

# ACUMULACIÓN DE CARBONO Y SU DINÁMICA EN FORESTACIONES, SISTEMAS SILVOPASTORILES Y PASTIZALES EN EL NE DE LA PROVINCIA DE CORRIENTES, ARGENTINA

CARBON ACCUMULATION AND ITS DYNAMICS IN AFFORESTATION, SILVOPASTORAL SYSTEMS AND GRASSLANDS IN THE N.E. OF CORRIENTES, ARGENTINA

Fecha de recepción: 30/09/2016 // Fecha de aceptación: 02/05/2017

## Maria Belen Rossner

Ing. Agr. Profesional Investigador. EEA Cerro Azul, INTA, Ruta Nacional 14 Km 1085. Cerro Azul, Misiones, Argentina. rossner.maria@inta.gov.ar

## German Kimmich

Ing. Agr. Asesor Privado. Investigador Adjunto. Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad del Salvador (Gdor. Virasoro, Ctes) Leandro N. Alem, Misiones, Argentina. germankimmich@gmail.com

## Roxana Paola Ecclesia

Ing. Agr. Msc. Profesional Investigador. EEA Paraná, INTA, Ruta 11 Km. 12,5, Oro Verde, Entre Ríos, Argentina. ecclesia@agro.uba.ar

## RESUMEN

En los sistemas silvopastoriles (SSP), tanto el sombreado como el pastoreo afectan la producción primaria del componente forrajero, el agua, la materia orgánica del suelo y el ciclo del carbono. El objetivo fue evaluar los cambios en el stock de carbono y su dinámica en forestaciones y SSP y el efecto de diferentes niveles de radiación y pastoreo sobre la productividad primaria neta aérea (PPNA) del componente forrajero en un SSP en el NE de Corrientes. Se seleccionaron tres sitios, cada uno de los cuales conformó un trío (SSP-forestación-pastizal) de manejo y edades similares. Se tomaron muestras de suelo y biomasa forrajera y se estableció un ensayo con *Pinus taeda* y *Brachiaria brizantha* para evaluar las interacciones entre radiación y pastoreo. El contenido de COS no cambió por el uso forestal y silvopastoril, aunque el ciclo fue mayor en los últimos al encontrarse más C nuevo en estos sistemas, resultado de más entradas y salidas de C del suelo. La productividad primaria neta aérea de la pastura en las condiciones de estudio fue afectada en mayor medida por el pastoreo que por el nivel de sombra. Estos resultados indican que deberían buscarse estrategias

## SUMMARY

In silvopastoral systems, both shading and grazing affect forage primary production, water, soil organic matter and carbon cycling. The aim was to evaluate carbon stock changes and their dynamic in afforestation and SSP and the effect of different levels of grazing and radiation on the forage Aerial Net Primary Productivity (ANPP) in SSP in the NE of Corrientes. Three sites were selected; each one of them formed a trio (SSP-afforestation-grassland) with similar age and management. Soil and forage biomass samples were taken and a *Pinus taeda* and *Brachiaria brizantha* study was established to evaluate interactions between radiation and grazing. The COS content did not change due to forest and silvopastoral use, although the cycling was greater in the last ones when more C was found in these systems, resulting from more C inputs and outputs from the soil. The aerial net primary productivity of pasture in the study conditions was affected to a greater extent by grazing than by the level of shade. These results indicate that management strategies should be sought to ensure the accumulation of brush to maintain the levels of COS in these systems.

de manejo que garanticen la acumulación de broza para mantener los niveles de COS en estos sistemas.

**Palabras clave** Brachiaria, Carbono orgánico del suelo, pastizales, *Pinus*.

**Keywords** Brachiaria, Organic Carbon in Soil, grassland, *Pinus*.

## INTRODUCCIÓN

Los sistemas silvopastoriles (SSP) constituyen una de las variantes de los sistemas agroforestales, donde coexisten árboles, especies forrajeras y animales en pastoreo. Las interacciones generadas por los distintos componentes modifican el flujo de agua y nutrientes y la disponibilidad de radiación para el crecimiento de las especies forrajeras y del estrato herbáceo respecto a los sistemas forestales o ganaderos puros (Pezo y Ibrahim, 1999, Fassola *et al.* 2005a, Funes *et al.* 2009). Si bien el dosel arbóreo reduce las temperaturas extremas para el componente forrajero (Lacorte y Esquivel, 2009, Pachas 2010), el crecimiento de las especies herbáceas y forrajeras está principalmente determinado por la menor radiación incidente recibida a través de la copa de los árboles (Sophanodora 1990, Pezo y Ibrahim 1999, Fassola *et al.* 2005 y 2006). Del mismo modo, se genera una competencia por el uso de agua y nutrientes, aunque el hecho de explorar nichos diferentes podría resultar en una utilización más eficiente de los recursos (Noordwijk 1989, Ong *et al.* 1991 a y b). Estudiar las interacciones que ocurren dentro del sistema en cuanto a la utilización del carbono, los nutrientes y el agua, permitiría predecir las condiciones de manejo que maximicen la eficiencia en la utilización de los recursos. Aquellos factores que modifiquen la asignación de los mismos a través de cambios en la productividad primaria neta (PPN) del sistema, su partición o la producción de raíces, producirán cambios en el carbono orgánico de suelo (COS) en el tiempo (Lugo y Brown 1993, Lal *et al.* 1995). La partición de la productividad es comparable en una pastura y en un pastizal, mientras que la relación subterráneo/aéreo es menor en las especies forestales (Ruimy *et al.* 1994). El pastoreo favorece la partición a órganos subterráneos (Milchunas y Lauenroth 1993, Piñeiro *et al.* 2009), mientras que la disminución de la radiación produce un efecto opuesto, favoreciendo la partición hacia los órganos aéreos (Wong 1990, Dias-Filho 2000). Por esto, es esperable encontrar en los SSP patrones de partición diferentes de acuerdo al grado de iluminación recibido por la pastura y al efecto del pastoreo. Las investigaciones a nivel local indican que en general la productividad aérea (PPNA) desciende cuando el porcentaje de sombra supera el 60% en las especies más adaptadas a la sombra, (Fassola *et al.* 2006) y que la biomasa de raíces en gramíneas disminuye en promedio entre 40 a 70% bajo diferentes niveles de sombra, respecto al cielo abierto (Pachas 2010). Debido

a que las raíces, en especial las finas, son una de las principales vías de ingreso de C al suelo, es necesario

identificar qué manejos favorecen su desarrollo y si se corresponde con las tendencias en el COS.

A partir de esta premisa se podría hipotetizar que los SSP alcanzarían balances positivos de COS en un período de tiempo menor que las forestaciones puras, principalmente debido a la incorporación del C proveniente de la pastura implantada bajo el dosel de los árboles, por lo tanto podrían pensarse como una alternativa más sustentable a los sistemas forestales puros, en términos de balance de C-MOS.

Una de las variables de manejo que ha sido evaluada para diferentes especies forrajeras en SSP es el nivel de sombra recibido por las mismas apuntando a una mayor productividad. Sin embargo, hasta el momento no se ha considerado su interacción con otras variables de manejo, como por ejemplo la presión de pastoreo, una de las principales determinantes de la persistencia de la pastura.

En este trabajo se evalúan los cambios en el stock y la dinámica del COS en forestaciones puras y SSP implantados sobre pastizales y sobre *Brachiaria brizantha*. A su vez sobre esta última situación se evalúa el efecto conjunto de pastoreo y nivel de sombra sobre la PPNA de dicha forrajera en SSP.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se llevó a cabo en el Establecimiento "El Timbó", en la localidad de Garruchos, Corrientes (28°17'57.22" S y 55°51'09.91" O) ubicado sobre lomas del distrito de los Campos del Norte de los pastizales del Río de La Plata (Ligier *et al.* 1988, Soriano *et al.* 1992). Se ubicaron tres sitios y en cada uno tríos (SSP-forestación-pastizal) de similar edad entre la plantación forestal y silvopastoril (6-8; 12-13 y 18-19 años). Se tomaron muestras de suelo de 0-10, 10-20, 20-30, 30-50, 50-70 y 70-100 cm de profundidad y muestras de broza proveniente de la vegetación en superficie. En el suelo se separó la fracción de la materia orgánica particulada (MOP) según Cambardella & Elliot (1992). En cada fracción de suelo y en la broza se determinó la concentración de C y la abundancia natural de <sup>13</sup>C con un analizador elemental (Carlo Erba) acoplado a un espectrómetro de masas (Finnigan MAT) en el Laboratorio de Isótopos Estables (DEVIL), de la Universidad de Duke, USA.

Los contenidos de Carbono orgánico de suelo asociado a la materia orgánica (C-MOS) y asociado a la materia orgánica particulada (C-MOP) en Mg ha<sup>-1</sup> se estimaron según masa constante (Solomon *et al.*, 2002).

Se estimó el C nuevo ( $C_n$ ), formado a partir del nuevo uso del suelo, en la MOS total y en la fracción MOP, según Balesdent y Mariotti (1996) en la ecuación 1.

$$Cn.MOS (\%) = (\delta - \delta_o/\delta_v - \delta_o). 100 \quad (1)$$

Donde Cn-MOS es el C nuevo en la MOS, derivado de la vegetación nueva implantada (forestaciones o SSP);  $\delta$  es el  $\delta^{13}C$  del suelo de la plantación;  $\delta_o$  es el  $\delta^{13}C$  del suelo nativo original y  $\delta_v$  es el  $\delta^{13}C$  de la broza proveniente de la vegetación nueva. Del mismo modo, se estimó el C nuevo de la fracción MOP (Cn-MOP), reemplazando los valores de  $\delta$  y  $\delta_o$  de la ecuación 1 por los correspondientes a la fracción MOP. Conociendo el porcentaje de C nuevo, por diferencia fue posible estimar la proporción de C original remanente ( $C_o$ ) en el uso actual (ecuación 2). Los resultados fueron analizados mediante ANOVA y prueba de comparación de medias por el método de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

$$Co(\%) = 100 - Cn - MOS \quad (2)$$

En uno de los sitios SSP, compuesto por *Pinus taeda* y *Brachiaria brizantha*, se instaló un ensayo con diseño factorial de dos factores: sombra (40 y 70 % de sombra respecto a cielo abierto) y pastoreo (con y sin pastoreo). El arreglo fue en bloques completos al azar, con tres repeticiones, siendo cada repetición un lote independiente. Las parcelas con pastoreo se mantuvieron con una carga alternada de 300 kg PV ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y en cada una se instalaron clausuras móviles para medir el crecimiento de la pastura. La productividad primaria neta aérea (PPNA) de la pastura se estimó mediante cortes sucesivos cada 30 días durante el período de crecimiento (noviembre 2012 a abril 2013) y cada 60 días durante el receso invernal y segundo período de crecimiento (mayo 2013 a septiembre 2014). Los cortes se realizaron al ras y para estimar crecimiento dentro de cada clausura móvil se cortó a la altura de pastoreo midiendo el remanente no pastoreado y luego cada una se movió a otro punto de la parcela, previo corte de emparejamiento del forraje. Los resultados fueron analizados mediante ANOVA y prueba de comparación de medias por el método de Tukey ( $p \leq 0,01$ ).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir de los 30 cm de profundidad no se encontraron diferencias significativas para las variables estudiadas, por lo que se presentan y discuten los resultados de 0 a 20 cm de profundidad.

La formación de Cn-MOS en los primeros 20cm de suelo fue 10 Mg ha<sup>-1</sup> mayor en los SSP que en las forestaciones puras (Figura 1 a). La pastura bajo el dosel arbóreo incorporaría más C en el suelo, comportándose de manera similar a un sistema de

pastura pura, tal como se ha observado anteriormente (Cerri *et al.* 2004, Lisboa *et al.* 2009, Eclesia 2011). Ambos sistemas finales reducen el  $C_o$  del pastizal (30% en SSP y 10% en forestación, Tabla 1). En la MOP (Figura 1b) en cambio, no se observaron diferencias en el  $C_n$ , y ambos sistemas generaron similares reducciones del  $C_o$  MOP (50 % respecto al pastizal de referencia, Tabla 1). Estos resultados sugieren que en los SSP la dinámica del C es más acelerada respecto a las forestaciones, es decir, entra y sale más C del suelo.

La PPNA de la pastura presentó una marcada variación interanual (Tabla 2). Al analizar cada ciclo de crecimiento por separado, durante el primer ciclo el factor predominante en la PPNA fue el pastoreo, ya que para ambos niveles de sombra, la exclusión del pastoreo tuvo una PPNA significativamente mayor (9842 y 12506 Kg ha<sup>-1</sup> respectivamente,  $p \leq 0,01$ ). Esto indicaría que a nivel de productividad, el pastoreo fue el factor que marcó la diferencia, lo que coincide con Lemaire (2001) y D'Angelo *et al.* (2005). Sin embargo, en el segundo ciclo de crecimiento, la interacción entre ambos factores fue significativa ( $p \leq 0,01$ ), donde la mayor productividad se observó con mayor radiación y sin pastoreo.

Considerando ambos ciclos de crecimiento, los valores de PPNA en pastoreo no presentan diferencias significativas entre niveles de radiación, lo que sugiere que entre ambos factores, predomina el del pastoreo en cuanto a la PPNA de la pastura, contrario a lo observado por Pezo e Ibrahim (1999), Samarakoon *et al.* (1999), Rossner (2008) y Pachas (2010). Esto podría explicarse por la diferencia de este estudio al analizar ambos factores actuando en conjunto y en sistemas sometidos al pastoreo donde los animales no solo defolían las pasturas sino que además producen cambios en la dinámica del agua y los nutrientes en sistemas en pastoreo (Lacorte *et al.* 2003) y a la complementariedad en el uso de recursos entre árboles y pasturas (Ong 1991a).

Al reemplazar los pastizales naturales por forestaciones y SSP la productividad primaria neta aérea aumenta, especialmente concentrados en la masa forestal y parte en la broza (Rossner *et al.* 2015, Eclesia *et al.* 2015). Sin embargo, ello no se traduce en un mayor aporte al C que entra al suelo ya que no se observan cambios significativos en los contenidos de COS, sino que al parecer el C original se reduce pero es equiparado con una mayor acumulación de C nuevo en los SSP.

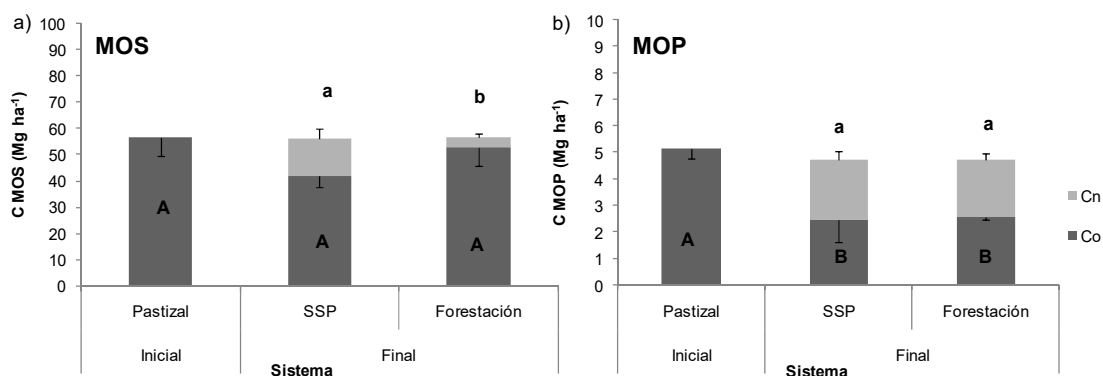


Figura 1: (a) Contenido de carbono original (Co) y de carbono nuevo (Cn) en la materia orgánica total del suelo (MOS) y (b) en la materia orgánica particulada (MOP), en los primeros 20 cm de profundidad. Diferentes letras minúsculas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) del Cn entre forestación y sistema silvopastoril (SSP). Diferentes letras mayúsculas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) del Co entre el pastizal inicial y el sistema final (Forestación y SSP).

Figure 1: (a) Original Carbon stock (Co) and New Carbon (Cn) in Soil Organic Matter (MOS) and b) particulate organic matter (MOP) at 0-20 cm deep. Different small letters indicate significant differences ( $p < 0.05$ ) of Cn between afforestation and SSP. Different capital letters indicate significant differences ( $p < 0.05$ ) of Co between initial grassland system and the final system (afforestation and SSP).

Tabla 1: Contenidos de C-MOS y C-MOP en forestaciones y sistemas silvopastoriles (SSP) en el NE de Corrientes. Letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

Table 1. C-MOS and C-MOP contents in afforestation and silvopastoral systems (SSP) in the NE of Corrientes. Different letters indicate significant differences ( $p < 0.05$ ).

Profundidad (cm)	Forestación	Pastizal	SSP
	C-MOS (Mg ha <sup>-1</sup> )		
0-20	56.56 ± 6.0 (ns)	58.13 ± 5.5	53.584 ± 3.1 (ns)
20-100	139.42 ± 4.3 (ns)	135.52 ± 13	136.51 ± 8.3 (ns)
	C-MOP (Mg ha <sup>-1</sup> )		
	0-20	4.94 ± 0.2 (ns)	5.15 ± 0.4
20-100	5.73 ± 2.0 (ns)	4.74 ± 0.3	4.56 ± 0.5 (ns)

Tabla 2. Productividad Primaria Neta Aérea (PPNA) de *Brachiaria brizantha* en sistemas silvopastoriles con dos niveles de sombra con y sin pastoreo, en el NE de Corrientes, Argentina. Periodo comprendido entre Noviembre 2012 y Septiembre 2014. Letras distintas indican diferencias significativas entre filas en la misma columna ( $p \leq 0,01$ ).

Table 2. Aerial Net Primary Productivity (ANPP) of *Brachiaria brizantha* in silvopastoral systems with two shading levels, with and without grazing in the NE of Corrientes, Argentina. Period between November 2012 to September 2014. Different letters indicate significant differences between files in the same column ( $p \leq 0.01$ ).

PPNA kg ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>		Período 2012-2013	Período 2013-2014
40% sombra	Clausura	18.109.13 ± 1601.97 A	10.324.67 ± 506.11 A
	Pastoreo	8.267.83 ± 1601.97 B	3.561.13 ± 506.11 C
70% sombra	Clausura	20.661.87 ± 1601.97 A	5.906.87 ± 506.11 B
	Pastoreo	8.155.67 ± 1601.97 B	3.177.00 ± 506.11 C

## CONCLUSIÓN

El contenido de COS no cambió por el uso forestal y silvopastoril, aunque el ciclado fue mayor en los últimos al encontrarse más C nuevo en estos sistemas, resultado de más entradas y salidas de C del suelo. La productividad primaria neta aérea de la pastura en las condiciones de estudio fue afectada en mayor medida por el pastoreo que por el nivel de sombra. Estos resultados indican que deberían buscarse estrategias de manejo que garanticen la acumulación de broza para mantener los niveles de COS en estos sistemas.

## AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Agr. Marcelo Gembarowsky del establecimiento El Timbó por su valiosa colaboración, a becarios, pasantes y alumnos y dos evaluadores anónimos que mejoraron este trabajo. Financiado con fondos de PIA12029 y Proyectos INTA PNFOR1104075, MSNES 1242101.

## BIBLIOGRAFÍA

- BALESDENT J. & Mariotti A. 1996. Measurement of soil organic matter turnover using  $^{13}\text{C}$  natural abundance. In: Boutton, TW; Yamasaki, SI (Eds.), *Mass Spectrometry of soils* Marcel Dekker, New York, US, 83-11.
- CAMBARDELLA C.A., Elliott E.T. 1992. Particulate Soil Organic-Matter Changes across a Grassland Cultivation Sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:777.
- CERRI C.E.P., Paustian K., Bernoux M., Victoria R.L., Melillo J.M., Cerri C.C. 2004. Modeling changes in soil organic matter in Amazon forest to pasture conversion with the century model. *Glob Change Biol* 10 :815-832.
- DIAS-FILHO M. 2000. Growth and biomass allocation of the C4 grasses *Brachiaria brizantha* and *B. humidicola* under shade. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 35: 2335-2341.
- D'ANGELO G.H., Postulka E.B. & Ferrari L. 2005. Infrequent and intense defoliation benefits in dry-matter accumulation and persistence of clipped *Arrhenatherum elatius*. *Grass and Forage Science* 60: 17-24.
- ECLESIA R.P. 2011. Consecuencias del reemplazo de ecosistemas naturales sudamericanos por forestaciones y pasturas megatérmicas: efectos sobre el carbono orgánico edáfico. 71.
- ECLESIA R.P., Rossner M.B., Kimmich G., Piñeiro G. 2015. Dinámica del carbono orgánico de suelo en sistemas forestales y silvopastoriles del NE de Corrientes. *Actas 3er Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles*. P. Peri (Ed). Ediciones INTA:631-635.
- FASSOLA H.E., Lacorte S.M., Pachas A.N., Pezzuti R. 2005. Factores que influyen la producción de biomasa forrajera de *Axonopus jesuiticus* Valls, bajo dosel arbóreo de *Pinus taeda* L. en el Nordeste de Corrientes. *RIA* 34: 21-38.
- FASSOLA H.E., Lacorte S.M., Pachas A.N., Pezzutti R. 2006. Efecto de distintos niveles de sombra del dosel de *Pinus taeda* L. sobre la acumulación de biomasa forrajera de *Axonopus compressus* (Swartz) Beauv. *Revista Argentina de Producción Animal* 26: 101-111.
- FUNES G., Díaz S., Venier P. 2009. La temperatura como principal determinante de la germinación en especies del Chaco seco de Argentina. *Ecología Austral* 19: 129-138.
- LACORTE S.M. y Esquivel J. 2009. Sistemas silvopastoriles en la Mesopotamia Argentina. *Reseña del conocimiento, desarrollo y grado de adopción*. *Actas 1er Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles*. P. Peri (Ed). Ediciones INTA. 1:70-82.
- LAL R., Kimble J.M., Levine E., Stewart B.A. 1995. World soils and greenhouse effect: an overview. In: Lal R., Kimble J.M., Levine E., Stewart A. (Eds.). *Soil and global change*. Boca ratón, FL, US, CRC Press 1-7.
- LEMAIRE G. 2001. Ecophysiology of grasslands: dynamics aspects of forage plant populations in grazed swards. *Proceedings of the International XIX Grassland Congress, Brazil*: 29- 37.
- LIGIER H.D., Matteo H.R., Polo H.L., Rosso J.R. 1988. Mapa de suelos de la provincia de Misiones. En: INTA (Ed) *Atlas de suelos de la República Argentina*, Ediciones INTA 2:107-154.
- LISBOA C., Conant R., Haddix M. 2009. Soil carbon turnover measurement by physical fractionation at a forest-to-pasture chronosequence in the Brazilian Amazon. *Ecosystems* (12) 7:1212-1221.
- LUGO A.E., Brown S. 1993. Management of tropical soils as sinks or sources of atmospheric carbón. *Plant and soil* 96:185-196.
- NOORDWIJK M van. 1989. Rooting depth in crooping systems in the humid tropics in relation to nutrient use efficiency. In: *Nutrient management for*

- food crop production in tropical farming systems. J van der Heide (Ed.). Haren, Netherlands, Institute of Soil fertility, 129-144.
- ONG C.K., Corlett J.E., Singh R.P., Black C.R. 1991<sup>a</sup>. Above and belowground interactions in agroforestry systems. In: Agroforestry: principles and practices. Proceedings of an international conference 23-28 July 1989 at University of Edinburgh, U.K. P.G. Jarvis (Ed.). Amsterdam, Netherlands; Elsevier 45-57.
- ONG C.K., Odongo J.C.W., Marshall F., Black C.R. 1991<sup>b</sup>. Water use by trees and crops: five hypotheses. *Agroforestry Today* 3:7-10.
- PACHAS A.N.A. 2010. *Axonopus catarinensis* y *Arachis pintoi*. Alternativas forrajeras en sistemas silvopastoriles de la provincia de Misiones, Argentina. Tesis presentada para optar al título de Magister de la Escuela para Graduados Alberto Soriano, Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina, 142 pp.
- PEZO D., Ibrahim M. 1999. Sistemas silvopastoriles. Segunda Edición. Módulo de Enseñanza Agroforestal N° 2. CATIE. Serie Materiales de Enseñanza No. 44. 275 p.
- PIÑEIRO G., Paruelo J.M., Jobbagy E.G., Jackson R.B., Oesterheld M. 2009. Grazing effects on belowground C and N stocks along a network of cattle exclosures in temperate and subtropical grasslands of South America. *Global Biogeochem. Cycles* 23:GB2003.
- ROSSNER M.B., Houriet J.L., Pavetti D. 2008. Descripción de pasturas evaluadas en sistemas silvopastoriles del centro sur de la Provincia de Misiones. INTA EEA Cerro Azul, Miscelánea N°60: 17 pp.
- ROSSNER M.B. 2015. Dinámica de la Productividad Primaria Neta en Sistemas silvopastoriles cultivados en el NE de Argentina. Actas 3er Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles. P. Peri (Ed). Ediciones INTA: 146-150.
- RUIMY A., Saugier B., Dedieu G. 1994. Methodology for the estimation of terrestrial net primary production from remotely sensed data. *J Geophysical Res* 99:5263–5283.
- SAMARAKOON S., Wilson J. & Shelton H. 1999. Growth, morphology and nutritive quality of shaded *Stenotaphrum secundatum*, *Axonopus compressus* and *Pennisetum clandestinum*. *Journal of Agricultural Science* 114: 161-169.
- SOPHANODORA P. 1990. Light response curve criteria for species selection under plantation crops. 3rd Proc Forage RWG SEA 175–178.
- SORIANO A., León R.J.C., Sala O.E., Lavado R.S., Deregibus V.A. 1992. Río de la Plata grasslands. In: Coupland, RT (Ed.), *Ecosystems of the world 8A. Natural grasslands. Introduction and western hemisphere*. Elsevier, New York, 367-407.
- WONG, C. 1990. Shade Tolerance of Tropical Forages: A Review. In: HM Shelton, WW Stür (Eds). A Preliminary Report. Forages for Plantation Crops. *ACIAR Proceedings* 32: 65-69.