



EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES BIOTRANSFORMADOS SOBRE LA PRODUCCIÓN DE TRIGO EN SUELOS CONTRASTANTES

Martínez J.M.^{1,*}, J. Moisés¹, R.J. García², M.E. Duval¹, J.A. Galantini³

¹CERZOS-CONICET, Dpto. Agronomía-Universidad Nacional del Sur, ²Depto de Agronomía-UNS, ³Comisión de Investigaciones Científicas (CIC). San Andrés 800, (8000) Bahía Blanca, Prov. de Buenos Aires, jmmartinez@criba.edu.ar.

RESUMEN: La fertilización nitrogenada es inferior a las necesidades de los cultivos en el sudoeste bonaerense (SOB). Una alternativa es utilizar residuos agroindustriales biotransformados (RAB) con valor relativo de fertilizante dentro de los agrosistemas. El objetivo fue evaluar el efecto de la adición de diferentes RAB en comparación a un fertilizante de síntesis industrial sobre el estado nutricional y la producción de trigo en dos suelos contrastantes. Se utilizó a la cáscara de girasol (CG) tratada con hongo *Pleurotus* (CG_{Ple}), mezcla CG y alperujo con *Pleurotus* (CGAL_{Ple}) y compost de residuos de cebolla y estiércol (CmEC). Se realizó un ensayo en macetas con un diseño completamente aleatorizado, aplicando con los RAB diferentes dosis equivalentes de nitrógeno (N) en base a su composición orgánica: 0 (control), 50 y 100 kg N ha⁻¹. Además, se aplicó un fertilizante de síntesis industrial (urea, 46-0-0) con las mismas dosis. Los suelos (0-20 cm) contrastaron en textura (franco, F y franco-arenoso, FA), y sembrados con trigo (*Triticum aestivum* L.). Luego de 90 días, se cosechó el trigo, se determinó la materia seca (MS) y rendimiento en grano. La producción de MS difirió entre suelos ($p < 0,05$), con mayor producción en F. Entre tratamientos sólo se diferenció estadísticamente del control la mayor dosis de CmEC. El rendimiento de trigo no varió entre suelos, pero se hallaron efectos significativos de los RAB en la dosis más elevada de CG_{Ple} y CmEC. Igualmente, MS y rendimiento respondieron mayormente con urea. La utilización de RAB en dosis equivalentes a fertilizantes de síntesis industrial no equiparó las respuestas positivas sobre el trigo. Sin embargo, las curvas de respuesta del trigo a la aplicación de RAB fueron positivas, lo que demuestra que se podría aumentar la dosis en base al N para equiparar el efecto del fertilizante de síntesis industrial.

PALABRAS CLAVE: enmiendas orgánicas, sudoeste bonaerense, biotransformación.

INTRODUCCION

El aporte de N a través de la fertilización es inferior a las necesidades de los cultivos en la región del SOB, asociado principalmente a los altos costos y a la baja eficiencia de uso. Por su parte, el cultivo de trigo es el más preponderante en la región (Martínez *et al.*, 2015). Las características particulares de esta región han llevado a que se desarrollen sistemas intensivos y actividades que generan gran cantidad de residuos orgánicos, con la consecuente preocupación por su destino final. Entre los sistemas productivos existen más de 12 mil hectáreas de cultivo de cebolla (*Allium cepa* L.) con una producción de 450 mil toneladas anuales, dejando 70 mil a 180 mil toneladas de descarte. Asimismo, la producción pecuaria aporta 190 toneladas anuales de estiércol. Además, se producen 54 mil toneladas anuales de CG (*Helianthus annuus* L.), y unas 3100 toneladas anuales de residuos de olivos (*Olea europaea*) (alperujo, AL) provenientes de la producción aceitera. Estos residuos, contienen niveles elevados de materia orgánica (MO) y nutrientes, por lo cual podrían reutilizarse en los agrosistemas para mejorar la calidad y la sostenibilidad de los suelos de la región (Moisés *et al.*, 2018a). A su vez, para aprovechar estos recursos existen diferentes procesos de transformación, entre ellos la biotransformación, para modificar sus propiedades, con el propósito de poder aplicarlos al suelo y a los cultivos sin efectos deletéreos.

El uso de enmiendas puede tener un efecto similar o menor que los fertilizantes de síntesis industrial sobre el crecimiento y rendimiento de un cultivo (Griffin *et al.*, 2002; Lithourgidis *et al.*, 2007). En general, la disponibilidad de N proveniente de la enmienda es menor al fertilizante por su naturaleza orgánica (Sutton *et al.*, 1986). Esto conlleva que la sincronización entre la demanda por parte del cultivo y la oferta de N por parte de la enmienda puede no ser coincidente. Para la región del SOB, no existe información en la bibliografía sobre el valor relativo como fertilizante de estos residuos biotransformados. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la adición de diferentes RAB en comparación a un fertilizante de síntesis industrial sobre el estado nutricional y la producción de trigo en dos suelos contrastantes del SOB.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante 2019, se llevó a cabo un ensayo en macetas bajo condiciones controladas de humedad durante un periodo de 90 días. El mismo se estableció en el sector experimental del Departamento de Agronomía (38° 41' 48,2" S; 62° 15' 0,17" O) de la Universidad Nacional del Sur en Bahía Blanca, dentro de lo que comprende la región semiárida del SOB.

Los tratamientos correspondieron a tres RAB y un tratamiento con las mismas dosis de N con un fertilizante de síntesis industrial (urea, 46-0-0). Se utilizaron los siguientes residuos:

- **CG con *Pleurotus* (CG_{Ple}):** transformación de la cáscara de girasol a través de hongo ligninolítico comestible *Pleurotus ostreatus*.
- **CG y AL con hongo *Pleurotus* (CG-AL_{Ple}):** mezcla de CG y AL en una relación 2:1 transformada con *Pleurotus*.
- **Compost de cebolla-estiércol (CmEC):** corresponde a un compost realizado con catáfilas y bulbos de descarte de galpones de empaque y estiércol bovino, el cual fue procesado durante 5 meses.

Para su caracterización química, todos los residuos fueron secados a estufa a 60°C por 48 horas y molidos con malla de 1 mm de diámetro. Se realizaron las siguientes determinaciones químicas: MO total a través del método calcinación en mufla a 550° por 4 h (Martínez *et al.*, 2018), CO por analizador automático (Leco Corporation, St Joseph, MI), nitrógeno total (Nt) mediante el método de Kjeldahl (Bremner, 1996), fósforo total (Pt) (Sommers & Nelson, 1972), pH y CE por método 1+5 v/v (Bárbaro, 2011). Las propiedades evaluadas se detallan en Tabla 1.

Tabla 1. Caracterización química de los RAB.

Residuo	pH	CE	MO	CO	Nt	C:N	Pt	C:P	N:P
		dS m ⁻¹	g kg ⁻¹						
CG _{Ple}	5,3	4,47	879	569	9,0	63	0,72	790	12
CG-AL _{Ple}	5,7	5,07	891	452	11,1	40	1,04	434	11
CmEC	8,6	4,46	319	177	6,9	26	5,77	31	1,2

CE: Conductividad eléctrica, MO: Materia orgánica, CO: Carbono orgánico total, Nt: Nitrógeno total, Pt: Fósforo total.

Las dosis de los diferentes RAB fueron calculadas en función de las dosis equivalentes de nitrógeno (N) en función del N orgánico de su composición: 0 (control), 50 (D1) y 100 (D2) kg N ha⁻¹. Para su aplicación en macetas, todos los residuos fueron secados a estufa a 40°C por 48 horas y molidos con malla de 1 mm de diámetro. Previo a su aplicación superficial, en cada maceta, se sembraron semillas de trigo (*Buck saeta*) considerando una densidad de plantas de 240 plantas por m². Se seleccionó esta variedad por ser de ciclo corto. Los tratamientos presentaron un diseño completamente aleatorizado con tres repeticiones. Se suministró agua mediante riego automatizado por micro-aspersión dos veces por semana para mantener el nivel de humedad del suelo cercano a la capacidad de campo, y se mantuvieron las macetas a la intemperie (temperatura ambiente).

Durante 2018, se muestrearon dos suelos de un establecimiento agrícola bajo siembra directa destinados al cultivo de trigo ubicados en el SOB de la Región Pampeana Argentina. Estos se seleccionaron de acuerdo a las diferencias en sus fracciones granulométricas, determinada en estudios previos. Los suelos extraídos se utilizaron para completar las macetas. Se determinaron las siguientes propiedades edáficas para caracterizar los suelos el año de muestreo: carbono orgánico total (COT) por analizador automático Leco Truspec, N inorgánico (Ninorg) (Mulvaney, 1996), Fosforo extraíble (P-Bray) (Bray & Kurtz, 1945), pH en una suspensión suelo: agua 1:2,5 con el método potenciométrico, y fracciones granulométricas por el método de la pipeta. Las propiedades edáficas evaluadas se detallan en Tabla 2.

Tabla 2. Propiedades edáficas químicas y físicas de los suelos utilizados para la confección de las macetas.

Suelo	COT	Ninorg	Pe	pH	Arena	Limo	Arcilla
	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹				g kg ⁻¹	
F	16	19,7	16	6,1	351	448	201
FA	8	13,3	13	5,8	827	107	66

COT: carbono orgánico total, Ninorg: Nitrógeno inorgánico en forma de N-nitratos, Pe: Fósforo extraíble. Textura: F, franco; FA, franco-arenoso.

En estadios avanzados del cultivo se determinó el IV con un medidor de clorofila Minolta SPAD 502 ® en dos fechas sucesivas (IV1, IV2) distanciadas por aproximadamente 21 días. Este dispositivo permite evaluar el estado nutricional nitrogenado de las plantas de forma rápida en cualquier momento del ciclo y de forma no destructiva. El IV se mide en unidades Spad (US) y cuanto más elevado es el valor, se atribuye un mejor estado nitrogenado de la planta.

Es importante remarcar, los momentos en que se realizaron las lecturas con respecto al ciclo del trigo, fueron en espiga embuchada (IV1) y espigazón completa (IV2). Las lecturas se efectuaron en el tercio superior de la última hoja totalmente expandida, en el centro de la misma entre el margen y la nervadura central, evitando dicha nervadura como así también zonas cloróticas o dañadas si las hubiese (recomendaciones detalladas en el instructivo del equipo). Luego de 90 días, en madurez fisiológica del trigo se tomaron muestras de material vegetal para la determinación de la producción de MS y rendimiento en grano.

Los resultados de IV, producción de MS y rendimiento fueron analizados mediante un análisis de varianza (ANOVA) y las medias se compararon por el test de diferencias mínimas significativas (DMS) de Fisher ($P < 0,05$). Se utilizó el software estadístico Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2018).

RESULTADOS Y DISCUSION

Caracterización de los RAB

Con respecto a los parámetros evaluados en los RAB, estos mayormente se enmarcan dentro de los criterios estandarizados utilizados por la Unión Europea (UE) (Decisión 2001/688/EC) (Duval *et al.*, 2018). Estos estipulan los requisitos que deben reunir los residuos utilizados como enmiendas para que su uso o aplicación no afecte la salud humana y ambiental. Entre los parámetros, la CE se situó levemente por encima de los valores umbrales de 4 dS m⁻¹ propuestos por Lasaridi *et al.* (2006), sin embargo, debido a que la aplicación de los RAB fue superficial, no repercutió negativamente sobre la germinación y emergencia del trigo.

Evaluación del estado nutricional nitrogenado, producción de materia seca y rendimiento del trigo

Se detectó una interacción significativa (suelo x tratamientos) ($p < 0,05$) para IV1 y IV2, por lo que se procedió a evaluar el IV para cada tipo de suelo (Tabla 3). Debido a que el IV evalúa el estado nutricional nitrogenado de las plantas, esta diferencia hallada entre suelos podría deberse a la diferente disponibilidad inicial de N inorgánico entre F y FA (Tabla 2). Para el suelo F, se observaron algunos efectos de los tratamientos sobre IV1. A excepción de (D1)-CG-ALPle y (D2)-urea, los demás tratamientos se diferenciaron estadísticamente ($p < 0,05$) del control. En IV2, las diferencias fueron menos marcadas entre los tratamientos, y sólo el tratamiento (D1)-CmEC se diferenció del control, y en general se acotaron las diferencias

entre los diferentes tratamientos. Para FA, las diferencias en IV1 y IV2 según los tratamientos fueron más amplias. Si bien existieron diferencias significativas entre algunos tratamientos y el control, las mayores diferencias sobre el IV se observaron con aplicación de urea. Estos resultados demuestran que la respuesta de los tratamientos difirió de acuerdo al tipo de suelo considerado y que los efectos de los RAB y dosis sobre el IV fue variable.

Tabla 3. Índice de verdor por fecha (IV1 y UV2) según tratamiento y dosis para cada tipo de suelo: franco (F) y francoarenoso (FA).

Suelo	Tratamiento	Dosis N (kg N ha ⁻¹)	Índice de verdor (US)		
			IV1	IV2	
F	control	0	27,4±2,0 C	25,5±1,3 B	
	CG _{Plé}	50 (D1)	37,0±1,0 A	31,6±1,9 AB	
		100 (D2)	33,2±2,7 AB	26,6±2,1 B	
		CG-AL _{Plé}	50 (D1)	31,5±2,7 ABC	29,3±7,7 AB
	CG-AL _{Plé}	100 (D2)	34,4±1,8 AB	30,7±5,1 AB	
		CmEC	50 (D1)	35,2±5,4 AB	35,6±2,7 A
	100 (D2)		33,8±5,5 AB	29,8±7,5 AB	
	urea	50 (D1)	36,0±4,3 AB	30,6±3,6 AB	
		100 (D2)	30,4±2,6 BC	32,1±0,9 AB	
		FA	control	0	28,4±1,0 D
	CG _{Plé}		50 (D1)	31,5±2,8 CD	27,2±0,5 C
			100 (D2)	36,4±2,3 AB	30,7±2,9 B
CG-AL _{Plé}			50 (D1)	32,0±2,5 CD	26,9±0,8 C
	100 (D2)		31,5±2,9 CD	30,8±1,6 B	
CmEC	50 (D1)		31,9±2,8 CD	24,8±1,1 CD	
	100 (D2)		32,7±2,0 BC	22,0±1,5 D	
urea	50 (D1)		37,9±0,9 A	34,5±2,0 A	
	100 (D2)		40,3±2,5 A	34,1±2,1 A	

Con respecto a la producción de MS, se hallaron tendencias similares (interacción no significativa, $p > 0,05$) entre los suelos y los diferentes tratamientos. Sin embargo, la producción de MS fue diferente entre suelos ($p < 0,05$), con mayores valores de MS en F. Entre los diferentes tratamientos sólo se diferenció estadísticamente del testigo la mayor dosis de CmEC. Mientras, que las mayores respuestas se hallaron con urea independientemente de la dosis, las cuales superaron ampliamente a los RAB. Moisés *et al.* (2018b) evidenciaron respuestas positivas al agregado en cantidades crecientes de RAB sobre trigo, atribuidos a la principalmente a la calidad del residuo, sin embargo, en este estudio si bien sólo se halló un efecto significativo con CmEC (menor relación C:N), sólo se hallaron estas respuestas significativas con D2 y no así con D1. Según Allison (1966), con relaciones C:N con valores entre 25-30 existe un equilibrio entre la mineralización e inmovilización, esto podría ser la causa del escaso efecto sobre la producción de MS con este RAB.

Para el rendimiento en grano, las respuestas de los tratamientos fueron similares en ambos suelos (interacción no significativa, $p > 0,05$). Sin embargo, en contraste a lo hallado con MS, no se detectaron diferencias en el rendimiento según el tipo de suelo. Con respecto a los tratamientos, se hallaron efectos significativos de la dosis más elevada de CG_{Plé} y CmEC en comparación al control. Sin embargo, al igual que con MS, los mayores rendimientos de trigo se hallaron con urea, sin diferencias entre dosis. En coincidencia con este estudio, Randall *et al.* (2001) hallaron mayores respuestas con urea en comparación a enmiendas orgánicas sobre el cultivo de maíz.

Al evaluar la relación entre el rendimiento del trigo a la aplicación de las dosis de RAB y del fertilizante (Figura 2) para ambos suelos, se puede evidenciar, incrementos positivos a medida que se incrementaba la dosis de N, sin embargo, los RAB y el fertilizante demostraron relaciones diferentes. Para los RAB fueron lineales, mientras que en el fertilizante se observaron retornos decrecientes. Estos resultados demuestran que estas respuestas diferentes, podrían estar basadas en el momento de disponibilidad de N para el trigo, siendo

rápida disponible en el caso de urea. Mientras que, en general con los residuos orgánicos debido a su naturaleza principalmente orgánica, la oferta no coincide con la demanda por parte del cultivo (Sutton *et al.*, 1986). Esto sugiere que una estrategia a implementar podría ser incrementar la dosis equivalente de N del RAB en relación al fertilizante o aplicar la enmienda con el tiempo de antelación suficiente para sincronizar la oferta con la demanda del cultivo.

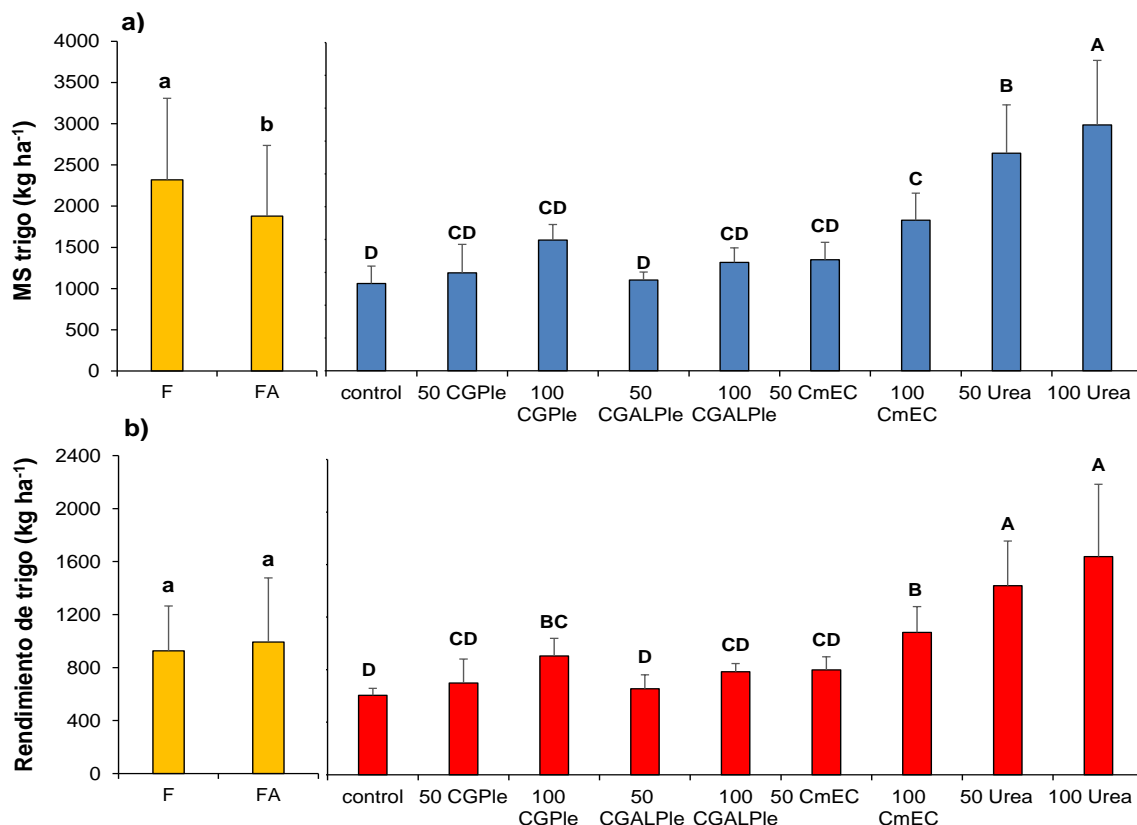


Figura 1. a) Producción de materia seca (MS) y b) rendimiento del trigo según el tipo de suelo y tratamientos. Letras minúsculas y mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre tipos de suelos y tratamientos respectivamente. Barras verticales indican el desvío estándar.

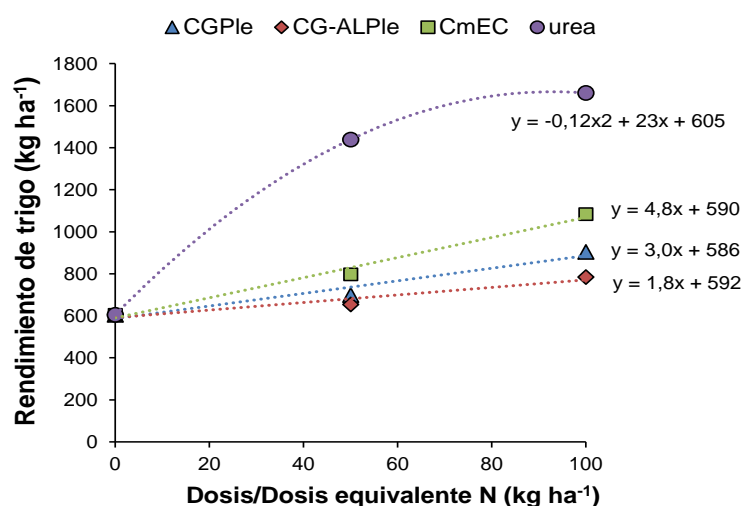


Figura 2. Rendimiento del trigo según dosis de N aplicados por tratamientos: RAB y urea.

CONCLUSIONES

Para las condiciones particulares, la utilización de RAB en dosis equivalentes de nitrógeno a un fertilizante de síntesis industrial no igualó las respuestas positivas obtenidas con urea. Sin

embargo, las curvas de respuesta a la aplicación de RAB fueron positivas lo que demuestra que debería aumentarse la dosis aplicada de RAB para igualar al efecto obtenido con un fertilizante de síntesis industrial.

Como trabajo a futuro sería necesario evaluar el efecto de la aplicación de estos residuos biotransformados sobre las propiedades de los suelos, más específicamente sobre la dinámica de las fracciones orgánicas, para considerar su uso como alternativa para mejorar la calidad del suelo.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue parcialmente financiado por el proyecto de Unidades Ejecutoras CERZOS- *Bioconversión y valorización de residuos agroindustriales del sudoeste bonaerense*; y en el marco del Proyecto de Investigación Científica y Tecnológica “*Uso de residuos agroindustriales biotransformados en sistemas productivos del sudoeste bonaerense: efectos sobre la calidad edáfica y ambiental*” (PICT 2017-1962).

BIBLIOGRAFIA

- Allison FE. 1966. The fate of nitrogen applied to soils. *Adv. Agron.* 18:219-258.
- Barbaro LA; MA Karlanian; S Imhoff & DE Morisigue. 2011. Caracterización de la turba subtropical del departamento Islas de Ibicuy (Entre Ríos, Argentina). *Agriscientia XXVIII*: 137-145.
- Bray R & L Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soil. *Soil Sci.* 59: 39-45.
- Bremner JM. 1996. Nitrogen – Total. En: *Methods of Soil Analysis*, part 3. Ed. Sparks DL, Chemical Methods, 1085-1123.
- Di Rienzo JA, F Casanoves, MG Balzarini, L Gonzalez, M Tablada & CW Robledo. 2018. InfoStat versión 2018. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina
- Duval ME, JM Martínez, RJ García, CEPandolfo, AD Presotto, A Piñeiro & M Miravalles. 2018. Caracterización de un residuo agroindustrial para su utilización como enmienda orgánica. En *Actas XXVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*, Tucumán, Argentina.
- Griffin TS; CW Honeycutt & Z He. 2002. Effects of temperature, soil water status, and soil type on swine slurry nitrogen transformations. *Biology and Fertility of Soils* 36: 442-446.
- Lasaridi K, I Protopapa, M Kotsou, G Pilidis, T Manios & A Kyriacou. 2006. Quality assessment of composts in the Greek market: The need for standards and quality assurance. *J. Environ. Manage.* 80: 58-65.
- Lithourgidis AS, T Matsi, N Barbayiannis & CA Dordas. 2007. Effect of liquid cattle manure on corn yield, composition, and soil properties. *Agron. J.* 99(4):1041-1047.
- Martínez JM; JA Galantini & MR Landriscini. 2015. Eficiencia en el uso del nitrógeno del trigo en la región semiárida de Buenos Aires (Argentina): efectos de la dosis y momento de aplicación. *Agriscientia XXXII*: 15-27.
- Martínez JM; JA Galantini; ME Duval; FM López & JO Iglesias. 2018. Ajustes en la estimación de carbono orgánico por el método de calcinación en Molisoles del sudoeste bonaerense. *Ci. Suelo* 35: 181-187.
- Moisés J, M Beltran & JA Galantini. 2018a. Caracterización química de residuos agroindustriales biotransformados destinados a la producción agrícola. En *Actas XXVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*, Tucumán, Argentina.
- Moisés J, JM Martínez, ME Duval, JO Iglesias & JA Galantini. 2018b. Transformaciones de la cáscara de girasol y potencialidad de uso como enmiendas orgánicas. En *Actas XXVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*, Tucumán, Argentina.
- Mulvaney RL. 1996. Nitrogen- Inorganic forms.1123-1184. In *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods.* (Ed. DL Sparks), SSSA- ASA, Madison, WI, USA.
- Randall GW, TK Iragavarapu & MA Schmitt. 2000. Nutrient losses in subsurface drainage water from dairy manure and urea applied for corn. *J. Environ. Qual.* 29:1244–1252.
- Sommers LE & DDW Nelson.1972. Determination of total phosphorus in soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 36:902-904.
- Sutton AL, DW Nelson, DT Kelly & DL Hill. 1986. Comparison of solid vs. liquid dairy manure applications on corn yield and soil composition. *J. Environ. Qual.* 15:370–375.