



## CARACTERIZACIÓN ESPECTROMÉTRICA DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES Y SU EFECTO SOBRE LA PRODUCCIÓN DE TRIGO PAN

Moisés, Juliana<sup>1</sup>; J.M., Martínez, <sup>1</sup> y J.A. Galantini<sup>2</sup>

<sup>1</sup>CERZOS-CONICET, Dpto. Agronomía-Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina; <sup>2</sup> Comisión Investigaciones Científicas (BA). jmoises@cerzos-conicet.gov.ar

**RESUMEN:** La producción agroindustrial genera grandes volúmenes de diferentes residuos que podrían utilizarse como enmiendas en la producción agropecuaria. Entre ellos, la cáscara de girasol (CG), con alto contenido de lignina y el alperujo (Al), que contiene compuestos fenólicos con efectos fitotóxicos, por lo que para su aprovechamiento podrían ser biotransformados. El objetivo de este estudio fue i) caracterizar de forma química y espectrométricamente diferentes residuos agroindustriales (CG biotransformada con *Pleurotus ostreatus*, CG Ple, Al estabilizado a campo y residuos sólidos urbanos (RSU) biotransformados por la acción de lombrices californianas y compostaje, EPLC) y ii) evaluar el efecto de su aplicación sobre el cultivo de trigo pan (*Triticum aestivum* L.) en un suelo del sudoeste bonaerense (SOB). Se realizó un ensayo en macetas bajo condiciones controladas de humedad y temperatura. Se establecieron diferentes aportes de nitrógeno (N) a través de dosis equivalentes: 0, 50, 100 y 150 kg N ha<sup>-1</sup>, las cuales se aplicaron en trigo. Se analizó químicamente en los residuos: materia orgánica (MO) y carbono orgánico (COT), macro- (N-fosforo, P-potasio, K) y meso-nutrientes (azufre, S; Magnesio, Mg), pH y conductividad eléctrica (CE). Además, se realizó sobre los residuos la espectroscopia infrarroja con transformadas de Fourier (FT-IR). La materia seca (MS) de trigo decreció con el aumento de CG Ple, sin embargo, lo contrario sucedió con EPLC. Se observó un marcado detrimento en la MS en todas las dosis de aplicación de Al. Se compararon los residuos mediante espectroscopia FT-IR, esta técnica de caracterización resultó útil para complementar la caracterización química de los materiales orgánicos, y de esta manera, profundizar en la causa de los efectos de su aplicación sobre el crecimiento del trigo.

**PALABRAS CLAVE:** FT-IR, enmiendas, biotransformación

### INTRODUCCION

La intensificación de la agricultura ha favorecido la disminución del nivel de MO del suelo y el aumento de la exportación de nutrientes (Viglizzo et al., 2011). Las consecuencias ambientales y económicas de este deterioro, obligan a un replanteo de las asignaciones de uso y a la adopción de tecnologías y prácticas de manejo tendientes a minimizar y/o revertir los procesos desencadenados. El efecto degradativo podría revertirse mediante la correcta utilización de enmiendas y/o residuos, solo o junto a la aplicación de fertilizantes (Mandal et al., 2007). En el SOB se genera gran cantidad de residuos provenientes de la agroindustria. Entre ellos, la cáscara de semilla de girasol (CG) de la industria aceitera, con un alto contenido de lignina y alta relación C:N (72:1) (Curvetto et al., 2005), y el alperujo (Al), de la producción de aceite de oliva, con una gran cantidad de compuestos orgánicos (principalmente fenólicos) que pueden tener efectos fitotóxicos (Morillo et al. 2009). Una de las alternativas para aprovechar estos recursos, es la biotransformación. El cultivo de hongos en sustratos acondicionados genera en el sustrato grandes cambios como reducción de la densidad, de la fracción de lignina y de carbohidratos mientras que se incrementa la mineralización (Postemsky & Lopez Castro, 2016).

El trigo es una de las bases de los sistemas productivos del SOB. Debido a que el N es el principal nutriente limitante de la producción vegetal, es comúnmente utilizado como criterio de dosificación cuando se fertiliza con enmiendas (Salazar-Sosa et al., 2003). Sin embargo,

Organizado por:



Ministerio de  
Producción  
Gobierno del Pueblo del Chaco

no se conoce con exactitud la dinámica temporal de la liberación del N contenido en las enmiendas, para la nutrición vegetal, especialmente en trigo bajo ambientes semiáridos. La espectroscopia infrarroja con transformadas de Fourier (FT-IR) ha tenido éxito en el estudio de la degradación de la MO y su mineralización (Chefetz et al., 1996). Podría servir para comparar los residuos y comprender mejor el efecto de su aplicación. El objetivo del estudio fue caracterizar químicamente y con espectrometría tres residuos agroindustriales, y evaluar su efecto sobre el desarrollo del trigo en un suelo semiárido del SOB.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Suelo utilizado

Se llevó a cabo un ensayo en macetas bajo condiciones controladas de humedad y temperatura en las dependencias del Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca (38° 41' 48,2" S; 62° 15' 0,17" O). El suelo utilizado fue colectado de la profundidad de 0-20 cm, obtenido del predio de la Universidad Nacional del Sur. La muestra compuesta de suelo se secó al aire, se tamizó y se homogenizó mediante tamizado con una malla de 2 mm de diámetro. Se determinaron las siguientes propiedades químicas: MO total a través del método de calcinación en mufla, y luego a través de la utilización de un factor de conversión de 2,2, se estimó el COT (Martínez et al., 2017a). Se determinó N total (Nt) mediante el método semi-micro Kjeldahl (Bremner, 1996) y se cuantificó el N inorgánico (nitratos, N-NO<sub>3</sub>) mediante destilación por arrastre de vapor (Mulvaney, 1996), P total (Pt) (Sommers y Nelson, 1972) y extraíble (Pe) (Olsen, 1954), K asimilable mediante la extracción con acetato de amonio, pH en suspensión suelo: agua 1:2,5; y CE en pasta saturada. Además, se determinó la textura al tacto. Los datos analíticos del suelo se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1. Propiedades edáficas del suelo utilizado.

Prof. (cm)	pH	CE dS m <sup>-1</sup>	MO	COT	Nt	N-NO <sub>3</sub>	Pt	Pe	K asimilable	Textura
0-20	8,2	0,54	41	19	2,3	32	250	21	773	Franco arenosa

Conductividad eléctrica (CE), materia orgánica (MO), carbón orgánico total (COT), nitrógeno total (Nt), nitrógeno inorgánico (N-NO<sub>3</sub>), fósforo total (Pt), fósforo extraíble (Pe), potasio (K).

### Residuos ensayados

Los materiales utilizados fueron cáscara de girasol biotransformada con hongo *P. ostreatus* (CGPle), alperujo estabilizado a campo (Al) y residuos sólidos urbanos (RSU) biotransformados por la acción de lombrices californianas y compostaje (EPLC). Sobre los residuos se realizaron las siguientes determinaciones: MO por método calcinación en mufla a 550°C por 4 h (Martínez et al., 2017), carbono orgánico (COT) por analizador automático de C Leco Truspec (Leco Corporation, St Joseph, MI), Nt mediante el método semimicro-Kjeldahl (Bremner, 1996). Además, se determinaron otros macro, meso y micronutrientes (fósforo, azufre, magnesio y potasio) mediante digestión húmeda (ácido nítrico y perclórico 2:1) con posterior determinación por espectrometría de emisión por plasma. Por su parte, el pH y la conductividad eléctrica (CE) por método potenciométrico con una suspensión residuo- agua 1:5 v/v (Bárbaro, 2011). Adicionalmente, para estudiar la composición estructural de los residuos, se realizaron espectros dentro del rango infrarrojo medio (4000 – 400 cm<sup>-1</sup>) con 64 escanes de barrido y 8 cm<sup>-1</sup> con un espectrómetro Nicolet iS50 FT-IR Thermo Scientific. Las muestras se prepararon como pastillas de bromuro de potasio Merck Uvasol al 1% (1,8 mg de muestra seca en 180 mg de KBr).

### Ensayo en maceta

Las macetas se rellenaron con 300 gr de suelo cada una, se colocaron 8 semillas de trigo por maceta con el propósito de ralea una vez producida la germinación, resultando en 4

plantas de trigo por maceta. La variedad utilizada fue ACA 303. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con 3 repeticiones. Al momento de la siembra se incorporó al suelo cada residuo molido con un diámetro de 1 mm de malla, utilizando cuatro niveles de aportes de N como criterio de dosificación: testigo (T) sin aplicación de residuo y la cantidad equivalente a 50 (N1), 100 (N2) y 150 (N3) kg N ha<sup>-1</sup>. Luego de transcurridos 55 días desde la siembra, se cosechó el total de biomasa aérea del trigo. Se colocaron las muestras en estufa a 60°C para determinar la materia seca aérea (MSA).

### Análisis estadístico

Se realizó el análisis de la varianza (ANOVA) simple para comparar el efecto de las dosis equivalentes de N de los residuos sobre la producción de MS del trigo. La comparación de medias se realizó por el test de diferencias mínimas significativas de Fisher ( $p < 0,05$ ). Para evaluar la relación existente entre las características químicas de los diferentes residuos y la producción de MS del trigo en forma global, se realizó el análisis de componentes principales (ACP). Las variables incorporadas fueron producción de MS de trigo (kg ha<sup>-1</sup>), pH, conductividad eléctrica (dS m<sup>-1</sup>), relación C:N, fósforo (g kg<sup>-1</sup>), azufre (g kg<sup>-1</sup>), magnesio (g kg<sup>-1</sup>) y potasio (g kg<sup>-1</sup>). Para todos los análisis estadísticos se utilizó el software estadístico Infostat (Di Rienzo et al., 2018).

### RESULTADOS Y DISCUSION

Se observaron diferencias en el contenido de COT y contenido de Nt entre todos los residuos, sin embargo, estas fueron más marcadas en EPLC con respecto a CG Ple y AI, lo que explica la diferencia entre las elevadas relaciones C:N entre todos. Además, se destaca el alto contenido de K y bajo en contenido de Mg en AI, comparándolo con los otros residuos. La caracterización química de los residuos se detalla en la Tabla 2.

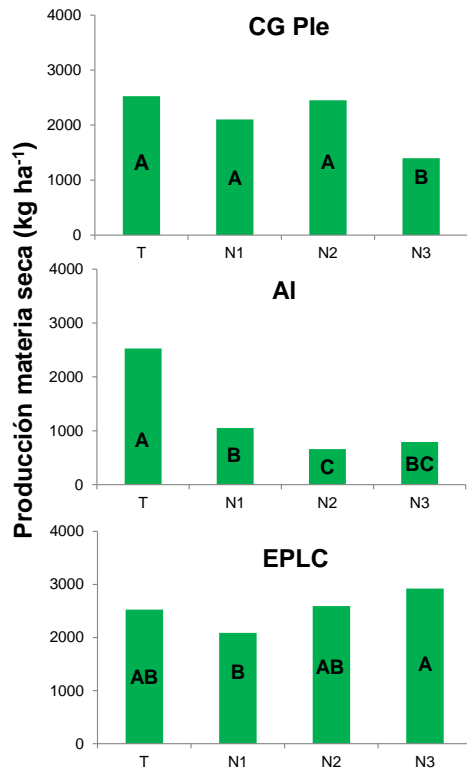
Tabla 2. Caracterización química de los materiales.

Residuo	COT	N	C:N	MO	P	S	Mg	K	pH	CE
	[g kg <sup>-1</sup> ]	total								
CG Ple	596,2	9,05	62,9	87,86	0,44	15,01	3,43	12,96	5,3	4,47
AL	659,8	10,11	65,3	93,29	1,28	0,72	0,96	24,67	5,4	6,95
EPLC	185,8	18,14	10,2	26,85	1,95	1,31	6,65	6,65	7,9	3,36

Cáscara de girasol biotransformada con *Pleurotus* (CGPle), alperujo (AI), lombricompost (EPLC). Conductividad eléctrica (CE), carbono orgánico total (COT), nitrógeno total (Nt), materia orgánica (MO), fósforo (P), azufre (S), magnesio (Mg), potasio (K).

Con respecto a la producción de MS del trigo, con el aporte de CG Ple no se observaron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) con las dosis más bajas (N1 y N2), mientras que, con N3 se produjo una disminución en la producción respecto al control ( $p < 0,05$ ). En el caso del AI, la producción de MS de trigo disminuyó significativamente en relación al testigo para los tres niveles de aporte evaluados (N1, N2 y N3) ( $p < 0,05$ ). Por su parte, el EPLC no mostró diferencias significativas respecto al testigo en ninguno de los tres niveles de N evaluados (N1, N2 y N3) ( $p > 0,05$ ) (Figura 1).

La relación C:N de los materiales orgánicos regula la ocurrencia de procesos de mineralización o inmovilización de N disponible durante su descomposición. Según Allison (1966) cuando la relación C:N se encuentra entre 25 y 30, existe un equilibrio entre mineralización e inmovilización. Sin embargo, a mayor relación C:N puede ocurrir una inmovilización del N asimilable del suelo, lo cual genera deficiencias de N para la planta en detrimento de su rendimiento (Iglesias Jiménez, 2008). En el caso del residuo CG Ple (C:N = 62,9) su elevado aporte de carbono sin transformar, con altos valores de lignina podría generar menor disponibilidad de N inorgánico lo que repercute en una menor producción de biomasa. Si observamos la relación C:N del alperujo (65,3), es ligeramente superior a la de la CG Ple, sin embargo, el efecto decreciente sobre la producción de la materia prima se da incluso a

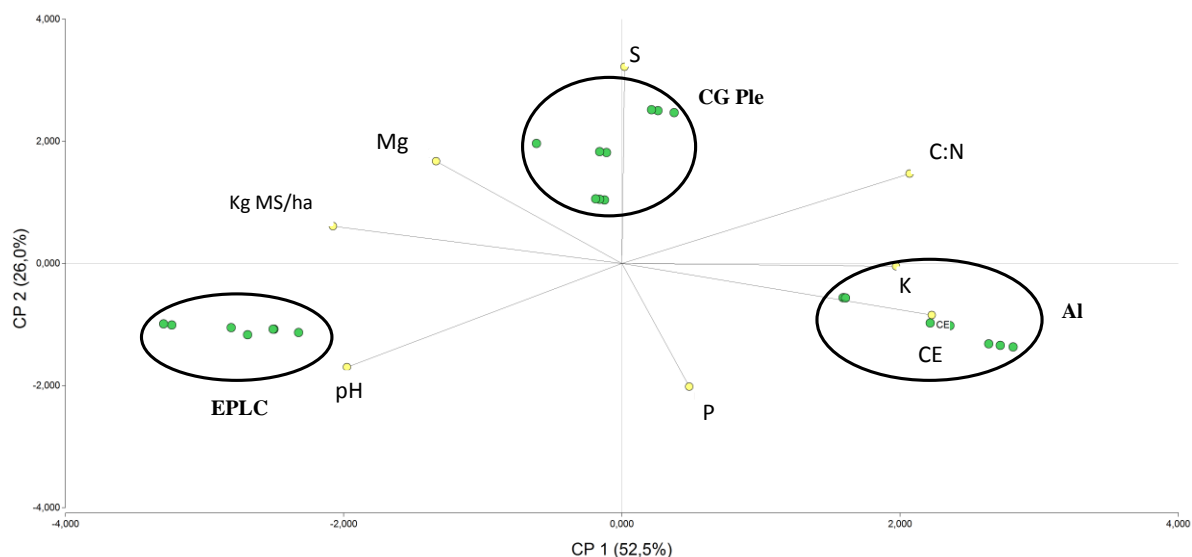


**Figura 1.** Producción de materia seca de trigo según tratamientos y aportes: testigo (T), Cáscara de girasol con *Pleurotus ostreatus* (CG Ple), alperujo (AI) y lombricompost (EPLC). Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

dosis bajas. Esto podría atribuirse a la mayor conductividad eléctrica o también a que el alperujo posee una elevada concentración de compuestos orgánicos, especialmente ácidos grasos, glúcidos, grasas y polifenoles, lo que le otorgan propiedades fitotóxicas y antimicrobianas (Niaounakis & Halvadakis, 2006).

Adicionalmente, para complementar estos resultados parciales químicos, se procedió a evaluar los residuos mediante un análisis de componentes principales (Figura 2).

La explicación de la varianza por los dos primeros CP fue de 78,5% (CP1 y CP2 aportan 52,5% y 26% de la varianza, respectivamente). El residuo EPLC se aleja de CG Ple y AI sobre el CP1, el cual es el componente que mayormente explica la varianza. Sobre CP2, EPLC y AI no se distancian, mientras que el CGPle si lo hace respecto a los dos primeros, explicado por S (contenido de azufre del material). Las variables kg MS/ha, pH, C:N y CE son las que más afectan la distribución de los tratamientos. Se observa que la relación C:N tiene una correlación negativa con la variable kg MS/ha, y a su vez, esta variable junto con el pH explican la distribución de EPLC. Esto está en concordancia a lo expuesto por Moisés et al. (2018) quienes indicaron la importancia de la calidad del residuo, medida por la relación C:N sobre la producción de MS.



**Figura 2.** Análisis de Componentes Principales (CP) donde se evalúa el efecto de diferentes residuos sobre el cultivo de trigo y la influencia de sus características químicas.

### **Espectroscopia infrarrojo con transformadas de Fourier (FT-IR)**

Al analizar los espectros IR de los residuos, se observaron algunas diferencias (Figura 3). Para CG Ple se halló un pico de mayor intensidad en la señal cercana a  $1610 \text{ cm}^{-1}$  asociado a la vibración C=C de compuestos aromáticos y/o  $-\text{COO}^-$  asimétrico (Niemeyer et al., 1992).

Además, en los espectros de CG Ple y AI se detectó un pico de baja intensidad en 1515  $\text{cm}^{-1}$ , posiblemente asociada a la presencia de anillos aromáticos con sustituciones *orto* y *para*, asociada a la señal de la lignina (Zambrano et al., 2011). En la región cercana a la señal de 1270  $\text{cm}^{-1}$  correspondiente a la vibración C-OH de los OH fenólicos (Niemeyer et al., 1992), se observaron picos en los espectros de CG Ple y AI, a diferencia del EPLC que no emitió señal. Según Zimmermann (1990) la lignina puede ser degradada por hongos y bacterias (Gram-positivas y Gram-negativas), hasta pequeñas moléculas fenólicas. En el espectro correspondiente a la CG Ple, se observa un pico cercano 1315  $\text{cm}^{-1}$ , asociado a carbonatos, posiblemente debido a que durante la preparación del sustrato para el cultivo de hongos se incorporan cantidades importantes de sulfato y/o carbonato de calcio ( $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{CaCO}_3$ ) con fines nutricionales, amortiguación del pH, floculación de coloides e inducción de la fructificación (Postemsky & Lopez Castro, 2016). Dentro del rango de los 2850 y 2920  $\text{cm}^{-1}$  asociados a la presencia de estructuras alifáticas (Zambrano et al., 2011), se observaron picos de mayor intensidad para los residuos CG Ple y AI, respecto al EPLC. La presencia de este tipo de estructuras está más relacionada a compuestos orgánicos de menor estabilidad.

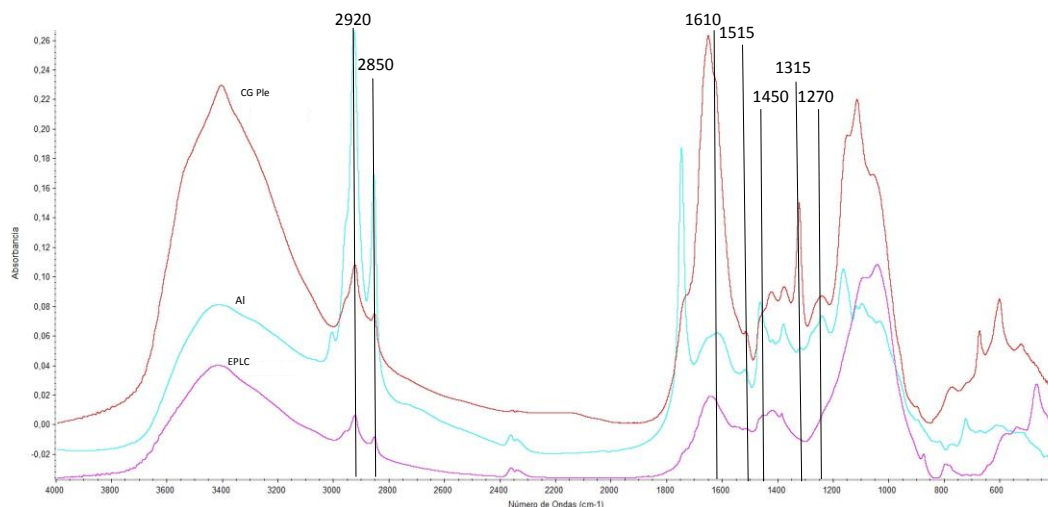


Figura 3. Espectros IR residuos sólidos CG Ple (cáscara de girasol biotransformada por hongo *P. ostreatus*), AI (alperujo sin biotransformar) y EPLC (lombricompuesto RSU).

## CONCLUSIONES

La aplicación del residuo CG Ple generó una disminución en la producción del trigo con dosis altas, mientras que, AI provocó una disminución en la producción incluso a dosis bajas lo que demuestra su fitotoxicidad. El EPLC por su parte, no mostró un efecto sobre la producción del trigo, posiblemente atribuido a la mayor estabilidad como producto *per se*. La técnica espectrométrica como el FT-IR, resulta útil para complementar la caracterización de materiales orgánicos; y a partir de esto, profundizar en las causas de los efectos de la aplicación de residuos sobre el crecimiento vegetal.

## AGRADECIMIENTOS

Al proyecto de Unidades Ejecutoras CERZOS- *Bioconversión y valorización de residuos agroindustriales del sudoeste bonaerense*; y el 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). Además, al Laboratorio de Biotecnología de Hongos comestibles y medicinales (LBHCyM-CERZOS).

## BIBLIOGRAFÍA

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*, 28(2): 137-145.
- Bremner JM. 1996. Nitrogen – Total. En: *Methods os Soil Analysis*, part 3. Ed. Sparks DL, Chemical Methods, 1085-1123.
- Chefetz, B, Hatcher, PG Hadar, Y, & Chen, Y, (1996). Chemical and biological characterization of organic matter during composting of municipal solid waste. *J. Environ. Qual.* 25: 776-785.
- Curvetto, NR; D Figlas; MR Gonzales & S Delmastro. 2005. *Mushroom Growers´ Handbook 2: Shiitake Cultivation*, published by MushWorld, Seoul, Korea. 127-133.
- Di Rienzo, JA; F Casanoves; MG Balzarini; L Gonzalez; M Tablada & CW Robledo. 2013. *InfoStat*, versión 2013, Grupo InfoStat, FCA. Universidad Nacional de Córdoba.
- Iglesias-Jiménez, E; MT Barral & FC Marhuenda. 2008. Indicadores de la estabilidad y madurez del compost. En: Moreno, J & R Moral (Eds.). *Compostaje*. pp. 243-283. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- Mandal, A., Patra, A.K., Singh, D., Swarup, A. y Masto, R.E., 2007. Effect of long-term application of manure and fertilizer on biological and biochemical activities in soil during crop development stages. *Bioresour. Technol.* 98, 3585–3592.
- Martínez, JM; JA Galantini; ME Duval; FM López & JO Iglesias. 2017a. Ajustes en la estimación de carbono orgánico por el método de calcinación en Molisoles del sudoeste bonaerense. *Ci. Suelo* 35: 181-187.
- Martínez JM; JA Galantini; ME Duval & FM López. 2017b. Tillage effects on labile pools of soil organic nitrogen and relationships with wheat crop in a semi-humid climate: A long-term field study. *Soil Till. Res.* 169: 71-80.
- Moisés, J; JM Martínez; ME Duval; JO Iglesias & JA Galantini, 2017. Cáscaras de girasol biotransformadas y su potencialidad de uso como enmiendas orgánicas. 26º Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. C.6. pág. 1614-1619. San Miguel de Tucumán, Mayo 2018. ISBN 978-987-46870-0-5.
- Morillo J.A., B. Antizar-Ladislao, M. Monteoliva-Sánchez, A. Ramos-Cormenzana y N.J. Russell, 2009. Bioremediation and biovalorisation of olive-mill wastes. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 82(1), 25-39.
- 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.
- Niaounakis, M. y C.P. Halvadakis, 2006. *Olive Processing Waste Management. Literature Review and Patent Survey*. 2nd Edition. Elsevier Ltd., Oxford.
- Olsen SR; C Cole; FS Watanabe & LA Dean. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate, U.S. Dep. of Agric. Circ. 939.
- Postemsky, P. D.; López-Castro, R. I. 2016. Aplicaciones de sustrato residual del cultivo de hongos en la producción hortícola. *Horticultura Argentina* 35(86): 44-63.
- Salazar-Sosa, E., A. Beltrán-Morales, M. Fortis-Hernández, J. A. Leos-Rodríguez, J. A. Cueto-Wong, C. Vázquez-Vázquez, y J.J. Peña-Cabriales, 2003. Mineralización de nitrógeno en el suelo y producción de maíz forrajero con tres sistemas de labranza. *Terra latinoamericana*, 21(4), 569-575.
- Sommers LE & DDW Nelson.1972. Determination of total phosphorus in soil. *Soil Science Society of American Proceeding* 36:902-904.
- Viglizzo, EF; FC Frank; LV Carreño; EC Jobaggy; H Pereyra; J Clatt, D Pincen; MF Ricard. 2011. Ecological and environmental footprint of 50 years of agricultural expansion in Argentina. *Glob. Chang. Biol.* 17(2): 959–973
- Zambrano, A.J., F.A., Contreras, J.E., Paolini y C., Rivero, 2011. Caracterización espectroscópica de enmiendas orgánicas. *Avances en Investigación Agropecuaria* 15(3): 67-85.
- Zimmermann, W., 1990. Degradation of lignin by bacteria. *Journal of Biotechnology*, vol. 13:119-130.