de descomposición de la materia orgánica y de mineralización de nutrientes (Prescott, 2002). Esto se refleja también en los aumentos de COT, COPf y Nt. Luego de la quema disminuyó la RE respecto del rolado hasta valores que no presentaron diferencias significativas con los del testigo (**Figura 2A**). Este resultado indicaría que el fuego causó una drástica reducción de los microorganismos del suelo (González-Pérez *et al.*, 2004) lo que coincide con lo planteado por González *et al.* (2004), quienes, durante una quema prescrita de pastizales naturales, encontraron que disminuyó en forma inmediata la respiración edáfica. Además, este resultado es esperable debido a que en esta quema, en RQA y en la superficie de RQGH, se alcanzaron temperaturas superiores a 100 °C y los microorganismos del suelo se ven afectados por temperaturas menores a dicho valor (Neary *et al.*, 2005).

La ADH y la RIS presentaron interacción entre parche de vegetación y manejo. En RA no se observó efecto del rolado sobre estas variables



**Figura 2.** A) valores medios de respiración edáfica (RE) en los manejos testigo (T), rolado (R) y rolado quemado (RQ). Letras diferentes indican diferencias significativas entre manejos ( $p < 0,05$ ) dentro de un mismo parche de vegetación. B) valores medios de respiración inducida por sustrato (RIS) y actividad deshidrogenasa (ADH) en suelos de los parches arbustiva (A) y graminoso-herbáceo (GH), en los manejos testigo (T), rolado (R) y rolado quemado (RQ). Letras diferentes indican diferencias significativas entre manejos dentro de un mismo parche de vegetación ( $p < 0,05$ ).

**Figure 2.** A) Mean values of edaphic respiration (RE) in control (T), roller chopping ® and roller chopping and burnt (RQ) treatments. Different letter indicates significant differences between treatments ( $p < 0.05$ ). B) Mean values of substrate-induced respiration (RIS) and dehydrogenase activity (ADH) in soils of shrubby (A) and gramineous-herbaceous (GH) patches, in control (T), rolled (R) and burned rolled (RQ) treatments. Different letters indicate significant differences between treatments within same vegetation patch ( $p < 0.05$ ).

mientras que en RQA disminuyeron significativamente hasta valores menores que los del testigo (**Figura 2B**). Por otra parte, en RGH y RQGH, estas variables no se modificaron (**Figura 2B**). La disminución en la ADH en RQA puede relacionarse con el hecho de que, a la profundidad de muestreo, se alcanzaron temperaturas superiores a los 649 °C y según lo planteado por diversos autores la actividad enzimática disminuye por efecto del calor húmedo a temperaturas superiores a los 60 °C (Albanesi & Anriquez, 2003; Acosta & Paolini, 2005). El resultado observado en RQGH puede explicarse porque a la profundidad de muestreo las temperaturas fueron inferiores a los 52 °C, motivo por el cual es posible que no se hayan afectado las poblaciones microbianas. El resultado de RIS en el parche A indicaría una disminución en el tamaño de la biomasa microbiana, ya que la tasa de respiración máxima inicial inducida por la glucosa es proporcional al tamaño de la biomasa microbiana original del suelo (Anderson & Domsch, 1978). Esta disminución podría deberse a que la mortalidad microbiana es mayor en condiciones de humedad que en suelos secos (humedad del suelo el día de la quema 18,49%), ya que los microorganismos son más sensibles al calor húmedo (Mataix-Solera *et al.*, 2009). Esto puede deberse a una mayor efectividad de la penetración y más rápida diseminación del calor (Guo *et al.*, 2015), debido a que el agua tiene un mayor calor específico que el aire por lo que absorbe mayor cantidad de calor y a su vez es un mejor conductor del calor de lo que son los materiales sólidos del suelo (Larroulet *et al.*, 2016).

En los valores de  $qCO_2$  se observó un efecto diferencial de los manejos entre los parches de vegetación. No se observaron cambios en el  $qCO_2$  en RA pero en RGH se encontró un aumento de este cociente (**Tabla 1**). Este aumento puede deberse a un mayor gasto de carbono para respiración que su acumulación como biomasa (Visser & Parkinson, 1992; Sánchez de Prager *et al.*, 2006). En RQA, el  $qCO_2$  no se modificó (**Tabla 1**), lo que puede deberse a que tanto RIS como RE disminuyeron, probablemente en forma proporcional, de manera tal que no se llegan a observar cambios en este cociente. En RQGH

se encontró una disminución de  $qCO_2$  respecto del rolado hasta llegar a valores que no fueron significativamente diferentes a los del testigo (**Tabla 2**), lo que puede atribuirse a la disminución en RE generada por un efecto esterilizador de la quema.

El coeficiente de mineralización en 7 días presentó interacción entre parche de vegetación y manejo (**Tabla 1**). El rolado produjo una disminución en ambos tipos de vegetación respecto del testigo, pero esa disminución fue más pronunciada en el parche gramíneo-herbáceo (**Tabla 1**). Esto puede deberse a que hay acumulación de C dada por un aporte de C orgánico al suelo (Ferrerías *et al.*, 2009). Además, podría indicar que se produce una alta mineralización de materia orgánica por parte de la biomasa microbiana para mitigar las demandas energéticas (Anriquez *et al.*, 2005). Luego de la quema se observó, en el suelo con vegetación GH, un aumento de este coeficiente respecto del rolado, pero con valores aun significativamente menores a los del testigo (**Tabla 1**). Este aumento respecto del rolado puede deberse a la pérdida de COT generada por la quema. En RQA el valor de este coeficiente fue menor que en el testigo y no presentó diferencias estadísticamente significativas con RA (**Tabla 1**), es decir, que solo el rolado produjo una modificación en este coeficiente. El hecho de no encontrar diferencias en RA y RQA puede deberse a que tanto RIS como COT disminuyeron en la misma proporción por efecto de la quema.

## CONCLUSIONES

El rolado acumuló biomasa vegetal sobre el suelo lo que generó un microambiente, con aumento de la humedad edáfica, que favoreció la actividad microbiana y por lo tanto la transformación de los residuos frescos incorporados. Esto se refleja en el aumento del contenido de nitrógeno y de carbono particulado fino.

La combustión de la materia orgánica durante la quema ocasionó pérdidas de carbono total, donde la fracción de carbono orgánico particulado fino fue la única afectada. Asimismo, disminuyó la actividad microbiana, especialmente en el suelo bajo pilas de combustible grueso.

El rolado selectivo produjo cambios favorables en los parámetros del suelo estudiados, por lo que podría recomendarse la aplicación de este manejo en suelos del caldenal pampeano. Esta práctica no debería aplicarse sola ya que, en observaciones a campo se determinó que luego de un tiempo de aplicada se dificulta el tránsito de hacienda, personal y el acceso al forraje. Con el fin de eliminar o reducir el volumen de los residuos leñosos aplastados, podría aplicarse una quema controlada como práctica complementaria al rolado, la cual en las condiciones realizadas en este estudio no produce cambios negativos en las propiedades del suelo estudiadas. De todos modos, estas recomendaciones son parciales ya que es necesario un estudio integral del ecosistema del caldenal.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de La Pampa. El trabajo a campo se llevó a cabo en un predio perteneciente a dicha Universidad. Los autores agradecen la realización de la determinación de carbono orgánico total y de sus fracciones, al Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur.

## BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, Y & J Paolini. 2005. Actividad de la enzima deshidrogenasa en un suelo Calciorthids enmendado con residuos orgánicos. *Agron. Trop.* 55(4):217-232.
- Adema, EO; DE Buschiazzo; FJ Babinec; T Rucci & BF Gómez Hermida. 2003. Balance de agua y productividad de un pastizal rolado en Chacharramendi, La Pampa. <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-publi50.pdf>.
- Adema, E. 2006. Recuperación de pastizales mediante rolado en el Caldenal y en el Monte Occidental. <https://inta.gob.ar/documentos/recuperacion-de-pastizales-mediante-rolado-en-el-caldenal-y-en-el-monte-occidental>.
- Aguilera, M & D Steinaker. 2001. Rolado y siembra en arbustales semiáridos de San Luis. En: JL Panigatti; DE Buschiazzo & H Marelli (Eds.). *Siembra Directa II*. Pp. 289-302. Ediciones INTA.
- Albanesi, A & A Anriquez. 2003. El Fuego y el suelo. En: CR Kunst; S Bravo & JL Panigatti (Eds.). *Fuego en los ecosistemas argentinos*. Pp 47-59. Ediciones INTA.
- Anderson, JPE & KH Domsch. 1975. Measurement of bacterial and fungal contributions to respiration of selected agricultural and forest soils. *Can. J. Microbiol.* 21:314-322.
- Anderson, JPE & KH Domsch. 1978. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biol. Biochem.* 10(3):215-221.
- Anriquez, A; A Albanesi; C Kunst; R Ledesma; C López; A Rodríguez Torresi & J Godoy. 2005. Rolado de fachinales y calidad de suelos en el Chaco Occidental, Argentina. *Cienc. Suelo.* 23(2):145-157.
- Armas-Herrera, CM; C Martí; D Badía; O Ortiz-Perpiñá; A Girona-García & J Porta. 2016. Immediate effects of prescribed burning in the Central Pyrenees on the amount and stability of topsoil organic matter. *Catena.* 147:238-244.
- Certini, G. 2005. Effects of fire on properties of forest soils: A review. *Oecologia.* 143(1):1-10.
- Di Rienzo, J; Casanoves, F; Balzarini, M; Gonzales, L; Tablada, M & Robledo, C. InfoStat versión 2009. Grupo InfoStat. FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Duval, ME; JA Galantini; JO Iglesias; S Canelo; JM Martínez & L Wall. 2013. Analysis of organic fractions as indicators of soil quality under natural and cultivated systems. *Soil Till. Res.* 131:11-19.
- Duval, ME; E De Sa Pereira; JO Iglesias & JA Galantini. 2014. Efecto de uso y manejo del suelo sobre las fracciones de carbono orgánico en un argiudol. *Cienc. Suelo.* 32(1):105-115.
- Ferreras, L; S Toresani; B Bonel; E Fernández; S Bacigalupo; V Faggioli & C Beltrán. 2009. Parámetros químicos y biológicos como indicadores de calidad del suelo en diferentes manejos. *Cienc. Suelo.* 27(1):103-114.
- Fontúrbel, MT; C Fernández & JA Vega. 2016. Prescribed burning versus mechanical treatments as shrubland management options in NW Spain: Mid-term soil microbial response. *Appl. Soil Ecol.* 107:334-346.
- Galantini, JA; ME Duval; JO Iglesias & H Kruger. 2014. Continuous wheat in semiarid regions long-term effects on stock and quality of soil organic carbon. *Soil Sci.* 179(6):284-292.
- Galantini, JA; ME Duval; J Martínez; V Mora; R Baigorri & J García-Mina. 2016. Quality and quantity of organic fractions as affected by soil depth in an Argiudoll under till and no-till systems. *Int. J. Plant Soil Sci.* 10(5):1-12.
- García, C; T Hernández; A Roldán & J Albaladejo. 1997. Biological and biochemical quality of a semiarid soil after induced revegetation. *J. Environ. Qual.* 26:1116-1122.
- Giardina, CP; RL Sanford & IC Døckersmith. 2000. Changes in soil phosphorus and nitrogen during slash-and-burn clearing of a dry tropical forest. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64(1):399-405.

- González, C; A Abril & JJ Vollenweider. 2004. Efecto de una quema prescrita de pastizales nativos sobre los procesos biológicos del suelo. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 24(3-4):207-215.
- González-Pérez, JA; FJ González-Vila; G Almendros & H Knicker. 2004. The effect of fire on soil organic matter - A review. *Environ. Int.* 30(6):855-870.
- Guo, J; G Chen; J Xie; Z Yang & Y Yang. 2015. Effect of heat-disturbance on microbial biomass carbon and microbial respiration in Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) forest soils. *J. For. Res.* 26(4):933-939.
- Hannerz, M & B Hånell. 1997. Effects on the flora in Norway spruce forests following clearcutting and shelterwood cutting. *Forest Ecol. Manag.* 90:29-49.
- Hepper, EN; MS Larroulet; V Belmonte & AM Urioste. 2013. Propiedades edáficas de un suelo del caldenal pampeano en parches con diferente vegetación. *Rev. Fac. Agron. UNLPam.* 23(2):5-15.
- IRAM (Instituto Argentino de Normalización y Certificación - Secretaría de Agricultura Ganadería y Pesca). 2018. Norma 29572: Calidad ambiental - Calidad del suelo. Determinación de nitrógeno en suelo por el método Kjeldahl modificado. CABA, Argentina. IRAM-SAGyP. 32 p.
- Jiménez Esquilín, AE; ME Stromberger; WJ Massman; JM Frank, J. M & WD Shepperd. 2007. Microbial community structure and activity in a Colorado Rocky Mountain forest soil scarred by slash pile burning. *Soil Biol. Biochem.* 39(5):1111-1120.
- Kuehl, R. 2001. Diseño de experimentos. 2º edición. Thompson and Learning. México. 666 pp.
- Kunst, C & S. Bravo. 2003. Fuego, calor y temperatura. En: C. Kunst; S. Bravo & J. L. Panigatti (Eds.). *Fuego en los ecosistemas argentinos*. Pp. 39-45. Ediciones INTA.
- Larroulet, MS; EN Hepper; MP Álvarez Redondo; V Belmonte & AM Urioste. 2016. The Caldenal ecosystem: Effects of a prescribed burning on soil chemical properties. *Arid Land Res. Manag.* 30(1):105-119.
- Lell, JD. 2005. El Caldenal: una visión panorámica del mismo enfatizando en su uso. En: J. F. Goya; J. L. Frangi & M. F. Arturi (Eds.). *Ecología y Manejo de Los Bosques de Argentina*. EDULP. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/15915>.
- Llorens, EM & EO Frank. 2003. El fuego en la provincia de La Pampa. En: C. Kunst; S. Bravo & J. L. Panigatti (Eds.). *Fuego en los ecosistemas argentinos*. Pp. 259-268. Ediciones INTA.
- Martín, J; E Adema; S Aimar & F Babinec. 2008. Efecto del rolado sobre propiedades fisicoquímicas del suelo en el ecotono Caldenal-Monte Occidental. [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-efectos\\_del\\_rolado\\_sobre\\_propiedades\\_.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-efectos_del_rolado_sobre_propiedades_.pdf).
- Mataix-Solera, J & C Guerrero. 2007. Efectos de los incendios forestales en las propiedades edáficas. En: J. Mataix-solera (Ed.). *Incendios Forestales, Suelos y Erosión Hídrica*. 1ª Edición. Pp. 5-40. CEMACAM.
- Mataix-Solera, J; C. Guerrero; F García-Orenes; G Bárcenas & M Torres. 2009. Forest Fire Effects on Soil Microbiology. En: A. Cerdà & P. R. Robichaud (Eds.). *Fire Effects on Soils and Restoration Strategies*. Pp. 133-175. Science Publisher.
- Minervini, MG; HJM Morrás & MA Taboada. 2018. Efectos del fuego en la matriz del suelo. Consecuencias sobre las propiedades físicas y mineralógicas. *Ecol. Austral.* 28:12-27.
- Morici, EFA; V Doménech-García; G Gómez-Castro; A Kin; A Saenz & C Raboutnikof. 2009. Diferencias estructurales entre parches de pastizal del caldenal y su influencia sobre el banco de semillas, en la provincia de La Pampa, Argentina. *Agrociencia.* 43(5):529-537.
- Neary, DG; KC Ryan & LF DeBano. 2005. *Wildland Fire in Ecosystems*. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-42-vol.4. Ugdén, UT.
- Prescott, CE. 2002. The influence of the forest canopy on nutrient cycling. *Tree Physiology.* 22:1193-1200.
- Raison, RJ. 1979. Modification of the soil environment by vegetation fires, with particular reference to nitrogen transformations: a review. *Plant and Soil.* 51:73-108.
- Reicosky, DC & MJ Lindstrom. 1993. Fall tillage method: Effect on short-term carbon dioxide flux from soil. *Agron. J.* 85:1237-1243.
- Ryan, DF; TG Huntington & C Wayne Martin. 1992. Redistribution of soil nitrogen, carbon and organic matter by mechanical disturbance during whole-tree harvesting in northern hardwoods. *For. Ecol. Manag.* 49:87-99.
- Sánchez de Prager, M; A Rojas; J Pérez; O Zúñiga & JM Gasco. 2006. Actividad y biomasa microbianas como indicadores de materia orgánica en sistemas de cultivo de maracuyá (*Passiflora edulis*) en Toro, Valle del Cauca, Colombia. *Acta Agron.* 55(4):7-12.
- Switzer, JM; GD Hope; SJ Grayston & CE Prescott. 2012. Changes in soil chemical and biological properties after thinning and prescribed fire for ecosystem restoration in a Rocky Mountain Douglas-fir forest. *For. Ecol. Manag.* 275:1-13.
- Tabatabai, MA. 1994. Soil Enzymes. En: A. L. Page; R. H. Miller & D. R. Keeney (Eds.). *Methods of soil analysis. Part 2: Chemical and Microbiological properties*. 2ª Edición. Pp. 775-833. ASA and SSSA. Wisconsin, USA. 1121 pp.
- Toledo, DM; JA Galantini; E Ferreccio; S Arzuaga; L Gimenez & S Vázquez. 2013. Indicadores e índices de calidad en suelos rojos bajo sistemas naturales y cultivados. *Cienc. Suelo.* 31(2):201-212.

- Torres, P & A Abril. 1996. Dinamica microbiana de un suelo de Chaco. *Cienc. Suelo*. 14:30–36.
- Visser, S & D Parkinson. 1992. Soil biological criteria as indicators of soil quality: Soil microorganisms. *American Journal of Alternative Agriculture*. 7(1–2):33–37.
- Zavala, LM; R de Celis & A Jordán. 2014. How wildfires affect soil properties. *Cuadernos de Investigación Geográfica*. 40(2):311–331.
- Zibilske, LM. 1994. Carbon Mineralization. En: A. L. Page; R. H. Miller & D. R. Keeney (Eds.). *Methods of soil analysis. Part 2: Chemical and Microbiological properties*. 2ª Edición. Pp. 835-863. ASA and SSSA. Wisconsin, USA. 1121 pp.