

UTILIZACIÓN DE CASCARAS DE GIRASOL CON DIFERENTES TRANSFORMACIONES COMO POTENCIALES ENMIENDAS ORGÁNICAS EN TRIGO PAN

Juliana Moisés^{1*}, Juan Manuel Martínez¹, Matías Ezequiel Duval¹, Gastón Alejandro Locoli², Juan Alberto Galantini³

¹ CERZOS-CONICET, Dpto. Agronomía-Universidad Nacional del Sur,

² Depto de Agronomía-UNS,

³ Comisión de Investigaciones Científicas (CIC).

RESUMEN

La biotransformación de residuos orgánicos agroindustriales, como la cáscara de girasol (*Helianthus annuus* L.) (CG), puede modificar sus propiedades químicas y favorecer así su uso como enmienda orgánica. Los objetivos fueron caracterizar química y espectrométricamente la CG sometida a diferentes transformaciones y evaluar su efecto sobre la producción del trigo (*Triticum aestivum* L.) cuando es aplicada al suelo. Se llevó a cabo un ensayo en macetas bajo condiciones controladas de humedad y temperatura. Se evaluaron diferentes transformaciones de la CG (compostado, con hongos lignocelulíticos y mezcla con urea) y sin modificar. Para cada material se determinó materia orgánica (MO), carbono orgánico (CO), nitrógeno (N) total, pH, conductividad eléctrica (CE) y se las caracterizó mediante UV-vis a partir de sus sustancias húmicas. Se establecieron diferentes dosis de los tratamientos según su cantidad de N orgánico equivalente: 0, 50, 100 y 150 kg N ha⁻¹. Luego de 55 días desde la siembra, se cosechó y determinó la producción de materia seca (MS). Se observaron aumentos de MS con la aplicación de CG compostada en relación al testigo, mientras que, en los tratamientos restantes la producción de MS no fue modificada o disminuyó. El efecto de los tratamientos en la producción respondió a las diferencias en calidad del material, asociado principalmente a su relación C:N. La CG compostada presentó la menor C:N (22), siendo el tratamiento con mayor producción de MS. Se estableció una C:N umbral de 38, donde relaciones menores favorecerían la mineralización y mayores la inmovilización. La biotransformación modificó las propiedades químicas del material original, reduciendo la C:N e incrementando los coeficientes de absorbancia 254 a 465 (E2/E4), 254 a 665 (E2/E6) y 465 a 665 nm (E4/E6). La técnica de UV-Vis aportó información complementaria sobre la calidad estructural de estos materiales profundizando el entendimiento sobre su potencial uso como enmiendas orgánicas.

Palabras clave: Materia orgánica, residuos agroindustriales, biotransformación, sudoeste bonaerense.

UTILIZATION OF SUNFLOWER HULLS WITH DIFFERENT TRANSFORMATIONS AS POTENTIAL ORGANIC AMENDMENTS ON WINTER WHEAT CROP

* Autor de contacto:

jmoises@cerzos-conicet.gob.ar

Recibido:
08-06-22

Recibido con revisiones:
01-09-22

Aceptado:
01-09-22

ABSTRACT

The biotransformation of agro-industrial organic residues, such as sunflower hulls (*Helianthus annuus* L.) (CG) can modify its chemical properties and thus favor its use as amendments. The objectives of this study were to characterize chemically and spectrometrically the CG subjected to different transformations and evaluate its effect on the production of wheat (*Triticum aestivum* L.) when applied to the soil. A trial was carried out in pots under controlled conditions of humidity and temperature. Different transformations of the CG (composting, use of lignocellulite fungi and mixture with urea) and without modification were evaluated. At each CG treatment, organic matter (OM), organic carbon (OC), total nitrogen, pH, electrical conductivity

(EC) were determined and they were characterized by UV-vis from their humic substances. Different level inputs of the treatments were established according to their amount of equivalent organic nitrogen (N): 0, 50, 100 and 150 kg N ha⁻¹. After 55 days of sowing, wheat was harvested and the dry matter (DM) production was determined. Increases in the DM production of wheat were observed with the application of composted CG in relation to the control, while in the remaining treatments the DM production was not modified or decreased. The effect on DM production was clearly related to the materials quality differences, mainly associated with its C:N ratio. The composted CG presented the lowest C:N (22), being the treatment with the highest wheat DM production. A threshold C:N of 38 was established, where lower ratios favor mineralization and higher immobilization. The biotransformation modified the chemical properties of the original material, reducing the C:N and increasing the absorbance coefficients 254 to 465 (E2/E4), 254 to 665 (E2/E6) and 465 to 665 nm (E4/E6). The UV-Vis technique provided complementary information for the structural quality of these materials deepening the understanding about its potential use organic amendments.

Keywords: Organic matter, agroindustrial residues, biotransformation, southwest of Buenos Aires Province

INTRODUCCIÓN

En el sudoeste bonaerense (SOB) los sistemas agropecuarios fueron tradicionalmente mixtos con un adecuado balance entre agricultura y ganadería; alternando cultivos anuales y praderas, aproximándose a la vocación natural de estos suelos. Sin embargo, en las últimas décadas, se fue abandonando la rotación agronómica, con una visible tendencia hacia la agriculturización (Sainz Rozas et al., 2011). Esta intensificación de la agricultura ha ocasionado una disminución del nivel de MO del suelo (Duval et al., 2020), afectando su fertilidad y exigiendo mayor incremento en dosis de fertilizantes. Las consecuencias medioambientales y económicas del deterioro del recurso suelo obligan a un serio 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 por la aplicación de prácticas inadecuadas. Entre ellas, la utilización e integración de tecnologías como el uso de enmiendas orgánicas son consideradas una alternativa para la recuperación de suelos degradados mejorando los contenidos de MO (Brown y Leonard, 2004; Tian et al., 2009). Debido a que el nitrógeno (N) es el principal nutriente limitante de la producción vegetal, es comúnmente utilizado como criterio de dosificación cuando se aplican enmiendas (Salazar Sosa et al., 2003). Sin embargo, todavía no se conoce con exactitud la capacidad de los materiales orgánicos para liberar N para la producción de cultivos, especialmente en trigo bajo ambientes semiáridos, siendo el cultivo más preponderante en el SOB (Martínez et al., 2018).

Las características particulares del SOB 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 ellos, los más abundantes corresponden a la industria aceitera. La cáscara de girasol (CG), la cual es de difícil degradación por su alto contenido de lignina, se destaca con una producción de 54 mil toneladas anuales. Este residuo presenta elevadas relaciones C:N, donde los compuestos estructurales representan más del 40% de su carbono orgánico CO (Curvetto et al., 2005). Estas características pueden afectar la dinámica del N disponible para las plantas, debido a la inmovilización que ocurre bajo elevadas relaciones C:N (Iglesias Jiménez et al., 2008). Una de las alternativas que surge para aprovechar estos materiales, es la biotransformación (Rajkhowa et al., 2019). En la actualidad, existen diferentes procesos de transformación de la CG para modificar sus propiedades, con el propósito de poder aplicarlas al suelo y mejorar la productividad de los cultivos.

Existen técnicas analíticas, como la espectroscopía UV-vis, que permiten inferir información estructural de las sustancias húmicas (SH) extraídas de suelos y materiales orgánicos (Burgess y Thomas, 2007; locoli et al., 2017). Esta caracterización espectrométrica permitiría comprender con mayor detalle el efecto del residuo sobre el suelo y la productividad (Zambrano et al., 2011). Si bien no puede utilizarse para identificar los grupos funcionales presentes, el espectro obtenido constituye la absorción promedio de las moléculas que componen la muestra (Miller, 1994), pudiendo utilizarse para estimar el grado de aromaticidad del material orgánico. Senesi et al., (1996) señaló que la maduración y estabilización de las enmiendas orgánicas implica la descomposición parcial de alifáticos, polipeptídicos, y componentes similares a polisacáridos, así como aumentos en policondensación y polimerización de anillos aromáticos. Senesi et al., (2007) mostró que las SH que se encuentran en las enmiendas orgánicas tienen una mayor heterogeneidad molecular, carácter alifático, y concentraciones de compuestos que contienen N y estructuras similares a los polisacáridos que se encuentran en las SH de los suelos. La aromaticidad, la hidrofobicidad y las características poli

electrolíticas dependen de la composición de cada material (Ukalska Jaruga et al., 2021). Las relaciones de absorbancia a ciertas longitudes de onda han sido consideradas como parámetros espectroscópicos de utilidad para la caracterización del material orgánico en relación al peso molecular, polaridad y grado de humificación (Waldrip, 2014).

Los objetivos de este trabajo fueron: i) caracterizar de forma química la CG sometida a diferentes transformaciones; ii) extraer sus sustancias húmicas y evaluarlas mediante la técnica espectrométrica UV-Visible; y iii) evaluar su efecto sobre la producción del trigo cuando es aplicada al suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del ensayo

En 2017, se llevó a cabo un ensayo experimental en macetas bajo condiciones controladas en el Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur, Buenos Aires, Argentina. El suelo utilizado en este experimento se recolectó del sector del campus a una profundidad de 0-20 cm. El suelo se clasifica como Haplustol petrocálcico (Soil Survey Staff 2010), con una textura franco arenosa. Para la caracterización química del suelo se secó al aire, se tamizó y se homogeneizó, mediante tamizado con una malla de 2 mm de diámetro, y se determinaron las siguientes propiedades químicas: MO total a través del método de calcinación en mufla, y luego se estimó el CO total utilizando un factor de conversión de 2,2 (Martínez et al., 2017a). El nitrógeno total Nt se determinó mediante el método Kjeldahl (Bremner, 1996), Pt (Sommers y Nelson, 1972), fósforo extraíble (Pe) (Olsen, 1954), potasio (K) asimilable mediante la extracción con acetato de amonio, pH en suspensión suelo: agua 1:2,5; y CE en pasta saturada. Además, se cuantificó el N inorgánico (nitrato, N-NO₃) mediante destilación por arrastre de vapor (Mulvaney, 1996). El pH fue 8,2 y la CE de 0,54 dS m⁻¹. El contenido de MO fue de 41 g kg⁻¹, de COT fue 19 g kg⁻¹ y el de Nt, 2,3 g kg⁻¹. En cuanto a N-NO₃, el contenido fue de 32 mg kg⁻¹, para fósforo total 250 mg kg⁻¹ y para fósforo extraíble 21 mg kg⁻¹. Por último, el contenido de K asimilable fue de 773 mg kg⁻¹. Cada maceta, de 972 cm³ de volumen, se completó con 300 g de suelo y luego se sembró con el cultivar de trigo ACA 303. En cada maceta se colocaron ocho semillas para ralea una vez germinadas, dejando cuatro plantas por maceta. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones. Al momento de la siembra del cultivo, se incorporó cada uno de los residuos molidos con malla de 1 mm de diámetro al suelo, utilizando como criterio de dosificación cuatro niveles de N: testigo sin aplicación de residuo (N0) y las cantidades equivalentes de 50 (N1), 100 (N2) y 150 (N3) kg N ha⁻¹ (Tabla 1). Las tasas de los residuos se calcularon como la cantidad equivalente de N considerando su composición de Nt. Luego de 55 días, se procedió a cosechar el total de biomasa aérea de trigo. Se colocaron las muestras en estufa a 60°C hasta lograr obtener masa constante, y se procedió con la determinación del contenido de materia seca (MS) del cultivo.

Tabla 1. Cantidad de residuo aportado según tratamiento y nivel de aporte de N

Table 1. Amount of residue contributed according to treatment and N level

Residuo	N1	N2	N3
	Aporte (kg ha ⁻¹)		
CG	6376	12753	19130
CG _{cm}	2090	4180	6271
CG _{ple}	5525	11050	16575
CG _{gan}	4155	8309	12464
CG _{ur}	2638	5277	7915

Cáscara de girasol (CG), cáscara de girasol compostada (CG_{cm}), cáscara de girasol con

Pleurotus (CG_{ple}), cáscara de girasol con Ganoderma (CG_{gan}), cáscara de girasol ureolizada

(CG_{ur}). N1, N2, N3: niveles de aplicación de los diferentes tratamientos.

Las diferentes transformaciones realizadas a la cáscara de girasol se llevaron a cabo en las dependencias de CERZOS-CONICET Bahía Blanca. Fueron utilizados cinco tratamientos principales: Cáscara Girasol (CG) sin modificar, proveniente de la industria aceitera de Bahía Blanca; Cáscara Girasol Compostada (CG_{cm}) corresponde a un compost realizado con CG y estiércol ovino durante 5 meses (na parte de CG por 2,5 partes de estiércol ovino); Cáscara Girasol con Pleurotus (CG_{ple}) corresponde al sustrato residual de la pro-

ducción del hongo comestible *Pleurotus ostreatus*; Cáscara Girasol con *Ganoderma* (CG_{Gan}) corresponde al sustrato residual de la producción del hongo medicinal *Ganoderma lucidum*; Cáscara Girasol Ureolizada (CG_U) corresponde a CG colocada en silo bolsa con agregado de urea (3%) durante 3 meses, siguiendo la metodología propuesta por Postemsky et al. (2017a). Los materiales utilizados como tratamientos fueron secados en estufa a 60°C por 48 horas, molidos con malla de 1 mm de diámetro para su análisis químico. Se realizaron las siguientes determinaciones: MO a través del método calcinación en mufla a 550° por 4 h (Martínez et al., 2017a), carbono orgánico por analizador automático Leco Truspec (Leco Corporation, St Joseph, MI), N orgánico total (Nt) mediante el método semi-micro Kjeldahl (Bremner, 1996), pH y CE en una dilución 1:5 (muestra:agua) (Bárbaro et al., 2011). Adicionalmente, se extrajeron las SH de las CG transformadas mediante la metodología establecida por la Sociedad Internacional de Sustancias Húmicas (IHSS) utilizando KOH 0,1M como solución extractiva.

Las SH extraídas de los tratamientos se sometieron a un barrido espectroscópico UV-Visible a 18 longitudes de onda entre 190 y 665 nm con un espectrofotómetro UV-Visible T60 PG instruments. Las muestras se diluyeron en agua destilada desde 1:20 hasta 1:100 de acuerdo a la concentración del tratamiento, para obtener un barrido espectroscópico completo, sin saturación de la señal. Se calcularon los coeficientes de absorción E2/E4 (Shirshova et al., 2006), E2/E6 (Ukalska Jaruga et al., 2021) y E4/E6 (Albrecht et al., 2011; Chen et al., 1977), considerando una relación de absorbancia de 254 a 465 nm, 254 a 665 nm y 465 a 665 nm, respectivamente.

Análisis estadístico

Se realizó análisis de la varianza (ANAVA) doble utilizando como factores fijos las transformaciones de la CG y el nivel de aporte de N. Por su parte, la comparación de medias se realizó por el test de diferencias mínimas significativas de Fisher ($p < 0,05$). Se realizaron correlaciones de Pearson entre la producción de MS de trigo y los parámetros químicos evaluados en CG con diferentes transformaciones. Luego, se realizó el análisis multivariado exploratorio de componentes principales (ACP) para observar la influencia global de los parámetros químicos utilizando a la producción de MS de trigo como variable de clasificación. Se utilizaron regresiones lineales simples para evaluar el efecto de la calidad (relación C:N) de los diferentes residuos sobre la producción de MS del trigo en rendimiento relativo (RR), considerando al tratamiento testigo como 100% de RR. Los niveles críticos de la variable relación C:N de las CG con diferentes transformaciones y nivel de N aplicado, fueron determinadas mediante el método gráfico de Cate y Nelson (1971) fijándose un RR crítico de 90%. Para todos los análisis estadísticos se utilizó el software estadístico Infostat (Di Rienzo et al., 2018).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización química

En la Tabla 2 se detallan los resultados del análisis químico de las CG bajo diferentes transformaciones. En la actualidad existen criterios estandarizados utilizados por la Unión Europea (UE) (Decisión 2001/688/EC) en los cuales se estipulan los requisitos que deben reunir los residuos o productos utilizados como enmiendas para que su uso o aplicación no afecte la salud humana y ambiental.

Tabla 2. Caracterización química de las CG sometidas a diferentes transformaciones.**Table 2.** Chemical cl

Residuo	pH	CE	MO	CO	Nt	C:N
		(dS m ⁻¹)	(g kg ⁻¹)			
CG	5,6	1,62	958	617	7,8	79
CG _{cm}	7,6	2,75	776	522	23,9	22
CG _{ple}	5,3	4,47	879	569	9,0	63
CG _{gan}	4,5	1,94	734	434	12,0	36
CG _{ur}	5,2	1,37	959	637	19,0	34

Cáscara de girasol (CG), cáscara de girasol compostada (CG_{cm}), cáscara de girasol con *Pleurotus* (CG_{ple}), cáscara de girasol con *Ganoderma* (CG_{gan}), cáscara de girasol ureolizada (CG_{ur}). Conductividad eléctrica (CE), materia orgánica (MO), carbono orgánico (CO), nitrógeno total (Nt).

La CE es uno de los parámetros más importantes como indicador para enmiendas orgánicas, sobre todo cuando estas son utilizadas como sustratos para la germinación de semillas. Dicho parámetro presentó valores inferiores a 2,5 dS m⁻¹, nivel considerado tolerable por plantas de sensibilidad media (Lasaridi et al., 2006), excepto el CG_{cm} (2,75 dS m⁻¹) y la CG_{ple} (4,47 dS m⁻¹) que se encuentra levemente por encima. Por su parte, los valores de pH fueron levemente ácidos, excepto por CG_{cm}, hallándose por debajo del rango de 6,0-8,5 recomendado para el crecimiento de las plantas (Hogg et al., 2002). Se observaron contenidos elevados de CO conforme el criterio utilizado por la UE, según el cual los residuos utilizados como enmiendas deberían tener valores mayores a 200 g CO kg⁻¹. Por su parte, el Nt presentó gran variabilidad, con valores en general situados en el rango de referencia (10-20 g kg⁻¹) sugerido por Alexander (1994). La relación C:N, vinculada con la tasa de descomposición de los residuos orgánicos (Heal et al., 1997) presentó valores entre 22 y 79 de acuerdo al tipo de transformación de la CG.

Caracterización UV-vis

Los espectros UV-vis de las SH extraídas de los tratamientos, se caracterizaron por la ausencia de máximos definidos, por lo que la absorción decrece continuamente a medida que aumenta la longitud de onda (Figura 1), lo que coincide con lo reportado por otros autores (Albrecht et al., 2011; Chen et al., 2002; Domeizel, 2004; locoli et al., 2017).

En la región entre 240 y 280 nm ocurre la transición electrónica para compuestos fenólicos, ácidos benzoicos, derivados de anilina, polienos e hidrocarburos aromáticos policíclicos con dos o más anillos (Peuravuori y Pihlaja, 1997). Específicamente, la absorbancia de SH en residuos, en esta región podría deberse a fracciones de lignina y quinona, asociado al material al principio de la transformación (Zbytniewski y Buszewski, 2005). El valor más bajo de la CG_{cm} en comparación al resto de los tratamientos (Tabla 3), podría deberse a un mayor grado de avance en la transformación de la MO. La absorbancia a 465 nm indica la proporción de SH alifático de bajo peso molecular con un bajo grado de transformación, mientras que la absorbancia a 665 nm muestra la proporción de SH macromoleculares o condensados (Ukalska Jaruga et al., 2021). Para ambas regiones de absorción, la CG y la CG_{ur} mostraron los valores más altos (Tabla 3), en relación al resto de los tratamientos, posiblemente debido a un menor grado de transformación del material original.

La relación E2/E4 da idea de la interacción entre la estructura hidrocarbonada de dobles enlaces conjugados y los grupos auxocromos (locoli et al., 2017). Si se halla dentro del rango, entre 2,1 y 14,5, indica que hay una alta densidad de CO con alto grado de conjugación, y un menor contenido en oxígeno y N (Chen et al., 2002). En el caso de CG y CG_{ur}, la relación E2/E4 fue menor respecto al resto de los tratamientos, en gran medida, por el mayor valor de absorbancia en 465 nm, lo que estaría asociado a moléculas con menor grado de transformación.

La relación E4/E6 indica la presencia de estructuras altamente conjugadas, capaces de absorción incluso en la región visible del espectro electromagnético (He et al., 2009). Los valores más altos de esta relación podrían atribuirse a una disminución en la absorción dentro del rango de frecuencia entre 500 y 800 nm de longitud de onda. Esta disminución se produce por la presencia de moléculas en las que no existe una conjugación extensa (Locoli et al., 2017). La reducción de la relación E4/E6 supone un aumento del tamaño molecular y una menor proporción de ácidos carboxílicos (Haymann et al., 2005). En este caso, los tratamientos CG y CG_{Ur} también fueron inferiores respecto al resto, nuevamente asociado a moléculas de mayor peso molecular o mayor presencia de moléculas aromáticas (Tan, 2014; Waldrip, 2014). Los altos coeficientes E2/E6 de CG_{Ple} (317,6) y de CG_{Gan} (463) podrían indicar la presencia de una alta proporción de estructuras de lignina sin transformación y probablemente compuestos aromáticos del micelio de hongos, e.g. ergosteroles; mientras que valores menores de esta relación podrían indicar un mayor grado de sustitución de enlaces múltiples (Ukalska Jaruga et al., 2021). Los valores de absorbancia similares entre la CG y la CG_{Ur} permiten inferir que no hubo transformaciones importantes durante la ureólisis, siendo la modificación en la relación C:N netamente efecto del agregado de N sintético.

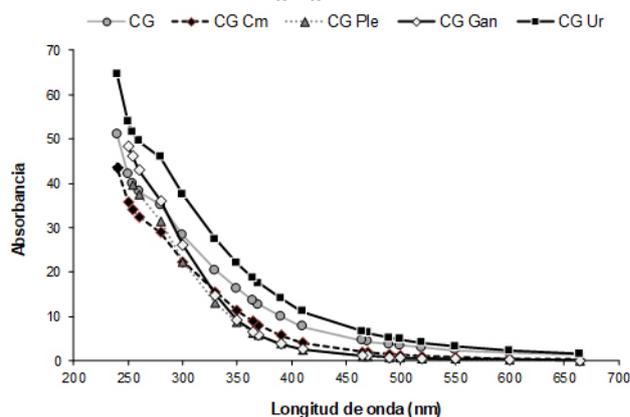


Figura 1. Variación de absorbancia por SH extraídas de los tratamientos: Cáscara de girasol (CG), cáscara de girasol compostada (CG_{Cm}), cáscara de girasol con *Pleurotus* (CG_{Ple}), cáscara de girasol con *Ganoderma* (CG_{Gan}), cáscara de girasol ureolizada (CG_{Ur}).

Figure 1. Variation of absorbance by HS extracted from the treatments: Sunflower hulls (CG), composted sunflower hulls (CG_{Cm}), sunflower hulls with *Pleurotus* (CG_{Ple}), sunflower hulls with *Ganoderma* (CG_{Gan}), ureolyzed sunflower hulls (CG_{Ur}).

Tabla 3. Valores de absorbancia y relaciones de absorbancia para los diferentes tratamientos.

Table 3. Absorbance values and absorbance ratios for the different treatments.

Tratamiento	254	260	280	465	665	E2/E4	E4/E6	E2/E6
CG	39,80	38,11	35,11	4,54	1,30	8,8	3,5	30,7
CG _{Cm}	34,13	32,44	28,94	1,95	0,25	17,5	7,8	136,6
CG _{Ple}	39,67	37,55	31,53	1,07	0,12	36,9	8,6	317,6
CG _{Gan}	46,22	43,02	36,09	1,15	0,10	40,3	11,5	463,0
CG _{Ur}	51,43	49,53	45,89	6,54	1,55	7,9	4,2	33,2

Cáscara de girasol (CG), cáscara de girasol compostada (CG_{Cm}), cáscara de girasol con

Pleurotus (CG_{Ple}), cáscara de girasol con *Ganoderma* (CG_{Gan}), cáscara de girasol ureolizada

(CG_{Ur}). E2/E4 relación entre los valores de absorbancia a 254 y 465 nm; E4/E6 relación entre

los valores de absorbancia a 465 y 665 nm; E2/E6 relación entre los valores de absorbancia a

254 y 665 nm.

Efecto de los tratamientos aplicados al suelo sobre el desarrollo de trigo

En general, se observó una mayor producción de MS de trigo con la aplicación de CG_{Cm} (3370 kg MS ha⁻¹) en relación al resto de los tratamientos, mientras que se hallaron efectos negativos con CG sin tratar (1629

kg MS ha⁻¹). De manera intermedia, se observó la CG_{Ur} (2625 kg MS ha⁻¹), la CG_{Gan} (2555 kg MS ha⁻¹) y la CG_{Ple} (2119 kg MS ha⁻¹). Sin embargo, se encontró una interacción significativa entre los tratamientos y los niveles de N aplicados ($p < 0,001$), por lo tanto, se realizó el ANAVA de los diferentes aportes de N para cada CG (Figura 2). La CG_{Cm} fue el único tratamiento que incrementó el rendimiento de trigo, diferenciándose del control en las dosis de 100 y 150 kg N ha⁻¹ (Figura 2b). Todas las dosis aplicadas de CG generaron una reducción en el rendimiento respecto al control (Figura 2a), mientras que CG_{Ple} redujo el rendimiento solo en la dosis más elevada (Figura 2c). Por su parte, los tratamientos CG_{Gan} y CG_{Ur} no se diferenciaron del control para ninguna dosis (Figura 2d y 2e). En las CG modificadas por efectos de los hongos lignocelulíticos, se observó una diferencia en el comportamiento solo en la dosis más alta, donde la CG_{Ple} disminuyó la producción de MS. Según Postemsky et al., (2017b), el metabolismo de los hongos genera una modificación física y química del sustrato inicial, la composición de minerales cambia por la absorción y translocación que produce el micelio, hay menos cantidad de lignina, mientras que la cantidad de celulosa, hemicelulosa y componentes celulares aumenta. Sería conveniente evaluar, si el agregado de N sintético a estos tratamientos, que mostraron una modificación de sus moléculas, o su combinación con otras enmiendas orgánicas permitiría favorecer la mineralización mejorando la producción.

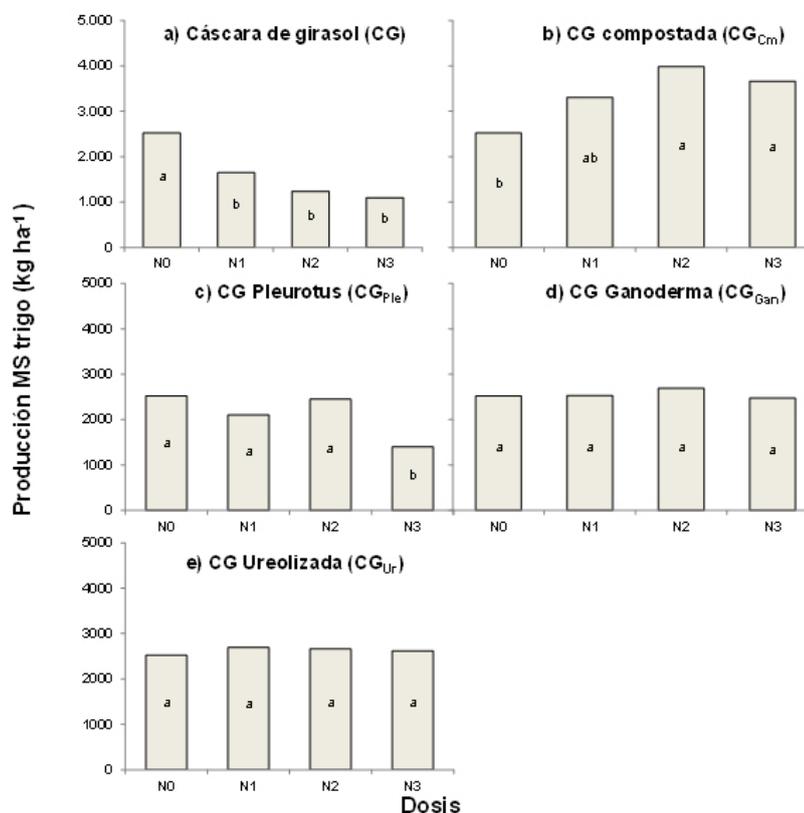


Figura 2. Producción de materia seca de trigo según tratamientos y aportes: Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Figure 2. Wheat dry matter production according to treatments and inputs. Different letters indicate significant differences ($p < 0,05$).

La mayoría de los parámetros químicos utilizados para caracterizar la CG bajo sus diferentes transformaciones presentaron correlaciones significativas ($p < 0,05$) con la producción de MS, siendo la relación C:N la variable con mayor correlación (Tabla 4). Cuando se analizó de forma global todos estos parámetros químicos en función de la producción de MS de trigo (Figura 3) mediante el ACP, se obtuvo una explicación total del 73,7% (CP1+CP2). Además, la relación C:N se estableció como el parámetro de mayor relevancia, ya que presentó el mayor valor dentro del CP 1, el cual explica mayormente la varianza en los datos. La relación C:N en 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 mayores relaciones C:N puede

ocurrir un efecto de bloqueo biológico del N asimilable del suelo por las poblaciones de microorganismos, lo cual genera deficiencias de N para la planta en detrimento de su rendimiento (Iglesias Jiménez et al., 2008). Las diferencias encontradas en la producción de MS halladas en este estudio, podrían inferir una mayor relevancia de la calidad de cada residuo, atribuido principalmente a su relación C:N, prevaleciendo por sobre la cantidad aplicada (Tabla 1).

Tabla 4. Correlaciones de Pearson entre producción de materia seca (MS) de trigo con los parámetros químicos evaluados en los tratamientos.

Table 4. Pearson correlations between dry matter (DM) production of wheat with the chemical parameters evaluated in the treatments.

Producción de trigo	n	CE	pH	MO	COT	Nt	C:N
		Coeficiente de correlación (r)					
MS	36	0,08	0,56	-0,72	-0,52	0,83	-0,87

En negrita y en cursiva se hallan las correlaciones significativas ($p < 0,05$). Conductividad eléctrica (CE); materia orgánica (MO); carbono orgánico total (COT); nitrógeno total (Nt), Relación carbono-nitrógeno (C:N).

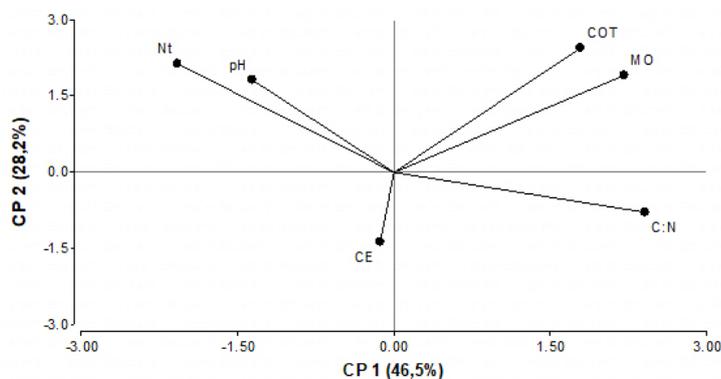


Figura 3. Biplot generado a partir del ACP utilizando los parámetros químicos de las CG con diferentes transformaciones con la producción de MS de trigo como variable de clasificación.

Figure 3. Biplot generated from the ACP using the chemical parameters of the CG with different transformations with wheat MS production as classification variable.

En la Figura 4 se observa una relación lineal significativa entre la producción de MS de trigo y la relación C:N de los tratamientos ($p < 0,01$, $R^2 = 0,83$). A partir de la calibración de Cate y Nelson (1971), se establece un nivel crítico de relación C:N de 38, por el cual se favorece la producción de MS o se restringe con la aplicación de residuos (Figura 4). Se observó que cuanto mayor es la relación C:N, a mayor dosis aplicada del material orgánico según su contenido de N equivalente, mayor es el efecto negativo sobre el crecimiento del cultivo. Esto se debe a que los elevados aportes de C sin transformar, con altos valores de lignina, favorecen la inmovilización microbiana generando menores niveles de N disponible (Iglesias Jiménez et al., 2008). La cantidad de lignina y C recalcitrante ha sido usualmente referenciada como una causante de la reducción en la tasa de mineralización, debido a la resistencia de la mayoría de estas formas al ataque microbiano (Benedicto Valdés et al., 2019; Vigil y Kissel, 1995).

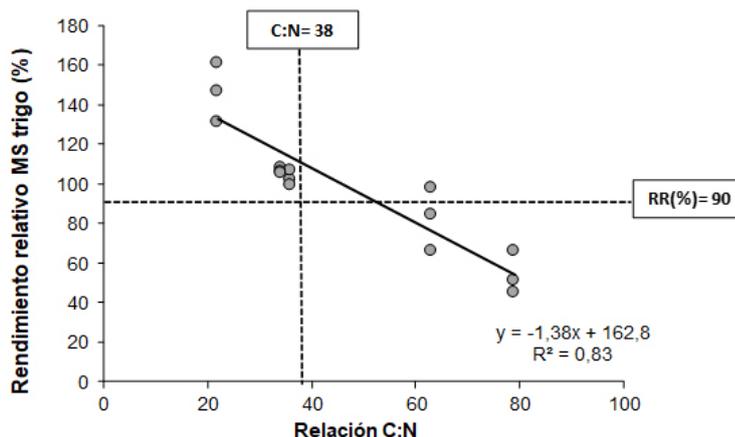


Figura 4. Rendimiento relativo (RR) de MS de trigo en relación al tratamiento testigo (RR=90) en función de la relación C:N de los tratamientos de CG con diferentes transformaciones y nivel de N aplicado.

Figure 4. Relative yield (RR) in relation to the control treatment (RR=90) depending on the C:N ratio of the treatments with different transformations and applied N level.

CONCLUSIONES

El efecto de las diferentes transformaciones de cáscara de girasol sobre la producción de materia seca del trigo se explicó principalmente por su relación C:N, siendo 38:1 la relación crítica, por lo que materiales con menores valores se favorecería los procesos de mineralización. La biotransformación modificó las propiedades químicas del material original, reduciendo la relación C:N e incrementando las relaciones E2/E4, E4/E6 y E2/E6. El proceso de ureolizado no modificó las características de la CG, generando un material con menor relación C:N por aporte de N sintético. Los materiales residuales del cultivo de hongo deberían ser sometidos a otro tratamiento para poder utilizarse como enmiendas orgánicas. El compostaje demostró ser un tratamiento adecuado, el cual se vio reflejado en la mayor producción de MS del trigo y en este caso solo se debería ajustar la CE. La técnica de UV Vis aportó información complementaria sobre la calidad estructural de estos materiales, profundizando el entendimiento sobre su potencial uso como enmienda orgánica. Sería interesante profundizar en otros residuos y evaluar el efecto del uso las sustancias húmicas extraídas de estos materiales como otra estrategia de reutilización.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue parcialmente financiado por el proyecto de Unidades Ejecutoras CERZOS- *Bioconversión y valorización de residuos agroindustriales del sudoeste bonaerense* y por 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) Se agradece al Laboratorio de Biotecnología de Hongos comestibles y medicinales (LBHCyM-CERZOS) por proporcionar los sustratos residuales del cultivo de hongos.

BIBLIOGRAFÍA

- Albrecht, R., Petit, J. L., Terrom, G. & Périssol, C. (2011). Comparison between UV spectroscopy and nirs to assess humification process during sewage sludge and green wastes co-composting. *Bioresource Technology*, 102, 4495-4500.
- Alexander, R.A. (1994). Standards and guidelines for compost use. *Biocycle*, 35 (12): 37-41.
- Allison, F.E. (1966). The fate of nitrogen applied to soils. *Advances in Agronomy*, 18:219-258.
- Barbaro, L.A., Karlanian, M.A., Imhoff, S. y Morisigue, D.E. (2011). Caracterización de la turba subtropical del departamento Islas de Ibicuy (Entre Ríos, Argentina). *Agriscientia*, 28(2): 137-145.

- Benedicto Valdés, G.S., Montoya García, C.O., Vicente Hernández, Z., Ramírez Ayala, C. y Salvador Escalante Estrada, J.A. (2019). Incorporación de abonos orgánicos y liberación de C-CO₂ como indicador de la mineralización del carbono. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 6(18):513-522.
- Bremner, J.M. (1996). Nitrogen – Total. En: *Methods os Soil Analysis*, part 3. Ed. Sparks DL, Chemical Methods, 1085-1123.
- Brown, S. & Leonard, P. (2004). Building carbon credits with biosolids recycling: Part II. *Biocycle*, September: 25-29.
- Burgess, C. & Thomas, O. (2007). UV-visible Spectrophotometry of Water and Wastewater, 1st ed. *Elsevier Science*, Boston.
- Chen, Y., Gu, B., Leboeuf, E. J., Pan, H. & Dai, S. (2002). Spectroscopic characterization of the structural and functional properties of natural organic matter fractions. *Chemosphere*, 48, 59-68.
- Chen, Y., Senesi, N. & Schnitzer, M. (1977). Information provided on humic substances by E4/E6 ratios. *Soil Science Society of America*, 41(2): 352-358.
- Curvetto, N.R., Figlas, D., Gonzales, R.M. & Delmastro, S. (2005). Mushroom Growers´ Handbook 2: Shiitake Cultivation, published by *MushWorld*, Seoul, Korea. 127-133.
- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablada, M. y Robledo, C.W. (2013). InfoStat, versión 2013, Grupo InfoStat, FCA. Universidad Nacional de Córdoba (Argentina).
- Domeizel, M., Khalil, A. & Prudent, P. (2004). UV spectroscopy: a tool for monitoring humification and for proposing an index of the maturity of compost. *Bioresource Technology*, 94, 177-184.
- Duval, M. E., Martínez, J. M., & Galantini, J. A. (2020). Assessing soil quality indices based on soil organic carbon fractions in different long-term wheat systems under semiarid conditions. *Soil Use and Management*, 36 (1), 71-82.
- Espinosa Loréns, D. M. C., Fernández, D. A., López, D. M., Ramos, M. C. Y., Correa, O. y Álvarez, C. (2012). Determinación de sustancias húmicas en lixiviados de vertederos de residuos sólidos urbanos. *Revista Cubana de Química*, XXIV: 175–180.
- He, Z., Mao, J., Honeycutt, C. W., Ohno, T., Hunt, J. F. & Cade Menun, B. J. (2009). Characterization of plant-derived water extractable organic matter by multiple spectroscopic techniques. *Biology and Fertility of Soils*, 45, 609-616.
- Heal, O.W., Anderson, J. M. & Swift, M. J. (1997). Plant Litter Quality and Decomposition: An Historical Overview. In: Cadish, G & KE Killer (Eds.). *Driven by Nature: Plant Litter Quality and Decomposition*. pp. 3-30.
- Heymann, K., Mashayekhi, H. & Xing, B. (2005). Spectroscopy analysis of sequentially extracted humic acid from compost. *Spectroscopy Letters*, 38, 293-302.
- Hogg, D., Favoino, E., Centemero, M., Caimi, V., Amlinger, F., Devliegher, W., Brinton, W. & Antler, S. (2002). Comparison of compost standards within the EU, North America and Australia. *The Waste and Resources Action Programme (WRAP)*, Oxon.
- Iglesias-Jiménez, E., Barral, M. T. y Marhuenda, F.C. (2008). Indicadores de la estabilidad y madurez del compost. En: Moreno, J & R Moral (Eds.). *Compostaje*. pp. 243-283. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- Iocoli, G. A., Pieroni, O. I., Gómez, M. A., Alvarez, M. B. & Galantini, J. A. (2017). Rapid characterisation of agro-industrial effluents for environmental fate by UV-visible and infrared spectroscopy from fractions obtained by centrifugation. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry* 97 (8), 756-767.
- Lasaridi, K. E. (1998). *Compost Stability: A Comparative Evaluation of Respirometric Techniques*. PhD Thesis, Department of Civil Engineering, University of Leeds, Leeds, UK.
- Martínez, JM; JA Galantini; ME Duval; MR Landriscini; RJ García & FM López. 2018. Nitrogen mineralization indicators under semi-arid and semi-humid conditions: influence on wheat yield and nitrogen uptake. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 49(15): 1907-1921.
- Martínez, J. M., Galantini, J. A., Duval, M. E., López, F. M. y Iglesias, J. O. (2017a.) Ajustes en la estimación de carbono orgánico por el método de calcinación en Molisoles del sudoeste bonaerense. *Ciencia del Suelo*, 35: 181-187.
- Martínez, J. M., Galantini, J. A., Duval, M. E. & López, F. M. (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 and Tillage Research*, 169: 71-80.
- Mulvaney, R. L. (1996). Nitrogen- Inorganic forms.1123-1184. In *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods*. (Ed. DL Sparks), SSSA- ASA, Madison, WI, USA.
- Olsen, S. R., Cole, C., Watanabe, F.S. y Dean, L. A. (1954). Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate, U.S. Dep. of Agric. Circ. 939.
- Peuravuori, J. & Pihlaja, K. (1997). Molecular size distribution and spectroscopic properties of aquatic humic substances. *Analytical Chemistry*, 337, 133–149.
- Postemsky, P. D., Lucaioli, V. S., Devalis R., González Matute R., Figlas N. D., Kiehr. M., Cubitto M. A., Marinangeli, P.A. y Curvetto, N.R. (2017a). Pretratamientos de la cáscara de semilla de girasol para su utilización como sustrato de plantas. IV Congreso Internacional Científico y Tecnológico-CONCYT 2017.
- Postemsky, P. D., Bidegain, M.A., González-Matute, R., Figlas, N.D., & Cubitto, M.A. (2017b). Pilot-scale bioconversion of rice and sunflower agro-residues into medicinal mushrooms and laccase enzymes through solid-state fermentation with *Ganoderma lucidum*. *Bioresource*

- Technology 231 (2017) 85–93.
- Rajkhowa, D. J., Sarma, A. K., Bhattacharyya, P. N. & Mahanta, K. (2019). Bioconversion of agricultural waste and its efficient utilization in the hilly ecosystem of Northeast India. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 8, 11–20.
- Sainz Rozas, H., Echeverría, H. E. y Angelini, H. (2011). Niveles de carbono orgánico y pH en suelos agrícolas de la región pampeana y extrapampeana argentina. *Ciencia del Suelo*, 29: 29-37.
- Salazar Sosa, E., Beltrán Morales, A., Fortis-Hernández, M., Leos Rodríguez, J. A., Cueto-Wong, J. A., Vázquez Vázquez, C. y Peña Cabriales, J.J. (2003). Mineralización de nitrógeno en el suelo y producción de maíz forrajero con tres sistemas de labranza. *Terra Latinoamericana*, 21(4), 569-575.
- Senesi, N., Mirano, T. M. & Brunetti, G. (1996). Humic-like substances in organic amendments and effects on native soil humic substances. In: A. Piccolo, editor, *Humic substances in terrestrial ecosystems*. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands. p. 531–593.
- Senesi, N., Plaza, C., Brunetti, G. & Polo A. (2007). A comparative survey of recent results on humic-like fractions in organic amendments and effects on native soil humic substances. *Soil Biology and Biochemistry*, 39:1244–1262.
- Shirshova, L. T., Ghabbour, E. A. & Davies, G. (2006). Spectroscopic characterization of humic acid fractions isolated from soil using different extraction procedures. *Geoderma* 133: 204-216.
- Soil Survey Staff (2010). *Keys to Soil Taxonomy*, 11th ed. USDA-Natural Resources 22. Conservation Service, Washington, DC.
- Sommers, L. E. & Nelson, D. D. W. (1972). Determination of total phosphorus in soil. *Soil Science Society of American Proceedings* 36:902-904.
- Tian, G., Granato, T. C., Cox, A. E., Pietz, R. I., Carlson, C. R. & Abedin, Jr. Z. (2009). Soil carbon sequestration resulting from long-term application of biosolids for land reclamation. *Journal of Environmental Quality*, 38:61-74.
- Ukalska Jaruga, A., Bejger, R., Debaene, G. & Smreczak, B. (2021). Characterization of Soil Organic Matter Individual Fractions (Fulvic Acids, Humic Acids, and Humins) by Spectroscopic and Electrochemical Techniques in Agricultural Soils. *Agronomy*, 11, 1067.
- Vigil, M. F. & Kissel, D. E. (1995). Rate of nitrogen mineralized from incorporated crop residues as influenced by temperature. *Soil Science Society of America Journal* 59: 1636- 1644. En: Moreno, J. y Moral, R. (Eds.). *Compostaje*. pp.359. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- Waldrip, M. H., He, Z., Todd, R. W., Hunt, J.F., Rhoades, M. B. & Cole, N. A. (2014). Characterization of Organic Matter in Beef Feedyard Manure by Ultraviolet-Visible and Fourier Transform Infrared Spectroscopies. *Journal of Environmental Quality*. 43:690–700.
- Zambrano, A. J., Contreras, F.A., Paolini, J.E. y Rivero, C. (2011). Caracterización espectroscópica de enmiendas orgánicas. *Avances en Investigación Agropecuaria* 15(3): 67-85.
- Zbyszewski, R. & Buszewski, B. (2005). Characterization of natural organic matter (NOM) derived from sewage sludge compost. Part 1: chemical and spectroscopic properties. *Bioresource Technology*, 96, 471–478.