

Sistemas Silvopastoriles: ¿Cómo Afectan Las Propiedades Bioquímicas De Suelos Templados?

P.F Di Gerónimo Paula¹; C. Videla¹; M.E Fernandez²; E.C. Zamuner¹; P. Laclau³

Resumen

La intensificación del uso agrícola en la Región Pampeana generó degradación física, química y biológica del suelo, ante lo cual, es necesario explorar alternativas para detener este proceso. En sitios de aptitud agrícola, se recurre al sistema de siembra directa (SD), mientras que en zonas serranas, donde SD no es viable, los sistemas silvopastoriles serían una alternativa a evaluar. El objetivo de este trabajo fue evaluar propiedades químicas de suelos de montes de pino y de áreas recolonizadas por vegetación nativa luego de su raleo, y compararlas con pastizal natural y suelo bajo uso agrícola. En un establecimiento agropecuario de Tandil (Bs.As.) se analizaron: Monte de pinos (MP), Pastizal secundario (PS) luego del raleo de franjas de MP, Agricultura (AGR) y Pastizal Natural (PN). Se analizaron: pH, Conductividad eléctrica (CE), Capacidad de intercambio Cationico (CIC), C orgánico total (COT), P extractable (P), N potencialmente mineralizable (Nan), mineralización potencial de C y N del mantillo en MP y PS, y, sólo en MP, PS y PN, producción de materia seca. Todos los manejos acidificaron el suelo y aumentaron la CE con respecto a PN. Bajo AGR disminuyó el COT en relación a PN (36,6 y 42,6 gC kg⁻¹, respectivamente), y bajo MP y PS aumentó (69,8 gC kg⁻¹). La CIC aumentó en el sistema forestal, asociado al aumento de COT. El P extractable aumentó bajo AGR por la fertilización. El mayor Nan fue en PN (249,5 mg N kg⁻¹ de 0-5 cm de suelo), y el menor en AGR (91,3 mg N kg⁻¹ a igual profundidad). Aunque PS y MP tuvieron mayor COT, presentaron menor Nan que PN. MP y PS mineralizaron igual cantidad de C, pero PS mineralizó más N que MP. El PS fue invadido por malezas, por lo que su producción de materia seca no pudo compararse con la de PN.

Palabras clave: agricultura; pastizal natural; propiedades de suelo.

Silvopastoral Systems: How The Biochemical Properties Of Temperate Soils Affected?

Abstract

The intensification of agricultural use in the Pampas has generated physical, chemical and biological soil degradation; it is though necessary to explore alternatives to stop this process. In areas suitable for agriculture, no till system (SD) could be applied, while in hilly areas, where SD is not feasible, silvopastoral systems would be a possible alternative. The objective of this study was to evaluate soil chemical properties of pine forests and areas recolonized with native vegetation after having been thinned, and compare them with natural grassland and agricultural areas. In an agricultural farm in Tandil (Buenos Aires) the following areas were analyzed: pine forest (MP), secondary grassland after thinning stripes of MP (PS), agriculture (AGR) and natural grasslands (PN). The following variables were analyzed: pH, electrical conductivity (EC), Cation Exchange Capacity (CEC), total organic C (TOC), extractable P (P), N mineralization potential (Nan), potential C and N mineralization of mulch in MP and PS, and only in MP, PS and PN, dry matter production. All dealings acidified the soil and increased the EC compared to PN. TOC decreased under AGR as referred to PN (36.6 and 42.6 gC kg⁻¹, respectively), but it increased under MP and PS (69.8 gC kg⁻¹). CIC increased in the forest system, associated with increased COT. The extractable P increased under AGR because of fertilization. The highest Nan was in PN (249.5 mg N kg⁻¹ soil 0-5 cm), and the lowest in AGR (91.3 mg N kg⁻¹ at the same depth). Although PS and MP had higher TOC, they had lower Nan than PN. MP and PS mineralized equal C amounts, but PS mineralized more N than MP. As PS was invaded by weeds, its dry matter production could not be compared with PN.

Keywords: agriculture; natural grassland; soil properties.

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, UNMdP, ruta 226 km 74,5 digeronimopaula@gmail.com, ² CONICET, ³ INTA.

Introducción

El proceso de agriculturización en nuestro país dio lugar al uso más intensivo de los suelos, provocando pérdidas significativas de materia orgánica (MO) (Sainz Rozas *et al.*, 2011) y una degradación física (Aparicio y Costa, 2007), química y biológica de los suelos (Ferrerías *et al.*, 2007).

Se han encontrado severas disminuciones del carbono orgánico total (COT) del suelo con diferencias entre -22 y +64 % en sistemas cultivados en comparación con sistemas naturales, (Alvarez *et al.*, 2014). Como consecuencia, se redujo la capacidad del suelo de abastecer nutrientes, principalmente N y P. Asociado al mayor uso agrícola de los suelos se han encontrado disminuciones del Nitrógeno potencialmente mineralizable (Nan) en la capa arable (Reussi Calvo *et al.*, 2013) y disminución en la concentración de P en el suelo (Sainz Rozas *et al.*, 2012). Además, la mencionada intensificación implica elevadas tasas de extracción de nutrientes, incremento del uso de fertilizantes amoniacales y falta de reposición de nutrientes como calcio (Ca) y magnesio (Mg). Como consecuencia, se ha producido un paulatino aumento de la acidez de los suelos (Vázquez, 2005).

Ante la situación reconocida de pérdida de calidad de suelo, existen varias alternativas de manejo que pueden detener el proceso de degradación, una de estas alternativas es el

empleo del sistema de siembra directa (SD). Si bien este sistema puede mejorar la condición del suelo, hay situaciones en que no es suficiente o que la condición del suelo no es apta para su aplicación, como ocurre en áreas con mucha pendiente o pedregosas, tales como las zonas serranas del sudeste de la provincia de Buenos Aires. Una alternativa a evaluar en estas zonas la constituyen los sistemas silvopastoriles (SSP), en los que se desarrollan conjuntamente, árboles y pasturas que se explotan para la producción animal. Existe poca información disponible sobre los sistemas agroforestales templados, su efecto en las propiedades del suelo y la dinámica de crecimiento de las especies de sotobosque. En función de las problemáticas planteadas, se plantearon los siguientes objetivos: i) Evaluar propiedades químicas de suelos de montes forestales implantados y de áreas recolonizadas por vegetación nativa o naturalizada luego de la eliminación de franjas de árboles en el monte, ii) Comparar la influencia del sistema forestal de plantación densa con un pastizal natural y con el manejo agrícola tradicional sobre las propiedades químicas del suelo y iii) Estimar la productividad de las especies herbáceas que colonizan franjas deforestadas para la implementación de SSP en plantaciones densas.

Materiales y métodos

Se trabajó en un establecimiento agropecuario ubicado en el partido de Tandil en el que se seleccionaron situaciones de manejo establecidas sobre suelos con características físico-químicas similares:

Monte de pinos (MP): forestación de 22 años de antigüedad de *Pinus radiata* D. Don. con una densidad de plantación inicial de 1600 pies/ha.

Pastizal secundario (PS): franjas de 10 m de ancho raleadas en el monte, 2 y 3 años antes de este estudio.

Agricultura (AGR): lote con más de 20 años de siembra directa y rotación Trigo-Cebada/soja/girasol-colza.

Pastizal Natural (PN): ubicado al pie de la sierra, prácticamente sin intervención antrópica.

Se realizaron muestreos de suelo en las cuatro situaciones seleccionadas (MP, PS, PN y AGR) en cuatro momentos del año (diciembre de 2013, marzo, junio y octubre de 2014), a dos profundidades: 0-5 y 5-20 cm. En cada oportunidad, se tomaron aleatoriamente tres muestras compuestas de 20 submuestras en cada área experimental. Todas las muestras fueron secadas en estufa a 30°C, molidas y tamizadas por 2 mm o 0,5 mm, según el análisis a realizar. En las muestras de suelo del primer muestreo se analizaron: acidez activa, (Dewis y Freitas, 1970), Conductividad eléctrica (Sbaraglia *et al.*, 1988), Capacidad de intercambio de cationes (Summer y Miller, 1996), C orgánico total (Nelson y Sommers, 1982)

y P extractable (Bray y Kurtz, 1945). Además, se estimó el N potencialmente mineralizable por incubación anaeróbica (Waring; Bremner, 1964) en las cuatro fechas de muestreo, por ser un parámetro que presentaría variaciones en función a las condiciones ambientales.

También se realizó un ensayo de mineralización de C y N del mantillo con suelo de MP y PS. Se incubaron muestras de suelo y mezclas suelo-mantillo a 22°C y 80% de la máxima capacidad de retención de agua. Se cuantificó la producción de CO₂ generado por respiración en los días 1, 2, 3, 7, 14, 21 y 28 (Anderson, 1982) y los contenidos de N mineral al inicio y al final del ensayo (Bremner y Keeney 1965).

Por último, en MP, PS y PN se realizaron muestreos de vegetación. Para cada sitio se seleccionaron al azar seis lugares de muestreo en cada manejo, los que fueron georreferenciados y aislados con jaulas de alambre. Inicialmente se registró la composición botánica en cada sitio y se realizó un corte a 5 cm del suelo. En cada momento de muestreo (diciembre de 2013, marzo, junio y octubre de 2014), se cosechó el pasto acumulado utilizando aros de 55 cm de diámetro, el cual se secó en estufa a 60°C a fines de determinar la materia seca. Los datos se analizaron a través del procedimiento GLM SAS Institute Inc. (2008) y las diferencias entre medias se evaluaron con el test LSD a un nivel de significancia del 5%. En el caso del Nan se analizaron separadamente las profundidades

Resultados y discusión

Todas las variables analizadas presentaron diferencias significativas entre sistemas de manejo, profundidades e interacción entre dichos factores.

Todos los manejos redujeron el pH respecto a la situación original (PN), principalmente MP donde se observó la mayor acidificación (0,64 unidades de pH) (Figura 1). Esta reducción habría ocurrido a expensas de un aumento en la saturación de los sitios de intercambio con H^+ , la que se debería a la mayor absorción de cationes de los árboles (Jobbagy y Jackson 2003). También puede asociarse a la composición química del mantillo de pinos: bajo contenido de Ca, y presencia de compuestos como resinas, grasas y lignina, los cuales inhiben la actividad de la fauna, y favorecen la flora fungosa. Esto tendría consecuencias en los productos de la descomposición, cuyo efecto final es una disminución marcada del pH (Schlatter y Otero, 1995). A pesar que el pH de PS fue significativamente menor que PN, la eliminación de los pinos en esa zona provocó un aumento significativo de 0,19 unidades, lo cual indica que la acidificación está directamente asociada a la presencia de pinos y que, al eliminarse los árboles el suelo rápidamente comienza a recuperar su pH original (PN). En cuanto a AGR, la reducción de 0,31 unidades de pH en relación a PN, coincide con la tendencia encontrada para la Región Pampeana de 0,29 unidades de pH (Sainz Rozas *et al.*, 2012). Esto responde a procesos de exportación de bases con las cosechas (Vázquez, 2005), empleo de fertilizantes amoniacales e implementación de siembra directa (Wyngaard, 2010). Las mayores reducciones del pH ocurren en los primeros cm, ya que es en esa zona donde hay mayor influencia de los procesos causales en todos los sistemas analizados.

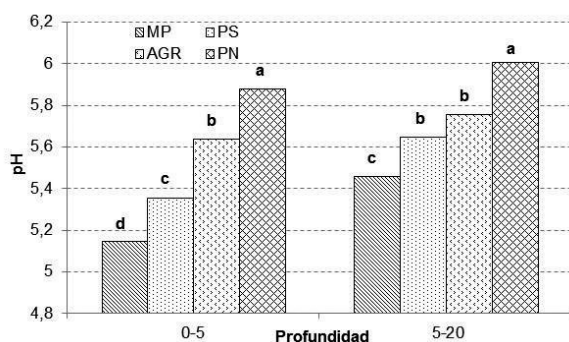


Figura 1. Acidez activa del suelo para diferentes situaciones de manejo (MP: monte de pinos, PS: pastizal secundario luego del desmonte, AGR: agricultura bajo rotaciones y siembra directa y PN: pastizal natural) comparando dos profundidades de suelo (0-5 cm y 5-20 cm). Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas (LSD, $\alpha = 0,05$).

Todos los manejos que alteraron la condición original, generaron aumentos en la CE (Figura 2), pero ninguno alcanzó valores tales que afectaran el normal desarrollo vegetal. En MP y PS se encontraron los mayores valores en ambas profundidades (0,87 y 0,89 $dS\ m^{-1}$, respectivamente) posiblemente asociados a la mayor evapotranspiración que los ár-

boles generan (Jackson *et al.*, 2005). En cambio en AGR, sólo se produjo un aumento de CE en los primeros 5 cm del suelo, probablemente asociado a la aplicación de fertilizantes en superficie.

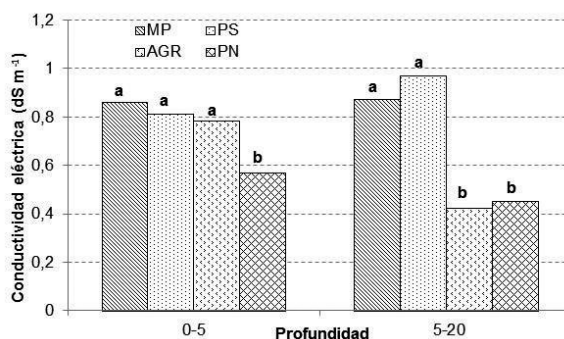


Figura 2. Conductividad eléctrica para diferentes situaciones de manejo (MP: monte de pinos, PS: pastizal secundario luego del desmonte, AGR: agricultura bajo rotaciones y siembra directa y PN: pastizal natural) comparando dos profundidades de suelo (0-5 cm y 5-20 cm). Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas (LSD, $\alpha = 0,05$).

Los mayores valores de COT fueron los de MP y PS, mientras que AGR generó una disminución del COT (Figura 3). El elevado contenido de C en el ecosistema forestal (70,4 $g\ C\ kg^{-1}$) en relación a PN (42,7 $g\ C\ kg^{-1}$) sería consecuencia de la gran cantidad de residuos aportados por los árboles y a su mayor relación C:N (Schlatter y Otero, 1995). Además, el pH del suelo se considera como el factor dominante que controla la transformación microbiana de MO (Kemmitt *et al.*, 2006), por lo que la acidez de MP, favorecería la acumulación de C en el suelo (Shunbao *et al.*, 2012). La reducción promedio en AGR de 6,3 $g\ C\ kg^{-1}$ suelo, con respecto a PN indica que, si bien actualmente el sistema es manejado bajo SD, los años previos de labranza convencional habrían influido (Álvarez, 2005).

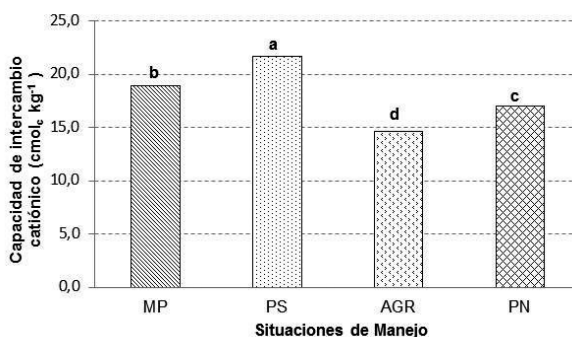


Figura 3. Carbono orgánico total para diferentes situaciones de manejo (MP: monte de pinos, PS: pastizal secundario luego del desmonte, AGR: agricultura bajo rotaciones y siembra directa y PN: pastizal natural) comparando dos profundidades de suelo (0-5 cm y 5-20 cm). Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas (LSD, $\alpha = 0,05$).

Asociado a los mayores valores de COT, la CIC fue significativamente mayor en MP (18,8 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) y PS (21,7 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) que bajo PN (16,9 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) (Figura 4).

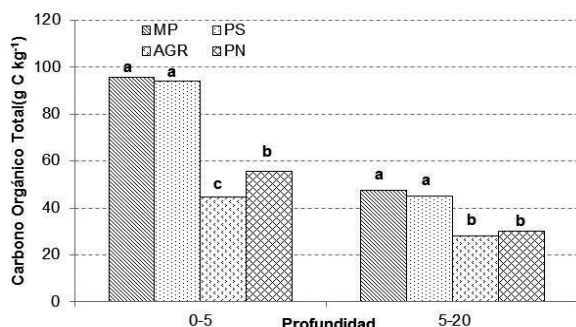


Figura 4. Capacidad de intercambio catiónico para diferentes situaciones de manejo (MP: monte de pinos, PS: pastizal secundario luego del desmonte, AGR: agricultura bajo rotaciones y siembra directa y PN: pastizal natural). Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas (LSD, $\alpha = 0,05$).

Los mayores valores de Nan en todos los meses analizados se encontraron en PN con un promedio de 249,5 mg N kg^{-1} en los primeros 5 cm del suelo, mientras que AGR presentó los menores valores (91,3 mg N kg^{-1} en promedio, a 0-5 cm) (Figura 5). A pesar de que MP y PS presentaron los mayores valores de COT, esto no se tradujo en mayores valores de Nan: Se ha encontrado que el Nan está fuertemente asociado a la disponibilidad de compuestos carbonados lábiles especialmente Carbono Orgánico Particulado (COP) (Studdert *et al.*, 2006), y que la mineralización se ve limitada en condiciones de acidez (Amiotti *et al.*, 2000). Así, la mayor proporción de compuestos recalcitrantes (Wiesmeier *et al.*, 2009) y la acidez limitarían la mineralización en el sistema forestal, mientras que en AGR, los menores valores hallados se corresponden con la menor disponibilidad de COP (Studdert *et al.*, 2006). Además, los 0,19 puntos de pH que recupera el PS con respecto a MP, explicarían en parte los mayores valores de Nan de PS, en relación a MP en los primeros cm de suelo. El com-

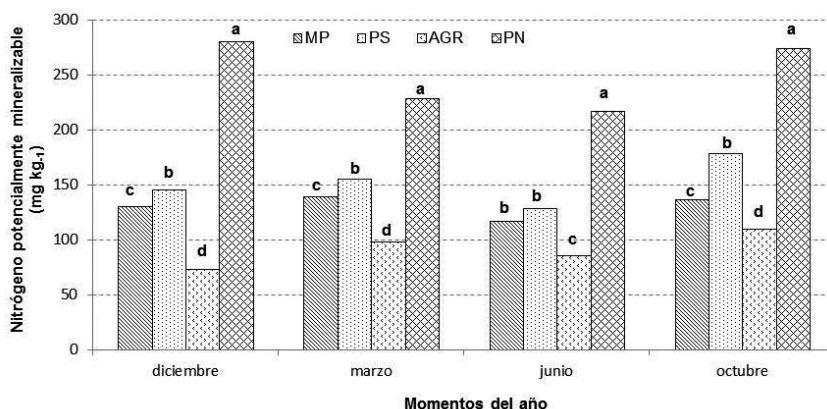


Figura 5: Nitrógeno potencialmente mineralizable para diferentes situaciones de manejo (MP: monte de pinos, PS: pastizal secundario luego del desmonte, AGR: agricultura bajo rotaciones y siembra directa y PN: pastizal natural) en cuatro momentos del año, a 0-5 cm. Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas (LSD, $\alpha = 0,05$).

portamiento a 5-20 cm de suelo fue similar al hallado en los primeros 5 cm, pero con valores menores.

En AGR se hallaron los mayores valores de P extractable (46,7 mg kg^{-1} en promedio), asociado a los altos niveles de fertilización fosfatada. Por otro lado, se observa que PS acumuló significativamente más P extractable en los primeros cm con respecto a PN (Figura 6). Estudios previos indican que existen importantes aportes de P provenientes de los horizontes orgánicos generados bajo *P. radiata* (Garay *et al.*, 2012). En las condiciones de acidez de MP, la presencia de Al y Fe en el complejo de intercambio generaría que el P se adsorbará en incluso se fije (Nair *et al.*, 2004). Así, el aumento de pH en PS, podría generar liberación de P desde sitios previamente ocluidos.

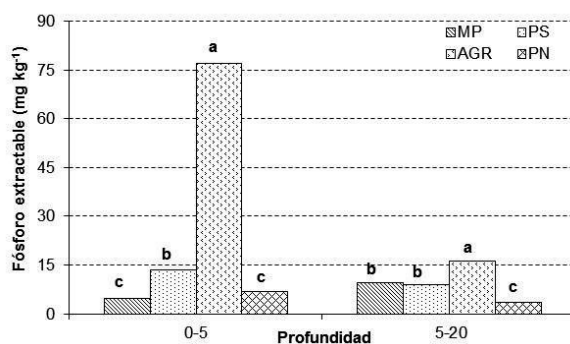


Figura 6. Fósforo extractable para diferentes situaciones de manejo (MP: monte de pinos, PS: pastizal secundario luego del desmonte, AGR: agricultura bajo rotaciones y siembra directa y PN: pastizal natural) comparando dos profundidades de suelo (0-5 cm y 5-20 cm). Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas (LSD, $\alpha = 0,05$).

La incorporación de mantillo aumentó significativamente la producción de CO_2 por respiración (Tabla 1), probablemente en respuesta a una mayor disponibilidad de azúcares y compuestos carbonados simples incorporados (Wagner y Wolf, 1998). En cambio, en los tratamientos sin mantillo la mineralización ocurriría a partir de sustancias menos lábiles de la

MO. También se observó que la mineralización de N, al igual que la de C, aumentó con el agregado de mantillo, mientras que el PS mineralizó significativamente más N que MP (Tabla 1). Esta situación se originaría por una mayor relación C/N y mayor proporción de fracciones recalcitrantes que limitan la mineralización en MP (Dick *et al.*, 2011). Además, como ya se mencionó, la mineralización de la MO y con ello del N se ve afectada por la disminución del pH del suelo (Amiotti *et al.*, 2000), ya que la acidez reduce la actividad de los microorganismos nitrificadores (Sims, 1990). Este efecto puede evidenciarse en la menor mineralización de N en MP, y es ratificado por la acidificación que este manejo produce en el suelo. Luego del raleo del monte, el terreno de las franjas quedó

con una gran cantidad de ramas y troncos que actuaron como impedimento mecánico para el crecimiento de las especies presentes en el banco de semillas. Además con la densidad actual (1000 pl ha⁻¹) el pasaje de luz hacia el estrato herbáceo reducido, y no hubo diferencias entre MP y PS. A pesar de haberse encontrado especies de elevada calidad en PS (*Dactylis glomerata*, *Stipa neesiana*, *Briza spp.*, *Poa sp.* y *Medicago lupulina*), las mismas quedaron relegadas por la invasión de malezas como cardo negro (*Cirsium vulgare*) y cicuta (*Conium maculatum*). La producción de materia seca del PS no es comparable con el PN, ya que en las condiciones estudiadas, no se logró la implantación de un PS de buena calidad potencialmente utilizable para la alimentación animal.

Tabla 1: Producción potencial de CO₂ por respiración y mineralización neta de N en incubaciones bajo condiciones controladas para Monte de Pinos (MP) y Pastizal Secundario (PS), con y sin mantillo incorporado. Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas (LSD, $\alpha = 0,05$).

	Producción acumulada de CO ₂ (mg CO ₂ kg ⁻¹ suelo)		N mineralizado (mg N kg ⁻¹ suelo)	
	Suelo + mantillo	Suelo	Suelo + mantillo	Suelo
MP	4511,04 (a)	1883,86 (b)	221,43(b)	73,58 (c)
PS	4854,85 (a)	2451,86 (b)	324,6(a)	196,64 (b)

Conclusiones

Bajo las condiciones analizadas en el presente estudio todas las propiedades de suelo se vieron modificadas en relación a la situación inalterada (PN). La acidificación originada por el MP trajo aparejadas reducciones en el Nan y el P extractable. Asociado a ello, luego del raleo de las franjas en el MP, el aumento de pH bajo PS originó un aumento en la disponibilidad de P y mayores valores de Nan en los primeros cm de suelo. El

manejo forestal originó aumentos del COT, y como resultado de ello mayores valores de CIC.

No fue posible la implantación de un PS de buena calidad, lo cuál plantea la necesidad de continuar estudiando los SSP templados, para encontrar las condiciones de manejo necesarias para su correcto establecimiento.

Bibliografía

- Alvarez, R. 2005. Balance de carbono en suelos de la Pampa Ondulada: efecto de la rotación de cultivos y la fertilización nitrogenada. Actas Simposio Fertilidad. Nutrición, Producción y Ambiente. Rosario, Santa Fé, Argentina, pp. 61-70.
- Alvarez, R., De Paepe, J.L., Steinbach, H.S., Berhongaray, G., Mendoza, M.M., Bono, A.A., Romano, N.F., Cantet, R., Alvarez, C.R., 2014. Cambios de flujos y stocks de carbono y nitrógeno por el uso del suelo: impacto sobre la productividad pampeana. Actas XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina, en CD.
- Amiotti, N. M., Zalba P., Sanchez L., Peinemann, N., 2000. The impact of single trees on properties of loess-derived grassland soils in Argentina. Ecology 81(12), 3283-3290.
- Anderson, J.P.E. 1982. Soil Respiration. In Page, A.I.; Miller R.H.; Keeney, D.R. (eds). Methods of Soil Analysis. Chemical and Microbiological Methods. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA. pp. 831-866.
- Aparicio, V., Costa, J.L. 2007. Soil quality indicators under continuous cropping systems in the Argentinean Pampas. Soil and Tillage Research 96(1), 155-165.
- Bray, R.H., Kurtz, L.T. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. Soil Science 59(1), 39 – 45.
- Bremner, J.M., Keeney, D.R. 1965. Steam distillation methods for determination of ammonium, nitrate, and nitrite. Analytical chemistry Acta 32, 485-495.
- Dewis, J., Freitas, F. 1970. Métodos físicos y químicos de análisis de suelos y aguas. FAO. Roma, Italia. Boletín sobre suelos N° 10. pp 36-57.
- Dick, P.D., Leite, S.B., Diniz Dalmolin, R.S., Almeida, H, Knicker, H. 2011. Pinus afforestation in South Brazilian highlands: soil chemical attributes and organic matter composition. Scientia Agricola 68(2), 175-18.

- Ferreras, L.A., Magra, G., Besson, P., Kovalevski, E., García, F. 2007. Indicadores de calidad física en suelos de la Región Pampeana Norte de Argentina bajo siembra directa. *Ciencia del Suelo* 25(2), 159-172.
- Garay M., Amiotti, N., Zalba, P. 2012. Dinámica de nutrientes en rodales de *Pinus radiata* D Don. Actas XXIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo – XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina, en CD.
- Jackson, R.B., Jobbagy, E.G., Avissar, R., Baidya Roy, S., Barrett, D.J., Cook, C.W., Farley, K.A., Le Maitre, D.C., McCarl, B.A., Murray, B.C. 2005. Trading Water for Carbon with Biological Carbon Sequestration. *Science* 310(5756), 1944-1947.
- Jobbagy, E.G., Jackson, R.B. 2003. Patterns and mechanisms of soil acidification in the conversion of grasslands to forests. *Biogeochemistry* 64(2), 205–229.
- Kemmitt, S.J., Wright, D., Goulding, K.W.T., Jones, D.L. 2006. pH regulation of carbon and nitrogen dynamics in two agricultural soils. *Soil Biology and Biochemistry*. 38(5), 898-911.
- Nair, V., Portier, K., Graetz, D., Walker, M. 2004. An environmental threshold for degree of phosphorus saturation in sandy soils. *Journal of Environmental Quality* 33(1), 107-113.
- Nelson, D., Sommers, L. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter In Page, A.I., Miller R.H., Keeney, D.R. (eds). *Methods of Soil Analysis. Chemical and Microbiological Methods*. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA pp. 539-577.
- Reussi Calvo, N., Sainz Rozas, H.R., Echeverría, H.E., Berardo, H. 2013. Contribution of anaerobically incubated nitrogen to the diagnosis of nitrogen status in spring wheat. *Agronomy Journal*. 105(2), 321-328.
- Sainz Rozas, H., Echeverría H.E., Angelini H. 2012. Fósforo disponible en suelos agrícolas de la región Pampeana y Extra Pampeana argentina. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*. 38 (1): 33-39.
- Sainz Rozas, H.R., Echeverría, H.E., Angelini, H.P. 2011. Niveles de materia orgánica y pH en suelos agrícolas de la región pampeana y extrapampeana. *Ciencia del suelo*. 29(1), 29-37.
- SAS INSTITUTE INC. 2008. User Installation Guide for SAS® 9.1.3 Foundation for Microsoft® Windows®, Cary, NC.
- Sbaraglia, M., Galetto, M.L. De, Lisi, J.C. 1988. Métodos de Análisis de Suelos. Desarrollo de la Fertilización en Argentina. SAGPyA- Enichem Agricultura, Milán, 33 p.
- Schlatter, J.E., Otero, L. 1995. Efecto de *Pinus radiata* sobre las características químico- nutritivas del suelo mineral superficial. *Bosque* 16(1): 29-46.
- Shunbao, L., Chengrong, C., Xiaoqi, Z., Zhihong, X., Gary, B., Yichai, R., Xiaomin, G. 2012. Responses of soil dissolved organic matter to long-term plantations of three coniferous tree species. *Geoderma*. 170: 136–143.
- Sims, G.K. 1990. Biological alteration of soil. *Advances in Soil Science* 11, 289-330.
- Studdert, G.A., Domínguez, G.F., Fioriti, N., Cozzoli, M.V., Diovisalvi, N.V., Eiza, M.J. 2006. Relación entre nitrógeno anaeróbico y materia orgánica de molisoles de Balcarce. Actas 20° Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Salta-Jujuy, Septiembre 2006. En CD.
- Summer, M.E., Miller, W.P. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficients. In Page, A.I., Miller R.H., Keeney, D.R. (eds). *Methods of Soil Analysis. Chemical and Microbiological Methods*. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA. pp. 1201-1229.
- Vázquez, M. 2005. Calcio y Magnesio del suelo. Encalado y enyesado. En: Echeverría, H.E., García, F. (eds.): *Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos*. INTA, Buenos Aires, Argentina. pp .161-185.
- Wagner, G.H., Wolf, D.C. 1998. Carbon transformations and soil organic matter formation. En: Sylvia, D.M., Fuhrmann, J.J., Hartel, P.G., Zuberer, D.A. (eds). *Principles and applications of soil microbiology*. Prentice Hall, New Jersey, USA, pp 218-258.
- Waring, S.A., Bremner, J.M. 1964. Ammonium production in soil under waterlogged condition as an index of nitrogen availability. *Nature* 201, 951-952.
- Wiesmeier, M., Dick, D.P., Rumpel, C., Dalmolin, R.S.D., Hilscher, A., Knicker, A. 2009. Depletion of soil organic carbon and nitrogen under *Pinus taeda* plantations in Brazilian grasslands (Campos). *European Journal of Soil Science*. 60(3): 347-359.
- Wyngaard, N. 2010. Efecto a largo plazo de la fertilización y los sistemas de labranza sobre las propiedades de un Argiudol y el rendimiento de maíz. Tesis Magister Scientiae. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata. Balcarce, Argentina. 62 p.