

SISTEMA SILVOPASTORIL CON DIFERENTES COBERTURAS ARBÓREAS HABILITADO POR ROLADO DE BAJA INTENSIDAD. IMPACTO EN GLOMALINAS Y FRACCIONES DE CARBONO DEL SUELO

ANALÍA LILIANA ANRIQUEZ¹; SUSANA ARIAS¹; JUAN EDUARDO SILBERMAN¹⁻²; JOSÉ ALFONSO DOMÍNGUEZ NÚÑEZ³; CARLOS GUILLERMO KUNST⁴ & ADA SUSANA ALBANESI^{1*}

Recibido: 18-04-15

Recibido con revisiones: 13-10-15

Aceptado: 13-10-15

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del rolado de baja intensidad en indicadores biológicos y bioquímicos de calidad del suelo, utilizado para habilitar un bosque secundario en un sistema silvopastoril (SSP) con siembra de *Panicum maximum* var. Gatton panic y sometido a pastoreo controlado (RBIs) en Santiago del Estero, Argentina bajo coberturas arbóreas de *Ziziphus mistol* (M); *Aspidosperma quebracho blanco* (Qb), *Schinopsis lorentzii* (Qc) y suelo sin cobertura arbórea (D). Las variables evaluadas fueron carbono orgánico total (COT), carbono orgánico particulado (COP), carbono de la biomasa microbiana (Cbm), las relaciones COP: COT y Cbm:COT, glomalinas totales (GT) y fácilmente extraíbles (GFE). Para estudiar la relación entre tratamientos, cobertura y variables de suelo se realizó ANOVA, test de Duncan para la comparación de medias ($\alpha = 0,05$) y análisis de componentes principales (ACP). El SSP con siembra de gatton panic (RBIs) no modificó las variables evaluadas. La cobertura arbórea modificó las variables evaluadas de tal manera que en áreas sin cobertura se registró una disminución importante y aumentaron bajo cobertura arbórea de Qc, Qb y aún más de M. Los valores medios de la relación Cbm:COT promediaron un 2% evidenciando que la biota del suelo tiene una baja eficiencia metabólica, propia de los ambientes semiáridos.

Palabras clave. Biomasa microbiana, región Chaqueña, cobertura arbórea.

SILVOPASTORAL SYSTEM ENABLE BY A LOW INTENSITY ROLLING WITH DIFFERENT TREE COVER. IMPACT ON GLOMALINAS AND SOIL CARBON FRACTIONS

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the effect of low intensity rolling on biological and biochemical indicators of soil quality in a silvopastoral system (SSP) planted with *Panicum maximum* var. Gatton panic (RBIs) subjected to controlled grazing, under tree covers (*Ziziphus mistol* (M); *Aspidosperma quebracho blanco* (Qb), *Schinopsis lorentzii* (Qc)) and a bare soil (D) in Santiago del Estero, Argentina. We measure total organic carbon (TOC), particulate organic carbon (POC), microbial biomass carbon (Cbm), POC:TOC and Cbm:TOC ratio, total glomalin (GT) and easily extractable glomalin (GFE) in bare soil, without any vegetation cover (D) and soil under M; Qb and Qc canopies. ANOVA and a principal component analysis (PCA) were performed in order to study the relationship between treatments, coverage and soil variables. The SSP planting Gatton panic (RBIs) did not modify the evaluated variables. In areas without coverage, it was registered a significant decline in all the evaluated variables and it was observed a significant increase of these variables under tree cover, especially under M treatment. The mean value of CBM:COT relationship was 2% showing that soil biota has a low metabolic efficiency, typical of semi-arid environments.

Key words. Microbial biomass, Chaco region, tree cover.

1 FAyA UNSE

2 CONICET

3 UPM España

4 EEA INTA Sgo del Estero

*Autor de contacto: albanesi@unse.edu.ar

INTRODUCCIÓN

La calidad del suelo es dinámica y puede cambiar en el corto plazo de acuerdo con las características específicas del mismo, las condiciones ambientales, el uso y las prácticas de manejo. Para conservarla es necesario implementar diferentes prácticas sustentables de manejo según cada situación particular (Navarrete Segueda *et al.*, 2011).

En la Región Chaqueña la tala indiscriminada y el sobrepastoreo generaron grandes áreas con alta densidad de leñosas espinosas y baja productividad de herbáceas para la producción ganadera (Kunst *et al.*, 2012).

Una de las prácticas sustentables que se proponen para la habilitación de los bosques secundarios degradados es la práctica del rolado de baja intensidad (RBI) para implementar sistemas silvopastoriles (Kunst *et al.*, 2012) que integran árboles y pasturas y generan ambientes más estables y diversos que los cultivos monofíticos y de mayor productividad (Ramachandran *et al.*, 2010). El rolado de baja intensidad consiste en el pasaje del rolo de metal de bajo peso con un mínimo número de pasadas que aplasta y corta de forma selectiva el estrato arbustivo y deja el componente arbóreo brindando cobertura protectora al suelo, pasturas y animales lo cual permite un mayor ingreso de luz y agua que genera importantes aumentos en la biomasa herbácea y una mayor oferta y calidad de forraje de las especies herbáceas nativas y más aún cuando se incorporan especies exóticas megatérmicas como *Panicum maximum* var Gaton panic (Kunst *et al.*, 2012). Debajo de la copa de los árboles existe un mayor rendimiento de materia seca de *P. maximum* y un mayor contenido de nutrientes especialmente C y N en suelos mientras que el pastoreo intensivo tiene un fuerte efecto contrarrestando las influencias positivas de las plantas leñosas.

La importancia de las plantas leñosas en sistemas silvopastoriles de regiones semiáridas está relacionada a la reducción de pérdida de agua y nutrientes (Silva *et al.*, 2011; Abule *et al.*, 2005) y al mayor potencial para secuestrar carbono orgánico que plantas herbáceas ya que los árboles contribuyen con una mayor proporción de C estabilizado (Lorenz & Lal, 2014).

El C orgánico del suelo (COS) es el principal componente de la materia orgánica y juega un rol trascendental en el mantenimiento de la calidad de los suelos. Dentro de la fracción de mayor labilidad, la fracción particulada constituida por material orgánico más joven y activo del suelo y la biomasa microbiana juegan un papel muy importante en el ciclo de los nutrientes (Galantini & Suñer, 2008).

La biomasa microbiana constituye entre el 1 y 3% del C total del suelo y la disponibilidad de nutrientes y la productividad de los agroecosistemas dependen principalmente del tamaño y de la actividad de la misma (Moore *et al.*, 2000).

Dentro de la biomasa microbiana se encuentran entre otros microorganismos, los hongos formadores de micorrizas arbusculares, que aportan carbono orgánico procedente de su masa miceliar extrarradical y producen glicoproteínas denominadas glomalinas las cuales contienen un alto porcentaje de carbono orgánico (Rillig *et al.*, 2003; Schindler *et al.*, 2007) que es incorporado directamente al suelo mediante la descomposición de los propágulos fúngicos (Driver *et al.*, 2005). Las glomalinas se asocian directamente con la estabilidad de los agregados del suelo por su naturaleza insoluble y su alta resistencia a la descomposición (Rillig *et al.*, 2001).

El rolado selectivo de baja intensidad con siembra de pasturas (RBIs) modifica la estructura de la comunidad vegetal y por ende la producción primaria (Kunst *et al.*, 2012). Los cambios en la composición de la vegetación pueden producir cambios sustanciales en la dinámica de los ciclos biogeoquímicos ya que las especies vegetales y los factores abióticos ejercen influencia en las propiedades del suelo determinando la calidad del mismo, especialmente en regiones áridas y semiáridas (Carranza *et al.*, 2012).

El objetivo fue evaluar glomalinas, biomasa microbiana, carbono particulado y carbono orgánico total como indicadores de calidad de la materia orgánica del suelo en un sistema silvopastoril con cinco años de habilitación a partir de un monte degradado mediante rolado de baja intensidad y sometido a pastoreo controlado en Santiago del Estero, Chaco Semiárido Argentino, bajo diferentes coberturas arbóreas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área y Diseño Experimental

El estudio se realizó en el Campo Experimental "La María", perteneciente a la Estación Experimental Agropecuaria del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria de Santiago del Estero, Argentina (28°3' S y 64°15' O). El clima es semiárido subtropical, con una precipitación anual promedio de 574 mm y régimen monzónico. El suelo fue clasificado como Haplustol éntico, en el horizonte superficial (0-0,30 m) presenta pH 6,4, densidad aparente de 0,9 g cm⁻³, textura franco limosa, estructura en bloques sub angulares y granular.

La vegetación es de bosque secundario caracterizado por una comunidad vegetal dominada por especies arbustivas

espinosas de géneros tales como *Prosopis*, *Acacia*, *Celtis*, *Schinus*, *Larrea* y especies arbóreas como *Aspidosperma quebracho-blanco* Schl., *Schinopsis lorentzii* Griseb., *Prosopis* spp., *Zizyphus mistol* Griseb (Kunst *et al.*, 2012).

En el año 2006 se establecieron parcelas experimentales de 2,5 ha cada una, completamente aleatorizadas con dos repeticiones por tratamiento, siendo:

T. Testigo: bosque secundario con una densidad de leñosas mayor a 2000 tallos ha⁻¹.

SSP. Sistema silvopastoril implementado con RBI: Dos pasadas de rolo con un peso de 3000 kg a 45° con siembra simultánea de 5 kg ha⁻¹ de *Panicum maximum* var Gattton panic en 2006, más un pastoreo controlado por año (E.V. 1,1 ha⁻¹) en agosto de 2007, 2008, 2009, 2010 y 2011.

Como subtratamientos se estudió el efecto de la cobertura arbórea clasificada en: **D.** suelo sin cobertura arbórea; **M.** suelo bajo cobertura de *Zizyphus mistol* (mistol); **Qb.** suelo bajo cobertura de *Aspidosperma quebracho blanco* (quebracho blanco) y **Qc.** suelo bajo cobertura de *Schinopsis lorentzii* (quebracho colorado). Las especies arbóreas mencionadas difieren en calidad y cantidad de residuos aportados así como en período de senescencia.

En agosto de 2011 se tomaron 3 muestras compuestas de suelo (n=3) a 15 cm de profundidad para cada cobertura (n=4) y en cada tratamiento (n=2). Las muestras fueron secadas al aire y tamizadas por tamiz de 2 mm.

Determinaciones analíticas

Carbono orgánico total (COT) (Nelson & Sommers, 1982), determinado por espectrofotometría a 590 nm. Los resultados se expresaron en g C kg⁻¹ suelo.

Carbono orgánico particulado (COP) determinado en la fracción de partículas comprendida entre los 2000 y 53 µm separadas mediante tamizado en húmedo (Cambardella & Elliott, 1992) por espectrofotometría a 590 nm. Los resultados se expresaron en g C kg⁻¹ de suelo seco.

Se calculó la relación COP: COT, indicador indirecto del efecto de diferentes manejos que modifican el aporte de carbono o su velocidad de descomposición (Galantini & Suñer, 2008).

Carbono de la biomasa microbiana (Cbm) por el método de fumigación extracción (Vance *et al.*, 1987) y espectrofotometría a 590 nm. Los resultados se expresaron en mg C kg⁻¹ de suelo.

Se calculó la relación Cbm:COT, que representa la proporción de COT contenido en la biomasa microbiana y se considera un indicador indirecto para monitorear cambios de la materia orgánica en el suelo en la conversión de ecosistemas naturales a sistemas agroforestales (Gomez *et al.*, 2008).

Glomalinas totales, fracción más recalcitrante (GT), y fácilmente extraíbles, fracción más lábil débilmente unida a las partículas del suelo (GFE) (Wright & Upadhyaya, 1996; González-

Chavez *et al.*, 2004). La extracción se realizó con citrato de sodio 50 mM en autoclave a 121°C por ciclos de 60 minutos y centrifugación, repitiéndose la extracción hasta la desaparición del color café-rojizo típico de la glomalina (se utilizó el primer extracto para determinar GFE). La cuantificación se realizó por espectrofotometría a 595 nm utilizando el método de Bradford basado en el cambio de color del colorante *Coomassie brilliant blue G-250* en respuesta a diferentes concentraciones de proteínas (Wright & Upadhyaya, 1996).

Análisis estadístico

Todas las variables fueron analizadas mediante ANOVA cuyas fuentes de variación fueron tratamiento y cobertura, previa verificación de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. Se utilizó test de Duncan para la comparación de medias ($\alpha = 0,05$). Para estudiar la relación entre las coberturas del SSP y las variables de suelo se realizó un análisis de componentes principales (ACP) y de conglomerados. Todos los análisis se realizaron utilizando el paquete estadístico InfoStat versión 2008p (Di Rienzo *et al.*, 2008).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Carbono orgánico total (COT), carbono particulado (COP) y relación COP:COT

El COT y el COP no revelaron diferencias entre tratamientos y solo registraron diferencias significativas entre coberturas ($p=0,016$ y $p=0,022$, respectivamente) (Tabla 1). En COT las magnitudes variaron entre 10,18 y 31,18 g C kg⁻¹ y en COP entre 7,73 a 26,65 g C kg⁻¹.

Los menores valores medios de COT y COP se registraron en el suelo sin cobertura y los mayores valores en suelo bajo cobertura arbórea. Estos resultados coinciden con Hudak *et al.* (2003), quienes encontraron en otras regiones semiáridas, mayores valores de COT en suelos bajo cobertura de leñosas debido a que la vegetación contribuye en gran medida a la formación de materia orgánica del suelo ya que constituye el principal material originario de la misma mediante la formación de una capa de residuos orgánicos (mantillo), compuesta de hojas, ramas, raíces, etc.

En los bosques del Chaco, la caída de hojarasca ocurre a lo largo de todo el año. Sin embargo, la cantidad es baja y varía según las características estructurales del bosque (Montero *et al.*, 2011) siendo superior en las áreas de dosel cerrado con mayor abundancia de arbustos e inferior en las áreas de dosel semi cerrado o abierto. Para bosques de la región chaqueña húmeda se registró que el aporte por

Tabla 1. Carbono orgánico total (COT), carbono particulado (COP), carbono de la biomasa microbiana (Cbm) y relaciones COP:COT y Cbm:COT en suelo bajo cobertura de *Schinopsis lorentzii* (Qc), *Aspidosperma quebrachoblanco* (Qb), *Zizyphus mistol* (M) y sin cobertura (D).

Table 1. Total organic carbon (COT), particulate organic carbon (COP), microbial biomass carbon (Cbm) and relationships COP:COT and Cbm:COT in soil under coverage *Schinopsis lorentzii* (Qc), *aspidosperma quebrachoblanco* (Qb), *Zizyphus mistol* (M) and without cover (D).

Cobertura	COT(g C*kg ⁻¹)	COP(g C*kg ⁻¹)	Cbm(ug C g suelo ⁻¹)	COP:COT	Cbm:COT(%)
D	10,18 a	7,73 a	237,19 a	0,76 a	2,35 a
Qc	23,78 b	20,65 b	461,78 a	0,87 a	2,00 a
Qb	23,83 b	20,55 b	445,46 a	0,87 a	1,83 a
M	31,18 b	26,65 b	379,16 a	0,83 a	1,09 a

mantillo del quebracho colorado es de 380 kg ha⁻¹ año (Barberis *et al.*, 2012) y no hay registro sobre el aporte del Quebracho blanco y del Mistol.

El COT en este ambiente depende del aporte del mantillo y de la protección de la canopia por lo que la falta de cobertura (D) se traduce en una disminución de COT por la falta de aporte de mantillo y por el excesivo calentamiento, con la consecuente estimulación de la mineralización del C, la formación de compuestos de más labilidad y la menor protección a la degradación microbiana (Albanesi *et al.*, 2003).

El mayor contenido medio de COP bajo cobertura arbórea implica que existe más cantidad de C asociado a macroagregados grandes y medianos más desprotegidos de la acción microbiana (Cambardella & Elliot, 1992). Este resultado indica la importancia de los aportes anuales y consecutivos de materia seca aérea y radical que según Galantini *et al.* (2008) implicarían una mayor contribución al reciclado de nutrientes de las fracciones lábiles que constituyen una fuente de energía y nutrientes de fácil acceso para los microorganismos saprófitos responsables de dicha transformación.

El menor valor medio de COP se registró en D ya que el incremento de COP está en relación directa con los aportes anuales de los residuos de la vegetación por lo que la ausencia de cobertura vegetal disminuye el C en superficie y afecta la dinámica del COP (Álvarez & Steinbach, 2006).

La relación COP:COT no registró diferencias estadísticas significativas entre tratamiento, cobertura ni en la interacción tratamiento*cobertura y varió entre 76 a 87%, evidenciando que la mayor cantidad de C está fácilmente disponible para la degradación microbiana, coincidiendo con

García Oliva *et al.* (1999) quienes indicaron que en suelos forestales el 80% del C está asociado al COP. En este trabajo el carbono orgánico asociado a limos y arcillas (como resultado de la diferencia entre COT y COP) varió entre 2,45 a 4,53 g C kg⁻¹ es decir que la materia orgánica humificada o que forma un complejo órgano minerales escasa, por lo que se debería evitar la rápida pérdida del COP para el mantenimiento del sistema (Videla *et al.*, 2008).

Carbono de la Biomasa Microbiana (Cbm) y relación Cbm:COT

El Cbm no registró diferencias significativas en ninguna fuente de variación considerada. Se observaron mayores valores bajo cobertura arbórea y menores en D, evidenciando que el manejo de la cobertura del suelo influye en los microorganismos y los procesos microbianos del suelo por la cantidad y calidad de los residuos vegetales aportados, la estacionalidad del aporte y la distribución espacial (Christensen *et al.*, 1994; Kandeler *et al.*, 1999).

La relación Cbm:COT no registró diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, cobertura ni en la interacción tratamiento*cobertura. Los resultados indican que el SSP y las coberturas no modifican la eficiencia metabólica de la biota del suelo, es decir la eficiencia de los microorganismos para formar biomasa a expensas del COT. Los valores medios de la relación Cbm:COT promedió en un 2% (Tabla 1). Estos valores se encontraron dentro de los valores informados en la bibliografía (Moore *et al.*, 2000), que señala que alrededor del 1 al 3% del carbono total del suelo es biomasa microbiana. La biota de estos suelos presenta una baja eficiencia metabólica, por lo que refleja también una baja contribución de la biomasa microbiana al C orgánico del suelo, propio de los ambientes semiáridos.

Glomalinas

Las glomalinas totales (GT) y fácilmente extraíbles (GFE) no registraron diferencias significativas entre tratamientos, lo que evidencia que el SSP obtenido con RBIs no afectó a las mismas. Esto podría deberse al bajo impacto de la práctica sobre el componente arbóreo concordando con Driver *et al.* (2005) quienes reportan que los niveles de glomalinas serían superiores en ecosistemas forestales que en agroecosistemas, posiblemente debido al incremento en la velocidad de descomposición de los diversos propágulos de los hongos micorrícicos arbusculares (HMA) presentes en los suelos bajo bosque, proceso responsable de la incorporación de las glomalinas a la fracción húmica del suelo.

Las glomalinas totales (GT) y fácilmente extraíbles (GFE) registraron diferencias significativas entre coberturas ($p = 0,0028$ y $0,0016$, respectivamente). Los mayores valores medios de glomalinas se registraron en suelos bajo cobertura de M y los menores valores medios se registraron en D (Fig. 1), en oposición a Burrows (2014) quien reportó que la diversidad de plantas está más vinculada a la producción de glomalinas que la cobertura vegetal.

Los resultados observados coinciden con Rillig *et al.* (2003), quienes indicaron que los suelos cubiertos con especies arbóreas o pastos presentan mayor concentración de glomalinas que los suelos libres de vegetación, lo cual

explica la presencia permanente de plantas que propician abastecimiento permanente de fotosintatos a los hongos micorrícicos arbusculares (HMA) estrechamente relacionados con la producción de glomalinas (González-Chávez *et al.*, 2004).

Los mayores valores medios de GT y GFE se observaron bajo la cobertura de M, ya que esta especie aporta mayor cantidad de residuos orgánicos con menor relación C:N y mayor cantidad de mucílagos, taninos, almidón y azúcares que Qc y Qb (Colares & Arambarri, 2008), de fácil aprovechamiento para los hongos micorrícicos.

Rillig *et al.* (2002) indican que la composición de la comunidad de plantas puede influir sobre la concentración de glomalinas en el suelo. Las raíces sirven como sitios hospederos de los HMA, pero el hospedante influye diferencialmente sobre las especies de HMA y tiene efecto directo sobre el suelo. La zona de mayor actividad radical en Qc se registra en el horizonte A del suelo (profundidad de 0,10 m) y existe una rápida absorción y redistribución del fósforo en la planta (Barberis *et al.*, 2012). El tipo de sistema radical de las especies arbóreas puede influir en la producción de glomalinas de los HMA, pudiendo ser el de M el más favorable en este sentido.

Los individuos de especies leñosas (Qc, Qb y M) realizan un aporte regular de residuos orgánicos y cobertura vegetal permanente, en comparación a sistemas producti-

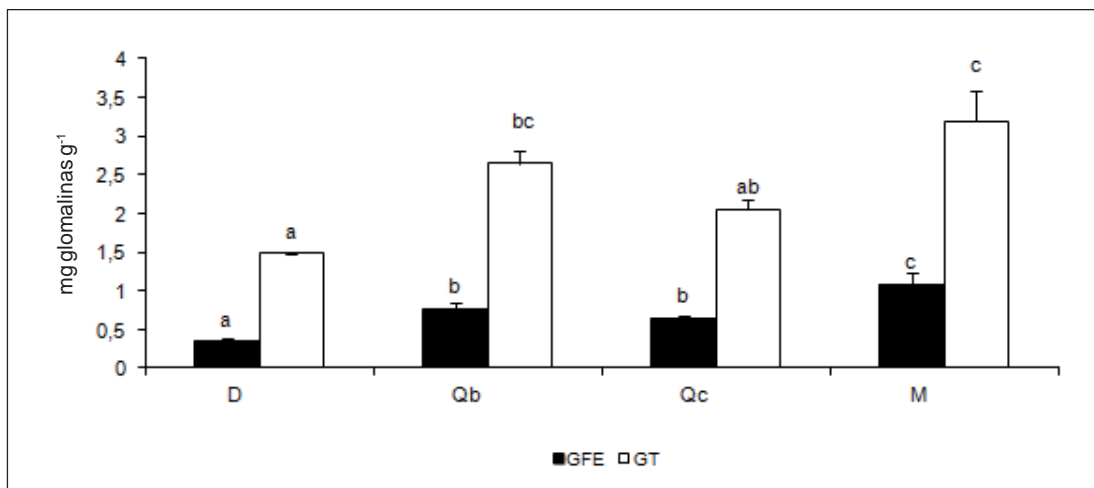


Figura 1. Valores medios de glomalina fácilmente extraíble (GFE), y glomalina total (GT) expresadas en mg de glomalina g⁻¹ suelo bajo cobertura de *Schinopsis lorentzii* (Qc), *Aspidosperma quebracho-blanco* (Qb), *Zizyphus mistol* (M) y en suelo sin cobertura (D). Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (Duncan $\alpha = 0,05$).

Figure 1. Mean values of easily removable Glomalin (GFE) and total Glomalin (GT) expressed in mg g⁻¹ soil under coverage *Schinopsis lorentzii* (Qc), *Aspidosperma quebracho-blanco* (Qb), *Zizyphus mistol* (M) and bare soil (D). Different letters indicate statistically significant differences (Duncan $\alpha = 0.05$).

vos de pasturas a cielo abierto, favoreciendo la conservación de la humedad, la actividad biológica, la proliferación de HMA y la producción de glomalinas tal como reportan Borie *et al.* (2006). No hay información acerca de interacciones de *Schinopsis lorentzii* con hongos micorrícicos aún cuando se registró en *Schinopsis haenkeana* y *Schinopsis brasiliensis* la presencia de micorrizas arbusculares con colonización tipo Arum-Paris (Barberis *et al.*, 2012).

Análisis de Conglomerados y Componentes principales

En el análisis de conglomerados (Fig. 2), según la distancia euclídea (medida de similaridad) se agruparon los tratamientos y coberturas fijando un criterio de corte en la distancia 2,39 (distancia igual al 50% de la distancia máxima, criterio de corte frecuentemente utilizado), seleccionada con el fin de agrupar las variables con máxima homogeneidad en cada grupo y con mayor diferencia entre los mismos. Aun cuando el proceso de agrupamiento conlleva inicialmente a una pérdida de información, la síntesis de la información disponible puede facilitar la visualización de relaciones multivariadas (Di Rienzo *et al.*, 2008). Con este criterio los tratamientos bajo cobertura de M (T:M y SSP:M) se separaron del resto al encontrarse más distan-

tes. Los tratamientos bajo cobertura de Qb y Qc formaron otro grupo y el tercer grupo estuvo constituido por los tratamientos sin cobertura (TD y SSPD).

Los primeros componentes principales (CP 1 y CP 2) explicaron el 94% de la variabilidad (Fig. 3) y las variables con mayor peso, es decir las que presentaron mayores valores de auto-vectores siendo éstos coeficientes que ponderan las variables y muestran la inercia relativa de cada una de ellas en la variabilidad total. Además de relacionar las variables, explican el efecto de los tratamientos y la cobertura sobre la calidad del suelo. Dentro de la CP 1 las variables de mayor peso fueron COP, COT, GT y GFE, con valores de auto-vectores de 0,45, 0,44, 0,43, 0,43, respectivamente, y en la CP 2 fueron Cbm:COT y Cbm con valores de auto-vectores de 0,67 y 0,59 respectivamente. Las CP correlacionaron positivamente con las variables originales siendo la correlación de la CP 1 con COP, COT, GT y GFE de 0,99, 0,98, 0,94, 0,96, respectivamente y CP 2 con Cbm:COT y Cbm de 0,77 y 0,62, respectivamente.

Los ángulos formados entre los vectores que representan a las variables GFE y GT estuvieron correlacionados positivamente con las variables químicas (COT y COP) (Fig.3). Esto concuerda con Seguel *et al.* (2008) quienes

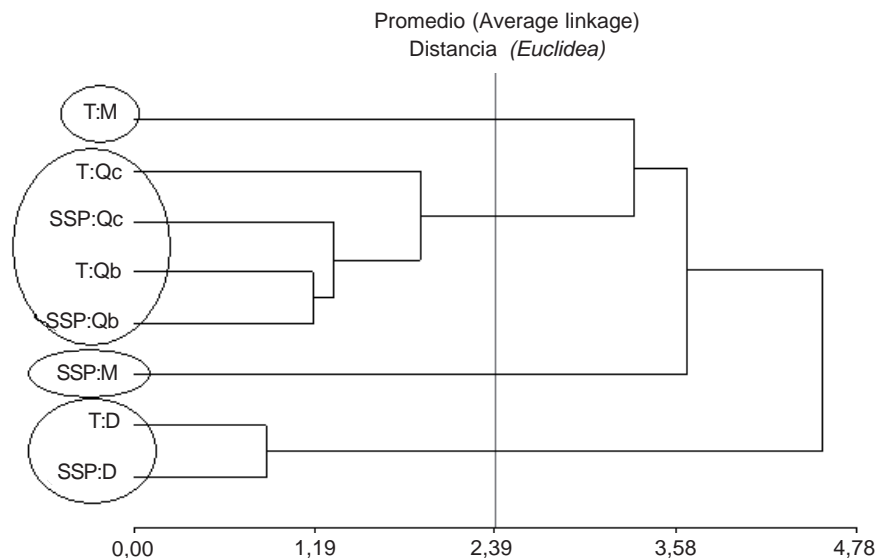


Figura 2. Análisis de Conglomerados. Referencias: Tratamientos: Testigo (T), sistema silvopastoril implementado con RBI (SSP). Coberturas: *Schinopsis lorentzii* (Qc), *Aspidosperma quebracho-blanco* (Qb), *Zizyphus mistol* (M) y suelo sin cobertura (D).

Figure 2. Cluster Analysis. References: treatments: control (T), RBI implemented silvopastoral system (SSP). Coverage: *Schinopsis lorentzii* (Qc), *Aspidosperma quebracho-blanco* (Qb), *Zizyphus mistol* (M) and bare soil (D).

encontraron una alta relación positiva entre las glomalinas y la materia orgánica del suelo en estudios de bosques nativos en Chile. Los suelos cubiertos con especies arbóreas o pastos presentan mayor concentración de glomalinas que los suelos libres de vegetación, lo cual se explica por la presencia permanente de plantas que propician abastecimiento permanente de fotosintatos para alimentar los hongos micorrízicos arbusculares estrechamente relacionados con la producción de glomalinas (Gonzalez-Chavez *et al.*, 2004; Rilling *et al.*, 2003).

En el plano bidimensional construido a partir de las dos primeras componentes principales se distinguieron claramente cuatro grupos (Fig. 3): el primero constituido por los tratamientos sin cobertura (T:D, SSP:D), el segundo por los tratamientos bajo cobertura de quebrachos (T:Qc, T:Qb, SSP:Qc y SSP:Qb), el tercero y cuarto por tratamientos bajo cobertura de mistol (T:M y SSP:M). El primer grupo al encontrarse a la izquierda de la CP 1 se caracterizó por menores contenidos de COT, COP, GT y GFE; el segundo se ca-

racterizó por valores intermedios y el tercero y cuarto grupo, al encontrarse a la derecha de la CP 1, se caracterizaron por magnitudes mayores de dichas variables (Fig. 3).

Estos resultados posiblemente se deban a que la cantidad de proteínas y carbohidratos solubles en hojas de mistol es elevada (Nogués *et al.*, 2013), por lo que la incorporación de las mismas como residuos al suelo aportarán al COT del suelo, especialmente a las fracciones más lábiles.

El tratamiento T:Qc se caracterizó por mayor Cbm y relación Cbm:COT ya que se encontró en la parte superior de la CP 2, en oposición a SSP:M, indicando en este último caso diferencias en la calidad de la materia orgánica o a su disponibilidad por los microorganismos (Insam & Domsch, 1988; Guerrero *et al.*, 2003), los cuales presentan baja eficiencia metabólica.

Estos resultados indican que se debe seguir monitoreando los cambios en el tiempo ya que estas variables biológicas y microbiológicas responden más rápidamente

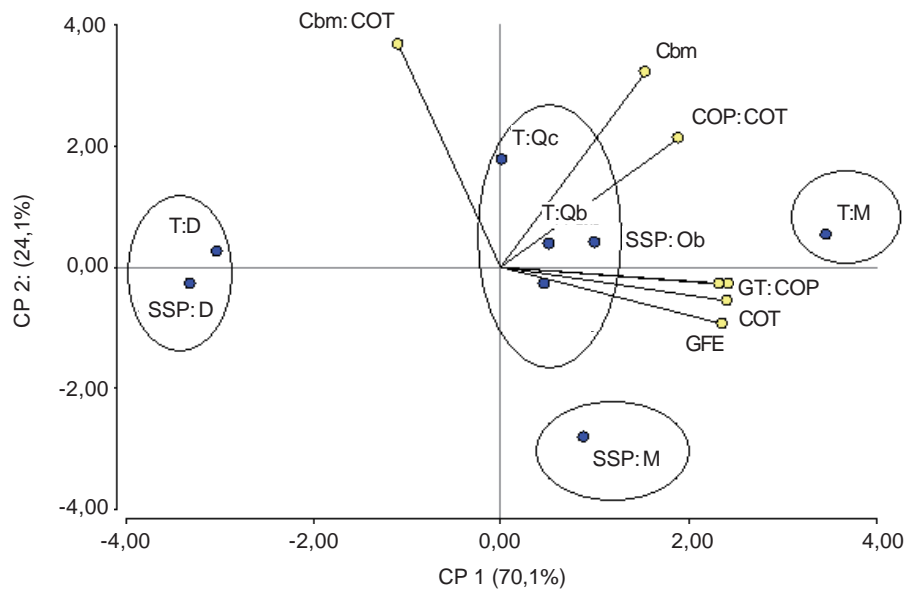


Figura 3. Análisis biplot de los tratamientos, coberturas y variables de suelo. Referencias: Tratamientos: Testigo (T), sistema silvopastoril implementado con RBI (SSP). Coberturas: *Schinopsis lorentzii* (Qc), *Aspidosperma quebracho-blanco* (Qb), *Zizyphus mistol* (M) y suelo sin cobertura (D). Variables de suelo: carbono orgánico total (COT), carbono orgánico particulado (COP), carbono de la biomasa microbiana (Cbm), glomalina fácilmente extraíble (GFE), glomalina total (GT) y relaciones COP:COT y Cbm:COT

Figure 3. Analysis biplot treatments, covers and soil variables. References: treatments: control (T), RBI implemented silvopastoral system (SSP). Coverage: *Schinopsis lorentzii* (Qc), *Aspidosperma quebracho-blanco* (Qb), *Zizyphus mistol* (M) and bare soil (D). Soil variables: total organic carbon (COT), particulate organic carbon (COP), microbial biomass carbon (Cbm), readily removable Glomalin (GFE) Glomalin Total (GT) and relationships COP:COT and Cbm:COT

a los cambios en el suelo que las variables químicas y podrían evidenciar el efecto del SSP en menor tiempo, a pesar que en el presente trabajo no se encontraron diferencias significativas en ninguna de ellas debido a que en la conversión de bosques nativos en sistemas silvopastoriles semiáridos, la permanencia de los árboles mantiene el contenido de nutrientes y materia orgánica mientras que el reemplazo completo del bosque a pastura implantada como, por ejemplo sucedió en ecosistemas semiáridos de Brasil, disminuyó el contenido de C_{bm} aun cuando no modificó las reservas de nutrientes y materia orgánica (Wick *et al.*, 2000).

CONCLUSIONES

El SSP implementado mediante RBIs no modifica las propiedades químicas y microbiológicas en el suelo. La cobertura arbórea tiene un efecto significativo en los contenidos de glomalinas, biomasa microbiana, carbono particulado y carbono orgánico total. Estas variables son mayores bajo cobertura arbórea de Quebracho colorado y blanco y aún más de Mistol. La biota del suelo presenta una baja eficiencia metabólica, propia de los ambientes semiáridos. Se debe continuar monitoreando en el tiempo para adquirir información certera del efecto del pastoreo.

AGRADECIMIENTOS

Consejo de Investigaciones en Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional de Santiago del Estero.

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria EEA Santiago del Estero.

BIBLIOGRAFÍA

- Abule, E; GN Smit & HA Snyman. 2005. The influence of woody plants and livestock grazing on grass species composition, yield and soil nutrients in the Middle Awash Valley of Ethiopia. *Journal of Arid Environments* 60: 343-358.
- 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* Vol 20: 9-20.
- Álvarez, R & HS Steinbach. 2006. Factores climáticos y edáficos reguladores del nivel de materia orgánica. *En: Materia Orgánica «Valor Agronómico y Dinámica en Suelos Pampeanos»* (ed. R Álvarez). Editorial. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. p. 31-40.
- Barberis, IM; V Mogni; L Oakley; C Alzugaray; JL Vesprini & De Prado. *Biología de especies australes: Schinopsis balansae* Engl. (Anacardiaceae). *Kurtziana* [online]. 2012, vol.37, n.2 [citado 2013-12-17], pp. 59-86. Disponible en: <http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-59622012000200006&lng=es&nrm=iso>. ISSN 1852-5962.
- Borie, F; R Rubio; J Rouanet; A Morales; G Borie & C Rojas. 2006. Effect of tillage systems on soil characteristics, glomalin and mycorrhizal propagules in a Chilean Ultisol. *Soil & Tillage Res.* 88: 253-261.
- Burrows, RL. 2014. Glomalin Production and Infectivity of Arbuscular-Mycorrhizal Fungi in Response to Grassland Plant Diversity. *American Journal of Plant Sciences* 5, 103-111 Published Online January 2014 (<http://www.scirp.org/journal/ajps>) <http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2014.51013>
- Cambardella, C & E Elliott. 1992. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 777-783.
- Carranza, C; L Noe; C Merlo; M Ledesma & A Abril. 2012. Efecto del tipo de desmonte sobre la descomposición de pastos nativos e introducidos en el Chaco Árido de la Argentina. *RIA* Vol. 38 N° 1, 97-107.
- Christensen, NB; WC Lindemann; E Salazar-Sosa & LR Gill. 1994. Nitrogen and carbon dynamics in no-till and stubble mulch tillage systems. *Agron. J.* 86, 298-303.
- Colares, MN & AM Arambarri. 2008. *Ziziphus mistol* (Rhamnaceae): Morfo-anatomía y arquitectura foliar. *Latin American Journal of Pharmacy* (formerly *Acta Farmacéutica Bonaerense*). *Lat. Am. J. Pharm.* 27 (4): 568-77.
- Di Rienzo, JA; F Casanoves; MG Balzarini; L Gonzalez; M Tablada & CW Robledo. 2008. InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Driver, J; W Holben & M Rillig. 2005. Characterization of glomalin as a hyphal wall component of arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Biol. Biochem.* 37: 101-106.
- Galantini, J; J Iglesias; M Landriscini; L Suñer & G Minolo. 2008. Calidad y dinámica de las fracciones orgánicas en sistemas naturales cultivados. *En: Galantini J. (ed). Estudio de las fracciones orgánicas en suelos de la Argentina. 1° edición.* Editorial de la Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca. Argentina. 308 p.
- Galantini, JA & L Suñer. 2008. Las fracciones orgánicas del suelo: análisis en los suelos de la Argentina. *Agricentia* Vol XXV (1): 41-55.
- García-Oliva, F; Jr R 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.
- Gomez Y; J Paolini & RM Hernández. 2008. Sustitución de la sabana nativa con plantaciones de *Pinus caribaea* (Pinaceae) en Venezuela: efecto sobre parámetros indicadores de cambios en el carbono del suelo. *Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol.)* 56(4): 2041-2053.
- González-Chávez, MCA; MC Gutiérrez-Castorena & S Wright. 2004. Hongos micorrízicos arbusculares en la agregación del suelo y su estabilidad. *TERRA Latinoamericana* Vol. 22, Núm. 4 pp. 507-514.
- Guerrero, C; J Mataix-Solera; F Rodríguez; F García-Orenes; I Gómez & R Moral. 2003. Carbono microbiano edáfico en suelos afectados por el fuego y enmendados con diferentes residuos orgánicos. *Edafología* 10(2): 185-190.
- Hudak, AT; CA Wessman & TR Seastedt. 2003. Woody overstorey effects on soil carbon and nitrogen pools in South African savanna. *Austral Ecology* 28: 173-181.
- Insam, H & KH Domsch. 1988. Relationship between soil organic carbon and microbial biomass on chronosequences of reclamation sites. *Microbial Ecol.* 15: 177-188.

- Kandeler, E; D Tschерko & H Spiegel. 1999. Long-term monitoring of microbial biomass, N mineralization and enzyme activities of a Chernozem under different tillage management. *Biol. Fert. Soils* 28, 343-351.
- Kunst, C; R Ledesma; S Bravo; A Albanesi; A Anriquez; H Van Meer & J Godoy. 2012. Disrupting woody steady states in the Chaco region (Argentina): Responses to combined disturbance treatments. *Ecological Engineering* 42: 42-53.
- Lorenz, K & R Lal. 2014. Soil organic carbón sequestration in agroforestry systems. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 34: 443-454.
- Montero, GA; NJ Carnevale & G Magra. 2011. Ensamblajes estacionales de artrópodos epigeos en un bosque de quebracho (*Schinopsis balansae*) en el Chaco Húmedo. *Revista Colombiana de Entomología* 37(2): 294-304.
- Moore, JM; S Klose & MA Tabatabai. 2000. Soil microbial biomass carbon and nitrógeno as affected by cropping Systems. *Biol Fertil Soils* 31: 200-210.
- Navarrete Segueda, A; G Vela Correa; J López Blanco & ML Rodríguez Gamiño. 2011. Naturaleza y utilidad de los indicadores de calidad del suelo. *Contactos* 80: 29-37.
- Nelson, D & L Sommers. 1982. Methods of soil analysis. In: Page, A. (ed). *Agronomy* 9, ASA, SSSA. 539-579.
- Nogués, EM; OE Castro; RJ Correa; M Puricelli; H Gómez Pérez & R López. 2013. *Ziziphus mistol* Griseb. (mistol) su rol en la religión, la cultura popular, la alimentación humana y animal y su uso medicinal en el árido y semiárido del NOA. Información general sobre la importancia de este género en distintas regiones del mundo. *Revista de Divulgación Técnica Agrícola y Agroindustrial Facultad de Ciencias Agrarias-UNCa.* 52: 1-16.
- Ramachandran Nair, PK; VD Nair; B Mohan Kumar & JM Showalter. 2010. Carbon sequestration in agroforestry systems. In: D. Sparks (ed) *Advances in Agronomy*, Vol. 108 1° ed Pp, 237-307, Academic Press. USA, 326 p.
- Rillig, M; S Wright; K Nichols; W Shmith & M Torn. 2001. Large contributions of arbuscular mycorrhizal fungi to soil carbon pools in tropical forest soils. *Plant Soil* 233: 167-177.
- Rillig, MC; SF Wright & VT Eviner. 2002. The role of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin in soil aggregation: Comparing effects of five plant species. *Plant Soil* 238: 325-333.
- Rillig, M; P Ramsey; S Morris & E Paul. 2003. Glomalin, an arbuscular-mycorrhizal fungal soil protein, responds to soil-use change. *Plant Soil* 253(2): 293-299.
- Seguel, A; R Rubio; R Carrillo; A Espinosa & F Borie. 2008. Niveles de glomalina y su relación con características químicas y biológicas del suelo (andisol) en un relicto de bosque nativo del sur de Chile. *Bosque* 29(1): 11-22.
- Schindler, F; E Mercer & J Rice. 2007. Chemical characteristics of glomalin-related soil protein (GRSP) extracted from soils of varying organic matter content. *Soil Biol. Biochem.* 39: 320-329.
- Silva, GL; HV Lima; MM Campanha; RJ Gilkes & TS Oliveira. 2011. Soil physical quality of Luvisols under agroforestry, natural vegetation and conventional crop management systems in the Brazilian semi-arid region. *Geoderma* 167-168: 61-70.
- Vance, ED; PC Brookes & DS Jenkinson. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biol. Biochem.* 19: 703-707.
- Videla, LS; CM Rostagno & MA Toyos. 2008. La materia orgánica particulada: comparación de métodos para su determinación y su valor como indicador de calidad de suelos del Chubut. *Revista Ciencia del Suelo (Argentina)* 26(2): 219-227.
- Wick, B; H Tiessen & RSC Menezes. 2000. Land quality changes following the conversion of the natural vegetation into silvopastoral systems in semi-arid NE Brazil. *Plant and Soil* 222: 59-70.
- Wright, SF & A Upadhyaya. 1996. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Sci.* 161: 575-586.

