

## LOS SISTEMAS SILVOPASTORILES DE LA REGIÓN CHAQUEÑA MODIFICAN EL POTENCIAL CATABÓLICO DE LAS COMUNIDADES MICROBIANAS DEL SUELO

JUAN SILBERMAN<sup>1\*</sup>; ADA ALBANESI<sup>1</sup>; ADRIÁN ROMERO<sup>1</sup>; DANIEL GRASSO<sup>2</sup>

Recibido: 12/6/2018

Recibido con revisiones: 13/12/2018

Aceptado: 22/1/2019

### RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue comprender las respuestas bioquímicas de los microorganismos del suelo producto de la implementación de los sistemas silvopastoriles en dos sitios (semiárido y subhúmedo) de la Región Chaqueña. Se utilizó el método BIOLOG Micro EcoPlate™. Las variables evaluadas fueron el potencial catabólico (AWCD), la diversidad funcional a través de los índices *r* (número de fuentes de carbono metabolizadas) y *H'* (índice de Shannon). Los sistemas silvopastoriles en ambos sitios modifican la diversidad funcional (n° de fuentes de carbono utilizadas e índice de diversidad funcional de Shannon) de las comunidades microbianas del suelo y consecuentemente el potencial catabólico (AWCD). En el sitio semiárido es evidente que los SP estimulan las funciones catabólicas de los microorganismos del suelo. Sin embargo en el subhúmedo decrece el potencial catabólico, aunque la magnitud de los cambios (entre los sistemas silvopastoriles y el bosque) es mucho menor que en el semiárido. Los sistemas silvopastoriles generan cambios importantes en las preferencias catabólicas de los microorganismos de suelo en el sitio semiárido. Sin embargo, en el sitio subhúmedo las preferencias catabólicas de los microorganismos del suelo son más estables ante el disturbio provocado por la implementación de sistemas silvopastoriles.

**Palabras clave:** BIOLOG, Rolado de baja intensidad, *Megathyrus maximus*

## SILVOPASTORAL SYSTEMS OF THE CHACO REGION AFFECT CATABOLIC ABILITIES OF THE SOIL MICROBIAL COMMUNITY

### ABSTRACT

Our goal was to understand the biochemical responses of soil microorganisms after the implementation of silvopastoral systems in two sites (semi-arid and sub-humid) in the Chaco Region. The BIOLOG Micro EcoPlate™ method was used. Evaluated variables were the catabolic potential (AWCD), the functional diversity through the *r* (index of metabolized carbon sources) and *H* (Shannon index) indexes. Silvopastoral systems in both sites modified functional diversity (number of carbon sources and Shannon index) of soil microbial community and consequently the catabolic potential (AWCD). In the semi-arid site it was evident that silvopastoral system stimulates the catabolic functions of soil microorganisms. However, in subhumid site decreased the catabolic potential, although the magnitude of the changes was much smaller than in the semi-arid site. Silvopastoral systems generate changes in the catabolic preferences of soil microorganisms in the semi-arid site. However, in the subhumid site the catabolic preferences of soil microorganisms are more stable in the face of the disturbance caused by the implementation of silvopastoral systems.

**Key words:** BIOLOG, Low intensity roller chopping, *Megathyrus maximus*

1 Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Santiago del Estero

2 Instituto de Suelos. CNIA. Castelar

\*Autor de contacto: [juan.silberman@gmail.com](mailto:juan.silberman@gmail.com)

## INTRODUCCIÓN

Los bosques estacionalmente secos, como los de la Región Chaqueña (Kunst, 2008) y los bosques Neotropicales (Banda *et al.*, 2016) son muy importantes desde el punto de vista de la conservación ya que albergan una diversidad única (Kunst, 2008; Moreno & Pulido, 2009; Pennington *et al.*, 2009). Sin embargo, estos ecosistemas se encuentran altamente amenazados por la alta tasa de deforestación, principalmente en el Chaco Argentino (Volante *et al.*, 2012; Vallejos *et al.*, 2015; Volante *et al.*, 2016). Esta situación evidencia la necesidad de definir nuevos modos de uso y manejo del suelo, compatibles con la preservación de la biodiversidad de modo que se garantice la sustentabilidad y no corran riesgos los servicios ecosistémicos (Tardy *et al.*, 2015).

Una alternativa sería el diseño de sistemas de producción que imiten la estructura y funcionamiento de los ecosistemas naturales (Smith *et al.*, 2012). En este sentido se promueven sistemas silvopastoriles habilitados por rolado de baja intensidad (RBI) y siembra de pasturas adaptadas a la sombra (Kunst *et al.*, 2014a) ya que es una alternativa compatible con la ley 26.331 (presupuestos mínimos de protección ambiental de los bosques nativos). Sin embargo debe mejorarse nuestra capacidad para predecir los efectos de las prácticas silvopastoriles en la diversidad microbiana del suelo.

La diversidad microbiana, con sus cientos a miles de taxones por gramo de suelo, domina la biodiversidad del suelo (Torsvik & Ovreas, 2002). Esta diversidad tiene un papel fundamental en el soporte de las funciones del suelo y, por lo tanto, en la provisión de servicios ecosistémicos asociados con los suelos (FAO, 2015).

Las funciones de las comunidades microbianas del suelo son sensibles a diversos factores. La estructura de la vegetación y el contenido de nitrógeno son factores capaces de modificar la intensidad de utilización de las fuentes de carbono (Chodak *et al.*, 2015; Yang *et al.*, 2016). La cantidad y calidad de los residuos foliares que ingresan al suelo es otro factor importante que tiene una relación directa con la capacidad funcional de los microorganismos (Liang *et al.*, 2016). Diver-

Los autores coinciden que el factor más importante que determina los cambios en las funciones de las comunidades microbianas es el reemplazo de los bosques por agroecosistemas (Vallejo *et al.*, 2010; Azar *et al.*, 2013; Lagerlöf *et al.*, 2014; Vitali *et al.*, 2016; Zhang *et al.*, 2016). Estudios recientes sugieren que los sistemas silvopastoriles (SP) de otras regiones del mundo son capaces de mejorar la calidad y la función metabólica del suelo reflejado en incrementos en las actividades enzimáticas (Vallejo *et al.*, 2010; Vallejo *et al.*, 2012), respiración edáfica (Azar *et al.*, 2013; Peri *et al.*, 2015; Vallejo *et al.*, 2012) y biomarcadores FAME (*Fatty Acid Methyl Ester*) (Lagerlöf *et al.*, 2014; Vallejo *et al.*, 2012). Silberman *et al.* (2016) informaron que los sistemas silvopastoriles del Chaco semiárido modifican las funciones de las comunidades microbianas del suelo luego de un año de la implementación del RBI y que éstos cambios se restablecen a los cinco años. Sin embargo su estudio estuvo acotado sólo a una subregión de la ecorregión Chaco.

Aun cuando existen numerosos antecedentes que evidencian las respuestas funcionales de las comunidades microbianas del suelo al uso silvopastoril, es difícil extrapolar las conclusiones hacia otras regiones del mundo ya que las respuestas ante un mismo disturbio varían de acuerdo a las condiciones edafo-climáticas (Tardy *et al.*, 2015; Silberman *et al.*, 2017). Por ello resulta imprescindible comprender las respuestas funcionales de los microorganismos del suelo ante la implementación de los sistemas silvopastoriles en diferentes sitios de la Región Chaqueña. Se hipotetiza que el uso silvopastoril incrementa el potencial catabólico de las comunidades microbianas del suelo y que la magnitud y dirección de los cambios producidos es dependiente del sitio.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los ensayos se encuentran en dos subregiones del Chaco, las parcelas experimentales fueron ubicadas en posiciones topográficas altas (gradiente topográfico <1,0%), donde existieron mayormente los bosques primarios de quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho-blanco* Schltdl.) y quebracho colorado (*Schinopsis lorentzii*

(Griseb.) Engl.) (Kunst *et al.*, 2016). Se realizó un experimento factorial con tres factores: sitio (dos niveles), uso del suelo (tres niveles) y tiempo de incubación (tres niveles), con diseño completamente aleatorizado con tres repeticiones.

El área de estudio en el chaco semiárido está ubicada en el centro oeste de Santiago del Estero, campo "Ingeniero Francisco Cantos" E.E.A. INTA Santiago del Estero (28° 3' S. y 64° 15' O). La vegetación es un bosque secundario con una densidad promedio de 1.600 leñosas ha<sup>-1</sup> y se describió previamente en Silberman *et al.* (2016). El clima es subcontinental cálido subtropical (Morello *et al.*, 2012). La precipitación promedio anual es 500 mm (Estación meteorológica INTA SDE). El suelo es un Haplustol éntico (A- AC- C); con 43% de arena (2000- 53μm), 49% de limo (53 - 2μm) y 8% de arcilla (<2μm) en el horizonte superficial (Silberman *et al.*, 2015).

El área de estudio en el chaco subhúmedo está ubicada en el centro este de Santiago del Estero, Dpto. Juan Felipe Ibarra, campo "Jagüel Pampa" (27° 56' 45'' S y 62° 18' 40'' O). La vegetación es un bosque secundario con una densidad promedio de 1350 leñosas ha<sup>-1</sup>, dominado por especies leñosas arbustivas: *Senegalia praecox* (Griseb.) Seigler & Ebinger (Garabato), *Celtis sp.* (Tala), *Schinus sp.* (Molle) y arbóreas: *Aspidosperma quebracho blanco* Schl. (Quebracho blanco), *Libidibia paraguariensis* (D. Parodi) G.P. Lewis (Guayacán), *Parkinsonia praecox* (Ruiz & Pav. ex Hook.) Hawkins (Brea). El clima es subcontinental cálido subtropical (Morello *et al.*, 2012). Las precipitaciones oscilan entre 600 y 700 mm anuales (Prieto *et al.*, 2006). El suelo es un Haplustol éntico (A- AC- C); con 20% de arena (2000- 53μm), 65% de limo (53 - 2μm) y 15% de arcilla (<2μm) en el horizonte superficial.

Los usos del suelo fueron: (0) bosque nativo secundario; (1) sistema silvopastoril de 1 año habilitado por rolado selectivo de baja intensidad y siembra de *Megathyrsus maximus* (Jacq.) B.K. Simon & S.W.L. Jacobs var. *maximus* (Gatton panic) y (5) sistema silvopastoril de 5 años habilitado por rolado selectivo de baja intensidad y siembra de *Megathyrsus maximus* (Jacq.) B.K. Simon & S.W.L. Jacobs var. *maximus* (Gatton panic).

La toma de muestras se realizó a una profundidad de 0-0,15 m en marzo de 2013. En cada parcela se tomó, a lo largo de una transecta diagonal de 100 m, una muestra compuesta de cinco submuestras bajo la canopia de Gatton panic debajo de cada cobertura arbórea. Las muestras de suelo recolectadas se mantuvieron en conservadoras con enfriadores hasta su traslado al laboratorio. Luego fueron tamizadas por 2 mm y se conservó a 4 °C para las determinaciones microbiológicas.

La funcionalidad de las comunidades microbianas se evaluó utilizando *Biolog Micro Ecoplate de acuerdo a lo descrito en Silberman et al. (2016)*. Las lecturas de absorbancia λ 590 nm se registraron cada 24 h hasta 96 h en lector de microplacas Biotek. La actividad microbiana en cada microplaca se expresó como *average well-color development* (AWCD) de acuerdo a:

$$AWCD = \sum \lambda 590nm \ i/31$$

Donde λ 590nm i es la lectura en cada pocillo corregida por la lectura del control (inoculado pero sin fuente carbonada).

Se consideraron como positivas solo aquellas lecturas con λ 590nm mayor a 0,2. La riqueza (r) se determinó por el número de fuentes de carbono metabolizadas y el índice de diversidad de Shannon (H') se determinó usando la siguiente fórmula:

$$H' = -\sum (pi)(Ln \ pi)$$

$$\text{Donde } (pi) = \frac{\lambda 590 \text{ nm } i}{\sum \lambda 590 \text{ nm}}$$

Es la absorbancia relativa de cada fuente de carbono.

### Análisis estadístico

Se realizó un análisis de la variancia para observar el efecto de los sitios, usos del suelo y tiempo sobre las variables AWCD, r y H'. Se reconoce que el factor tiempo tiene potencialidad de introducir variabilidad entre las observaciones realizadas en diferentes momentos sobre las mismas muestras de suelo. Es por ello que se analizaron las variables respuesta (AWCD, r y H') mediante

un modelo lineal mixto donde el valor esperado (parte fija del modelo) estuvo conformado por los efectos sitio, usos del suelo y tiempo. Se contemplaron las correlaciones temporales que provienen de una misma unidad experimental mediante un ajuste de correlación autorregresivo de orden uno para los términos del error experimental (seleccionado con base en el criterio de Akaike, que recompensa por bondad de ajustes e incluye una penalidad que es función creciente del número de parámetros estimados). El ajuste de correlación autorregresivo de orden uno se usa cuando se suponen que las mediciones más cercanas están más correlacionadas que aquellas que están más alejadas. Se utilizó el Test DGC (Prueba de Di Rienzo, Guzmán & Casanoves) para las pruebas de diferencias de medias ya que mantiene una potencia aceptable y mejora su comportamiento general conforme aumenta el número de medias a comparar (Balzarini *et al.* 2008).

### Análisis de componentes principales

Se realizó el análisis de conglomerados para agrupar los factores de variación descrito por el conjunto de variables.

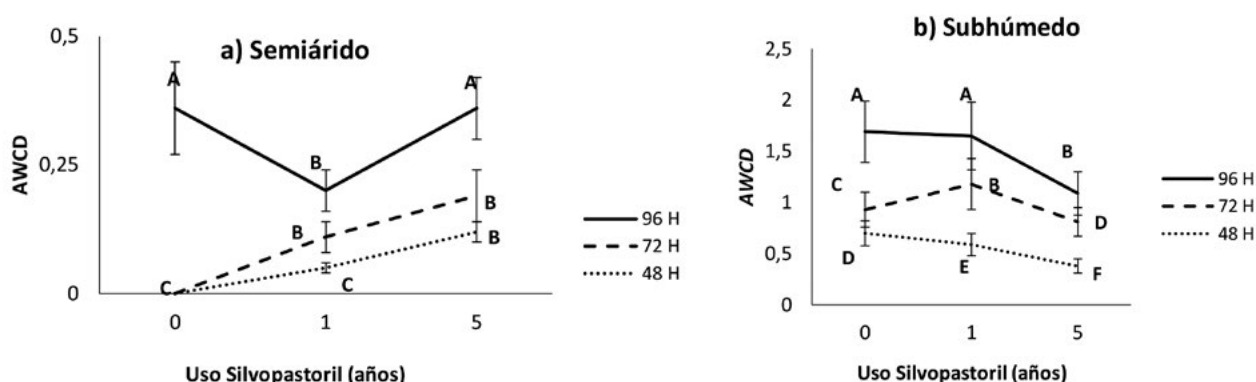
Se realizó el análisis de componentes principales al conjunto de datos para reducir la dimensionalidad de la información. Se utilizó el software Infostat versión 2017 profesional (Di Rienzo *et al.*, 2012).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Average well color development (AWCD)

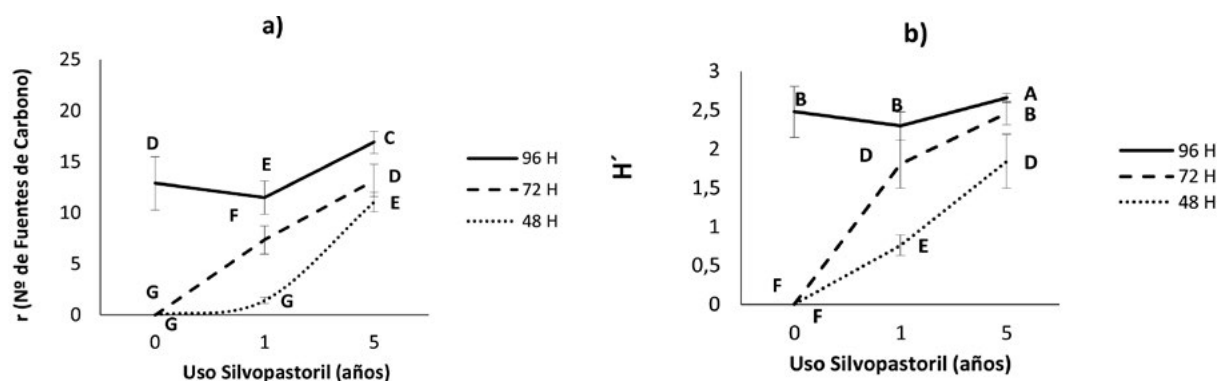
Los valores medios de AWCD estuvieron influenciados por la interacción Sitio \* Uso del suelo \* Tiempo ( $p=0.0016$ ). En general, AWCD incrementó en todas las muestras analizadas a medida que transcurrió el tiempo de incubación (**Figura 1 y 2**) como consecuencia del crecimiento microbiano. El AWCD en el sitio semiárido fue nulo hasta las 72 horas (**Figura 1 a**). En cambio en el sitio subhúmedo los microorganismos del suelo mostraron alta actividad catabólica (AWCD) desde las 48 h (**Figura 1 b**). Esto sugiere que los microorganismos heterótrofos del sitio semiárido tienen una fase de latencia más prolongada que los microbios habitantes del sitio subhúmedo. Este comportamiento diferencial posiblemente se deba a que el suelo del subhúmedo tiene mayor contenido de nitrógeno total y soluble (Anriquez *et al.*, 2018). Los compuestos nitrogenados de bajo peso molecular contenidos en la fracción soluble desencadenan una rápida activación de los microorganismos heterótrofos (Kuzyakov & Blagodatskaya., 2015; Di Lonardo *et al.*, 2017).

Los valores de AWCD en ambos sitios fueron afectados por la implementación de los sistemas silvopastoriles. Estos resultados coinciden con diversos autores que informaron que el factor más importante que determina los cambios en las actividades catabólicas de las comunidades micro-



**Figura 1.** Valores promedios de AWCD (average well colour development)  $\pm$  D.E para los sistemas silvopastoriles de diferentes edades y Tiempos desde la incubación en el Sitio semiárido (a) y Subhúmedo (b). Referencias: (0) Bosque Nativo; (1) SP de un año y (5) SP de cinco años. Medias con letras iguales no son significativamente diferentes ( $p>0,05$ ) para cada sitio.

**Figure 1.** Average AWCD (average well color development) values  $\pm$  S.D for silvopastoral systems of different ages and incubation time in the semi-arid (a) and sub-humid (b) sites. References: (0) Native Forest; (1) SP of one year and (5) SP of five years. Average with the same letters are not significantly different ( $p>0.05$ ) per site.



**Figura 2.** Número de fuentes de carbono ( $r \pm D.E$ ) (a) e índice de Shannon  $\pm D.E$  (b) para los diferentes sistemas silvopastoriles y Tiempos desde la incubación en el Sitio Semiárido. Referencias: (0) Bosque Nativo; (1) SP de 1 año y (5) SP de 5 años. Medias con letras iguales no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

**Figure 2.** Number of carbon sources ( $r \pm S.D$ ) (a) and Shannon index  $\pm S.D$  (b) for silvopastoral systems of different ages and incubation time at the Semi-arid Site. References: (0) Native Forest; (1) SP of one year and (5) SP of five years. Average with the same letters are not significantly different ( $p > 0.05$ ).

bianas es el cambio de uso del suelo (Vallejo *et al.*, 2010; Vallejo *et al.*, 2012; Azar *et al.*, 2013; Lagerlöf *et al.*, 2014; Vitali *et al.*, 2016; Zhang *et al.*, 2016).

En el sitio semiárido, el mayor valor de AWCD se registró en el SP de 5 años (**Figura 1 a**). Estos resultados coinciden, con diversos autores que informaron que los sistemas silvopastoriles son capaces de mejorar la calidad y las funciones metabólicas del suelo, reflejado en incrementos de las actividades microbianas (Vallejo *et al.*, 2010; Azar *et al.*, 2013; Lagerlöf *et al.*, 2014; Vitali *et al.*, 2016; Zhang *et al.*, 2016).

En el sitio subhúmedo, el menor valor de AWCD se registró en el SP de 5 años (**Figura 1 b**). Varios factores pudieron haber influenciado en los resultados sitio dependiente, uno de ellos es la estructura de las comunidades microbianas que varía entre sitios (Silberman *et al.*, 2017). Otro factor sería que los sitios difieren por su clase textural y contenido de materia orgánica del suelo (Silberman *et al.*, 2017). Todos estos parámetros inciden directa o indirectamente en las actividades bioquímicas del suelo (Nannipieri & Eldor., 2009).

Los resultados de este trabajo mostraron evidencias claras que sugieren que las respuestas funcionales de las comunidades microbianas del suelo ante un cambio en la intensidad del uso del suelo están influenciadas por las condiciones y disponibilidad de recursos de cada sitio en coin-

cidencia con Tardy *et al.* (2015) y Silberman *et al.* (2017).

### Riqueza ( $r$ ) e Índice de Shannon ( $H'$ )

Los valores medios de los índices de diversidad ( $r$  y  $H'$ ) estuvieron influenciados por la interacción Sitio \*Uso del suelo \*Tiempo ( $p < 0,0001$ ). En general se observó que en todas las muestras de suelo, el número de fuentes de carbono metabolizadas aumentó a medida que transcurrió el tiempo (**Figura 2 a y 3 a**).

En el bosque semiárido los valores de  $r$  y  $H'$  fueron nulos hasta las 72 h de manera similar a lo descrito para AWCD (**Figura 2**).

Los valores medios de  $r$  y  $H'$  en el sitio semiárido fueron mayores en el SP de 5 años (**Figura 2**). En este sitio las comunidades microbianas son capaces de metabolizar entre 0 - 13 sustratos en el bosque de referencia y entre 10 - 17 sustratos en los SP de 5 años. De esto se deduce que la riqueza fue 3,2 veces superior en SP respecto del bosque. Estos resultados evidenciaron un efecto positivo de los SP sobre la diversidad funcional en el semiárido. Esto es importante desde el punto de vista ecológico ya que indican que la implementación del sistemas silvopastoriles en el ecosistema con mayor fragilidad (semiárido) no pone en riesgo la provisión de servicios ecosistémicos por parte de las comunidades microbianas del suelo. Esto coincide con lo informado para siste-

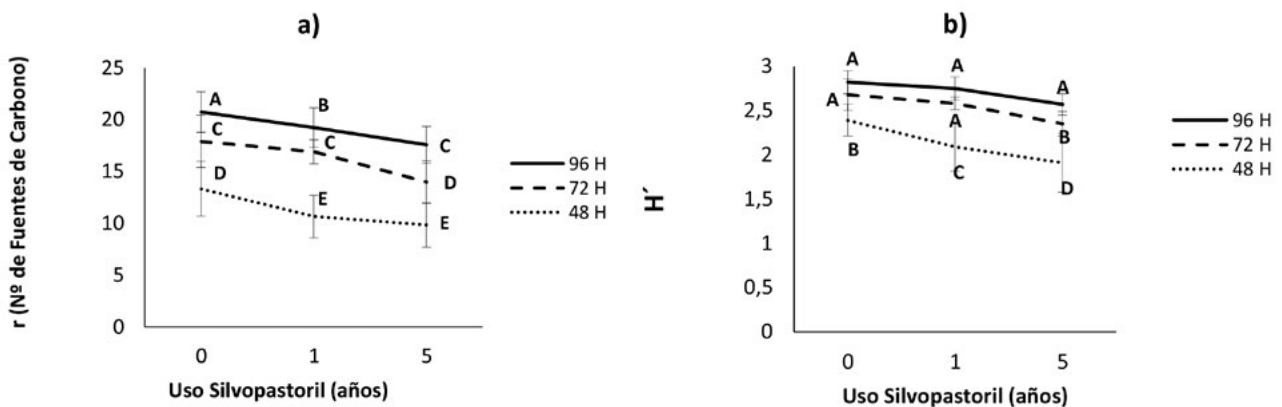


mas silvopastoriles en otras regiones de América Latina (Cubillos *et. al.*, 2016).

En el sitio subhúmedo los valores mayores de  $r$  y  $H'$  se observaron en el bosque de referencia (Figura 3). Estos valores descendieron como consecuencia del SP, cuyos valores más bajos se registraron a los 5 años. Las comunidades microbianas en este sitio son capaces de metabolizar entre 13 - 21 sustratos en el bosque y entre 10 - 17 en el SP de 5 años. De esto se deduce que la riqueza fue 0,2 veces superior en el bosque respecto del MBGI.

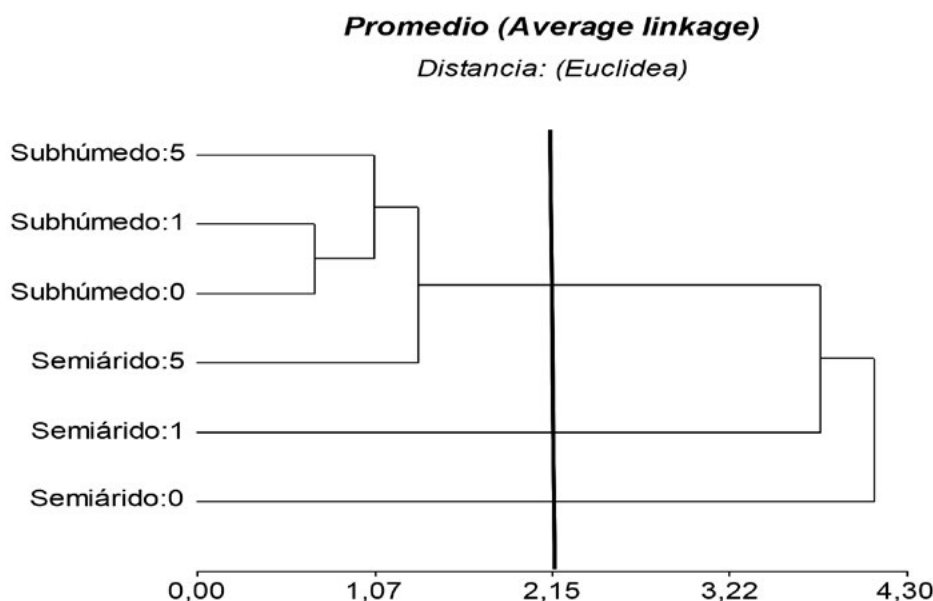
**Análisis multivariado**

El dendograma construido con base en los perfiles BIOLOG EcoPlate (Figura 4) mostró claramente que el impacto de los sistemas silvopastoriles sobre los perfiles fisiológicos a nivel de comunidad depende fuertemente del sitio. En el sitio semiárido se observó una mayor distancia entre el bosque y SP de 5 años. En cambio en el subhúmedo, el bosque y los SP confluyen en un mismo nodo. Estos resultados sugieren que las respuestas funcionales de las comunidades microbianas del suelo ante un mismo disturbio, va-



**Figura 3.** Número de fuentes de carbono ( $r \pm D.E$ ) (a) e índice Shannon  $\pm D.E$  (b) para los sistemas silvopastoriles de diferentes edades y Tiempos desde la incubacion en el Sitio Subhúmedo. Referencias: (0) Bosque Nativo; (1) SP de 1 año y (5) SP de 5 años. Medias con letras iguales no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

**Figure 3.** Number of carbon sources ( $r \pm S.D$ ) (a) and Shannon index  $\pm S.D$  (b) for silvopastoral systems of different ages and incubation time in the Subhumid Site. References: (0) Native Forest; (1) SP of un year and (5) SP of cinco years. Average with the same letters are not significantly different ( $p > 0.05$ ).



**Figura 4.** Dendograma construido con base en los perfiles BIOLOG para los diferentes sitios y edades de sistemas silvopastoriles Referencia: 0 Bosque nativo; 1 SP de 1 año y 5 SP de 5 años.  
**Figure 4.** Cluster constructed with the BIOLOG profiles for the different sites and ages of silvopastoral systems. Reference: (0) Native forest; (1) SP of one year and (5) SP of five years.

rían de acuerdo a las condiciones edafo-climáticas (Tardy *et. al.*, 2015; Silberman *et. al.*, 2017).

En el análisis de componentes principales (**Figura 5**) los dos primeros componentes representaron más del 90% de la variabilidad. Las variables más contributivas en el componente 1 (CP1) fueron los ácidos carboxílicos y los aminoácidos. Las variables más contributivas en el componente 2 (CP2) fueron los polímeros y carbohidratos.

En el plano bidimensional se observa claramente que la implementación de sistemas silvopastoriles provocó modificaciones en las preferencias catabólicas de los microorganismos, principalmente en el sitio semiárido. Luego de 1 año del disturbio generado por el SP las comunidades microbianas del semiárido mostraron preferencia por aminos-amidas y polímeros. Esto puede deberse al efecto del ingreso del material leñoso al momento de iniciarse el RBI, ofreciendo un residuo con alta relación C:N, por lo que necesita tener nitrógeno a disposición. Esto explicaría el consumo de nitrógeno proveniente de aminos-amidas. Sin embargo, esta preferencia se modificó a los 5 años hacia los ácidos carboxí-

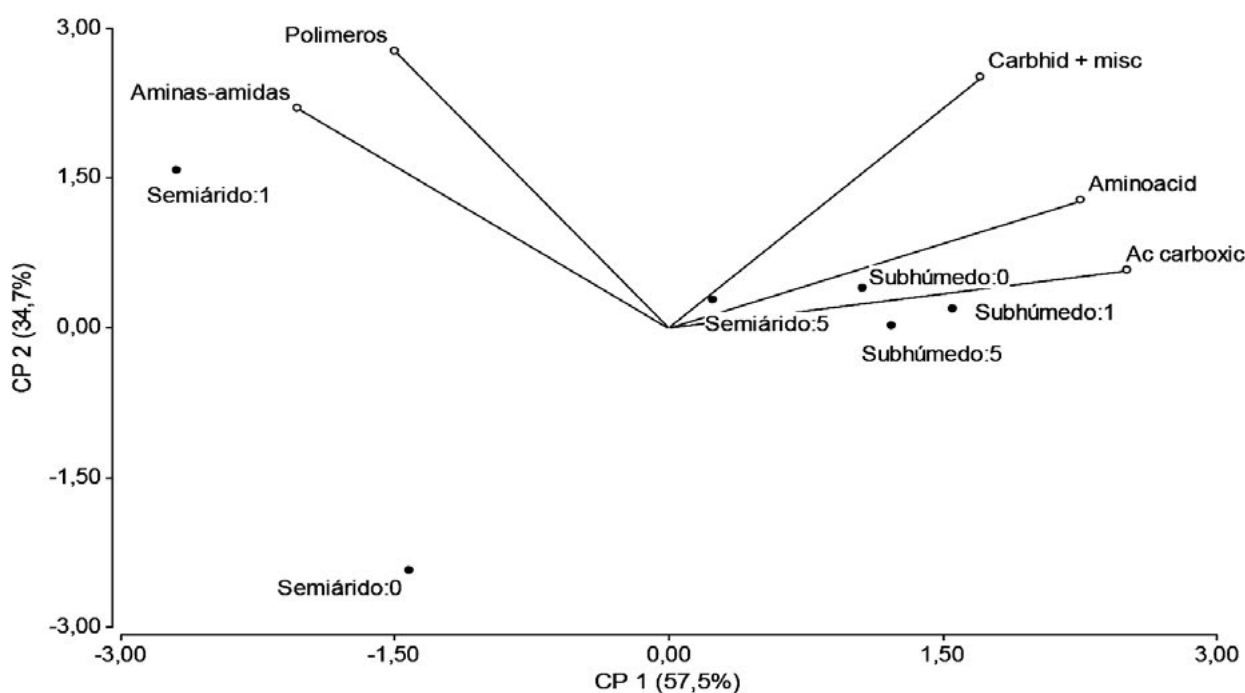
cos y aminoácidos lo cual estaría relacionado con la calidad de residuos de *Gatton Panic*.

A diferencia de lo anterior, en el sitio subhúmedo no hubo grandes cambios en las preferencias catabólicas. Esto coincide con Tosi *et.al.* (2016) y Lin-lin *et.al.* (2017) que informaron que el cambio en las entradas de carbono al suelo, no modifican significativamente los perfiles fisiológicos de las comunidades microbianas del suelo en algunos ambientes.

Independientemente del sitio, los SP de 5 años mostraron preferencia hacia los ácidos carboxílicos y aminoácidos. Esto podría deberse a que las comunidades microbianas se fueron especializando en la degradación de residuos voluminosos de gramíneas (*Gatton Panic*), que contienen distintos ácidos carboxílicos tales como cítrico, málico, succínico (Conca, 1995; Del Pozo, 2004).

## CONCLUSIONES

Los sistemas silvopastoriles en ambos sitios modifican la diversidad funcional ( $r$  y  $H'$ ) de las comunidades microbianas del suelo y consecuen-



**Figura 5.** Análisis de componentes principales construido en base a la utilización de fuentes de carbono agrupadas por naturaleza química para los diferentes usos del suelo para los dos sitios. Referencias: (0) Bosque Nativo; (1) SP de 1 año y (5) SP de 5 años.

**Figure 5.** Principal component analysis constructed with the use of carbon sources grouped by chemical nature for the different land uses for the two sites. References: (0) Native Forest; (1) SP of one year and (5) SP of five years.

temente el potencial catabólico (AWCD). En el sitio semiárido es evidente que los SP estimulan las funciones catabólicas de los microorganismos del suelo. Sin embargo en el subhúmedo decrece el potencial catabólico, aunque la magnitud de los cambios (entre los SP y el bosque) es mucho menor que en el semiárido.

Los SP generan cambios importantes en las preferencias catabólicas de los microorganismos de suelo en el sitio semiárido. Sin embargo, en el sitio subhúmedo las preferencias catabólicas de los microorganismos del suelo son más estables ante el disturbio provocado por la implementación de SP.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (CNI A Castelar) y la Universidad Nacional de Santiago del Estero.

## BIBLIOGRAFÍA

- Anriquez, A; C Barrionuevo; J Silberman, J; N Dominguez; JA Dominguez- Nuñez & A Albanesi. Impacto de los sistemas silvopastoriles en los microorganismos relacionado al ciclo del nitrógeno. *Cienc Suelo (Argentina)*. 36 (2). En prensa
- Azar, GS; A De Araújo; ME De Oliveira & DM Azevêdo. 2013. Biomassa e atividade microbiana do solo sob pastagem em sistemas de monocultura e silvipastoril. *Semina: Ciências Agrárias*. 34 (6): 2727-2736.
- Balzarini, MG; L González; M Tablada; F Casanoves; JA Di Rienzo & CW Robledo. 2008. *Manual del Usuario*, Editorial Brujas, Córdoba, Argentina.
- Banda, K; A Delgado-Salinas; KG Dexter; R Linares-Palomino; A Oliveira-Filho; D Prado & J Weintritt. 2016. Plant diversity patterns in neotropical dry forests and their conservation implications. *Science*. 353 (6306):1383-1387.
- Chodak, M; M Pietrzykowski & K Sroka. 2015. Physiological profiles of microbial communities in mine soils afforested with different tree species. *Ecological Engineering* 81 (1): 462-470.
- Conca, E. 1995. Un acierto tecnológico para la actividad agrícola chilena. *Chile. Hortofrutícola* 6(35): 13-18.
- Cubillos, AM; VE Vallejo; Z Arbeli; W Terán; RP Dick; CH Molina; E Molina & F Roldan. 2016. Effect of the conversion of conventional pasture to intensive silvopastoral systems on edaphic bacterial and ammonia oxidizer communities in Colombia. *European Journal of Soil Biology* 72: 42-50.
- Del Pozo, P. 2004. Bases ecofisiológicas para el manejo de los pastos tropicales. Sitio argentino de producción animal. [http://www.produccion-animal.com.ar/produccion\\_y\\_manejo\\_pasturas/pastoreo%20sistemas/30-bases\\_ecofisiologicas\\_manejo\\_pasturas\\_tropicales.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pastoreo%20sistemas/30-bases_ecofisiologicas_manejo_pasturas_tropicales.pdf). 05/12/2017.
- Di Lonardo, DP; W De Boer; PJA Klein Gunnewiek; SE Hanula & A Van der Wal. 2017. Priming of soil organic matter: Chemical structure of added compounds is more important than the energy content. *Soil Biology & Biochemistry* 108: 41-54.
- Di Rienzo, JA; F Casanoves; M Balzarini; L Gonzalez; M Tablada & C Robledo. 2012. InfoStat. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- FAO, 2015. Revised World Soil Charter. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Kunst, C; M Navall; R Ledesma; J Silberman; A Anriquez; D Coria; S Bravo; A Gómez; A Albanesi; D Grasso; J Dominguez Nuñez; A González; P Tomsic & J Godoy. 2016. Silvopastoral systems in the western Chaco región, Argentina. In Peri, PL; F Dube & A Varella (Eds.). *Silvopastoral Systems in Southern South America*. Advances in Agroforestry. Springer. 11p: 63-87.
- Kunst, C. 2008. Rolado. Aspectos generales. En: Kunst, C; R Ledesma & M Navall. (Eds). *RBI. Rolado Selectivo de Baja Intensidad*. Ediciones INTA. 139 p.
- Kunst, C; S Bravo; R Ledesma; M Navall; A Anriquez; D Coria; J Silberman; A Gómez & A Albanesi. 2014. Ecology and Management of the Dry Forests and Savannas of the western Chaco region, Argentina. In: Greer (Ed). *Dry Forests: Ecology, Species Diversity and Sustainable Management*. Nova Science Publishers. United States of America. 189p.
- Kuzyakov, Y & E Blagodatskaya. 2015 Microbial hotspots and hot moments in soil: Concept & review. *Soil Biology & Biochemistry* 83: 184-199.
- Lagerlöf, J; L Adolfsson; G Börjesson; K Ehlers; G Palarès Vinyoles & I Sundh. 2014. Land-use intensification and agroforestry in the Kenyan highland: Impacts on soil microbial community composition and functional capacity. *Applied Soil Ecology*. 82: 93-99.
- Liang, J; Z Lu; Z Yu; J Wang & X Wang. 2016. Effects of leaf litter extraction fluid from dominant forest tree species on functional characteristics of soil microbial communities. *Journal of Forestry Research* 27(1): 81-90.
- Lin-lin, J; H Guang-ming; L Yu; L Sai-nan; G Ji-ping; Y Xu; M Jun & Ch Wen-fu. 2017. Corn cob biochar increases soil culturable bacterial abundance without enhancing their capacities in utilizing carbon sources in Biolog Eco-plates. *Journal of Integrative Agriculture* 16 (3): 713-724.



- Morello, J; S Matteucci; A Rodriguez & M Silva. 2012. Ecoregiones y complejos ecosistemicos Argentinos. Facultad de arquitectura diseño urbanismo. Universidad de Buenos Aires. Orientación grafica editora. Buenos Aires, Argentina.752p.
- Moreno, G & FJ Pulido. 2009. The functioning, management and persistence of dehesas. In: Rigueiro-Rodríguez, A; J McAdam; MR Mosquera-Losada (Eds.): *Agroforestry in Europe*. Springer pp. 127–160.
- Nannipieri, P & P Eldor. 2009. The chemical and functional characterization of soil N and its biotics components. *Soil biology & biochemistry* 41: 2357-2369.
- Pennington, RT; M Lavin & A Oliveira-Filho. 2009. Woody plant diversity, evolution, and ecology in the tropics: perspectives from seasonally dry tropical forests. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. 40:437-457.
- Peri, PL; H Bahamonde & R Christiansen. 2015. Soil respiration in Patagonian semiarid grasslands under contrasting environmental and use conditions. *Journal of Arid Environments*. 119: 1-8.
- Prieto, DA; L Bianchi; R Nieva; G Pedraza; G Angella; H Elena; H Van Meer & F Tolaba. 2006. Sistema de procesamiento de datos agrometeorológicos del NOA (ProdaAgro version 1.0) INTA EEA Santiago del Estero. <http://sigse.inta.gov.ar/>. (consultado el 12/10/2011).
- Silberman, J; A Albanesi; A Anriquez; J Dominguez Nuñez; C Kunst & D Grasso. 2017. Rol de los sistemas silvopastoriles de Chaco en la conservación de la materia orgánica y la biodiversidad del suelo. En: Albanesi, A; J Dominguez Nuñez; S Hleman; M Nazareno & S Rodriguez (Eds). *Aportes de la FAyA (UNSE) para el Desarrollo Agropecuario y Agroindustrial del NOA. Tomo 2: Cadena de Valor en Sistemas Pecuarios*. Universidad Nacional de Santiago del Estero, Santiago del Estero, Argentina. Págs: 101-123.
- Silberman, J; A Albanesi & D Grasso. 2016. Manejo de bosques con ganadería integrada: Impacto en las comunidades microbianas del suelo. *Cienc Suelo (Argentina)*. 34(2): 211-21.
- Silberman, J; A Anriquez; J Dominguez Nuñez; C Kunst & A Albanesi. 2015. La cobertura arbórea en un sistema silvopastoril del chaco y su contribución diferencial al suelo. *Cienc Suelo (Argentina)* 33 (1): 19-29.
- Smith, J; B Pearce & M Wolfe. 2012. Reconciling productivity with protection of the environment: Is temperate agroforestry the answer?. *Renewable Agriculture and Food Systems*. 28(1): 80–92.
- Tardy, V; A Spor; O Mathieu; J Lévêque; S Terrat; P Plassart & G Seddaiu. 2015. Shifts in microbial diversity through land use intensity as drivers of carbon mineralization in soil. *Soil Biology & Biochemistry* 90: 204-213.
- Torsvik, V & L Ovreas. 2002. Microbial diversity and function in soil: from genes to ecosystems. *Current Opinion in Microbiology* 5: 240-245.
- Tosi, M; O Correa; M Soria; J Vogrig; O Sydorenko & M Montecchia, M. 2016. Land-use change affects the functionality of soil microbial communities: A chronosequence approach in the Argentinian Yungas. *Applied Soil Ecology* 108: 118–127.
- Vallejo, V; Z Arbelí; W Terán; N Lorenz; R Dick & F Roldan. 2012. Effect of land management and *Prosopis juliflora* (Sw.) DC trees on soil microbial community and enzymatic activities in intensive silvopastoral systems of Colombia. *Agriculture, Ecosystems and Environment*.150: 139-148.
- Vallejo, VE; F Roldan & RP Dick. 2010. Soil enzymatic activities and microbial biomass in an integrated agroforestry chronosequence compared to monoculture and a native forest of Colombia. *Biology and Fertility of Soils*. 46 (6): 577-587.
- Vallejos, M; JN Volante; MJ Mosciaro; LM Vale; ML Bus tamante & JM Paruelo. 2015. Transformation dynamics of the natural cover in the Dry Chaco ecoregion: A plot level geo-database from 1976 to 2012. *Journal of Arid Environments*.123: 3-11.
- Vitali, F; G Mastromei; G Senatore; C Caroppo & E Casalone. 2016. Long lasting effects of the conversion from natural forest to poplarplantation on soil microbial communities. *Microbiological Research* 182: 89–98.
- Volante, JN; D Alcaraz-Segura; MJ Mosciaro; EF Viglizzo & JM Paruelo, J.M. 2012. Ecosystem functional changes associated with land clearing in NW Argentina. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 154: 12-22.
- Volante, JN; JM Mosciaro; GI Gavier-Pizarro & JM Paruelo. 2016. Agricultural expansion in the Semiarid Chaco: Poorly selective contagious advance. *Land Use Policy*. 55: 154-165.
- Yang, N; D Zou; M Yang; M Fu; Z Lin & L Zhao. 2016. Variations of soil microbial community diversity in purple soils at different re-vegetation stages on sloping-land in Hengyang, Hunan Province. *Linye Kexue/Scientia Silvae Sinicae*. 52(8):146- 156.
- Zhang, W; K Lu; K Yang & J Zhu. 2016. Impacts of conversion from secondary forests to larch plantations on the structure and function of microbial communities. *Applied Soil Ecology* 111: 73-83.