

UTILIZACIÓN DE CÁSCARAS DE GIRASOL (*Helianthus annuus* L.) COMO ENMIENDA ORGÁNICA Y SUS EFECTOS SOBRE PROPIEDADES DEL SUELO

SUNFLOWER (*Helianthus annuus* L.) HULL AS AN ORGANIC AMENDMENT AND ITS EFFECTS ON SOIL PROPERTIES

Adrián Gustavo Vallejos^{1*}, Juan Carlos Silenzi¹, Nora Elena Echeverría¹, Martín De Lucía¹

¹ Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur, San Andrés 8000, Bahía Blanca (8000), Argentina.

* Autor para correspondencia E-mail: avallejo@criba.edu.ar

RESUMEN

Las cáscaras de girasol utilizadas como abono pueden mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo. Por este motivo, se realizó un ensayo consistente en la incorporación de 0 (A0); 55 (A1) y 88 (A2) Mg ha⁻¹ de cáscaras en la capa arable de un Haplustol Típico. Luego de 52 meses de incorporadas las cáscaras perduró un fuerte incremento del carbono orgánico (CO) en A1 (15,5) y A2: (16,6) g kg⁻¹ respecto de A0 (11,6 g kg⁻¹). El pH descendió de 7,5 en A0 a 7,3 en A1 y A2. El P continuó alto después de 52 meses en los tratamientos A1 (21 mg kg⁻¹) y A2 (27 mg kg⁻¹) respecto de A0 (18 mg kg⁻¹). La estabilidad estructural a los 40 y 52 meses alcanzó los mayores valores para A1 y A2 con respecto de A0. Al finalizar el ensayo los valores de agua retenida a 0,01 MPa fueron 30% superiores al testigo, y a 0,033 MPa fueron 23% más altos que A0; a la tensión de 1,5 MPa no hubo diferencia significativa entre tratamientos. El agua útil de A1 y A2 mostró diferencias significativas respecto de A0. En base a los resultados obtenidos con la incorporación de este residuo se considera recomendable su utilización.

Palabras clave: residuos orgánicos, enmiendas lignocelulósicas, propiedades físicas y químicas del suelo.

ABSTRACT

The incorporation of sunflower hulls can improve the physical and chemical properties of the soil. Therefore, a study was conducted in order to evaluate the incorporation of 0 (A0); 55 (A1) and 88 (A2) Mg ha⁻¹ of sunflower hulls in the arable layer of a Typical Haplustoll. Fifty-two months after hulls were incorporated into the soil, a strong increase of organic carbon (CO) was observed in A1 (15.5 g kg⁻¹) and A2 (16.6 g kg⁻¹), as compared with AO (11.6 g kg⁻¹). Soil pH levels were 7.5 in A0 and 7.3 in A1 and A2. After the 52 month-period, P levels remained high in A1 (21 mg kg⁻¹) and A2 (27 mg kg⁻¹), as compared with AO (18 mg kg⁻¹). The highest soil aggregate stability was observed in A1 and A2 treatments after 40 and 52 months. At the end of the experiment, soil water retention at 0.01 MPa was 30% higher than the control treatment, while values observed at 0.033 MPa were 23% higher than A0. However, no significant differences between treatments were observed at 1.5 MPa. The available water capacity of A1 and A2 showed significant differences compared to A0. Based on these results, it can be concluded that the application of this residue can be recommended.

Key words: organic residues, ligenous amendments, soil physical and chemical properties.

INTRODUCCIÓN

Argentina cultiva anualmente alrededor de 1,35 millones de ha para producir 3,7 millones de Mg de semilla de girasol (*Helianthus annuus* L.) (Díaz-Zorita et al., 2003). A su vez, la industria aceitera produce algo más de 1,25 millones de Mg año⁻¹ de aceite de girasol, dejando un residuo de 600.000 Mg año⁻¹ de cáscaras.

Existe una amplia bibliografía sobre los efectos de residuos vegetales de alta relación carbono/nitrógeno (C/N) utilizados como mulch o incorporados al suelo. El efecto inmediato del mulch es el incremento de agua en el suelo debido a una mayor infiltración (Kumar and Goh, 2000) y una reducción en la tasa de evaporación (Unger, 2001). En este aspecto, Unger (1986) en un barbecho para maíz encontró más humedad en el suelo de las parcelas con altas cantidades de rastrojo de trigo en la superficie que en aquellas con bajas cantidades de paja. Bhushan y Sharma (2002) incorporaron *Lantana* sp. a razón de 10; 20; y 30 Mg ha⁻¹, y observaron que a medida que aumentó la enmienda aumentaron los niveles de humedad en el suelo.

Además, la cáscara de girasol, como todo residuo orgánico, puede ser utilizada con la finalidad de mantener o aumentar los niveles de materia orgánica (MO) del suelo. Estudios con residuos de la industria del papel (Zibilske et al., 2000; Foley y Cooperband, 2002), con chips de ramas de árboles (Tremblay y Beauchamp, 1998), residuos de la industria del aceite de olivo (López-Piñeiro et al., 2008) y con barros industriales (Fierro et al., 1997; Lindsay and Logan, 1998) han mostrado que es posible aumentar los niveles de MO en el suelo, tanto en aplicaciones únicas como sistemáticas.

Foley y Cooperband (2002) utilizando residuos de la industria del papel, encontraron a partir del segundo año de la aplicación aumentos en la capacidad de retención de agua, proporción de poros de agua útil y estabilidad de agregados. Las mejoras más importantes de las propiedades edáficas se han registrado con tasas altas de aplicación de residuos orgánicos (Fierro et al., 1997; Zibilske et al., 2000).

Smith (2000) atribuye las mejoras en la estabilidad de los agregados, en la infiltración y en la capacidad de retención de agua en el suelo, a un incremento de la MO como resultado de la enmienda orgánica.

Generalmente cuando se aplican residuos de alta relación C/N, los efectos sobre el suelo se manifiestan a partir del segundo año (Zibilske et al., 2000; Foley y Cooperband, 2002). Smith (2000) lo atribuye al tiempo necesario para la descomposición del residuo.

El objetivo de este ensayo fue caracterizar el residuo como fuente de nutrientes para los cultivos, determinar el aporte de metales pesados y evaluar en el tiempo la evolución de: Carbono orgánico (CO), Fósforo disponible (P), pH, estabilidad de agregados y retención hídrica, en un suelo abonado con cáscaras de girasol aplicadas en dos dosis altas en una única vez.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en Bahía Blanca (38°38' S; 62°25' O), Argentina. Se empleó un suelo característico de la región pampeana sur, clasificado como Haplustol Típico, térmica, franca gruesa (SSS-USDA, 1999). El horizonte Ap fue franco arenoso, CO 10,8 g kg⁻¹; pH 7,5; P 17 mg kg⁻¹.

En agosto de 2003 se aplicaron dos cantidades de cáscaras de girasol: 55 Mg ha⁻¹ (A1) y 88 Mg ha⁻¹ (A2), y se reservaron áreas sin cáscara como tratamiento testigo (A0). Las cáscaras se transportaron en camiones desde la planta de Cargill Bahía Blanca hasta el campo experimental localizado a 18 km. Una vez volcada en el terreno se distribuyeron homogéneamente mediante un cuadrante nivelador en parcelas de 18 x 36 m, luego se incorporaron al suelo con una rastra de discos de doble acción. La rotación de cultivos anuales fue la siguiente: año 2003 mijo (*Panicum miliaceum*), 2004 trigo (*Triticum aestivum*) (cosecha), 2005 avena (*Avena sativa*) (pastoreo), 2006 avena (pastoreo) y 2007 avena (pastoreo).

Se analizaron tres muestras de cáscaras de girasol, determinando humedad por gravimetría, MO y cenizas por calcinación a 540°C, CO por combustión seca (Leco), N por semi micro Kjeldahl, lignina, lignina + celulosa, hemicelulosa + cenizas mediante el método fibra detergente ácida y detergente neutro según las metodologías propuestas por Van Soest (1963) y Goering y Van Soest (1970). La determinación de los elementos inorgánicos presentes en la cáscara de girasol se realizó mediante espectrometría de absorción secuencial de emisión de plasma (Shimadzu, ICPS 1000, Nueva York, Estados Unidos de América) (Thompson y Walsh, 1989). La extracción de los elementos solubles se realizó a partir de una suspensión 1:5 (cáscara:agua destilada), agitado y filtrado.

La capa arable del suelo fue muestreada en octubre de 2003, marzo 2004, marzo 2006, noviembre 2006, y noviembre 2007. Se analizó CO mediante el micro método de Richter y Von Wistinghausen (1981), P (Bray y Kurtz), pH (método potenciométrico disolución); estabilidad de agregados mediante tamizado en húmedo, método de Leenher y de Boodt (1958), adaptado

por Santanatoglia y Fernández (1982). Este método consiste en un tamizado en seco con tamices malla 8 mm; 4,8 mm; 2,8 mm; 2 mm y 1 mm, y posteriormente con las fracciones obtenidas se realiza un tamizado en húmedo con tamices malla 4,8 mm; 2,8 mm; 2 mm; 1 mm; 0,5 mm y 0,3 mm.; la estabilidad estructural se expresó como valores de cambio en el diámetro medio ponderado (CDMP), que es la diferencia entre el diámetro medio ponderado del tamizado en seco y el diámetro medio ponderado del tamizado en húmedo; a mayor CDMP mayor inestabilidad del suelo.

Para los análisis químicos se tomó una muestra compuesta por unidad experimental, repitiendo 3 veces las determinaciones de laboratorio. Para la estabilidad de agregados se tomaron dos muestras por unidad experimental y luego se ensayó cada una de estas por duplicado. La retención hídrica fue evaluada en las tres últimas fechas de observación, usando la metodología de muestra disturbada en olla de presión (Cassel and Nielsen, 1986) a tres tensiones: 0,01 MPa, 0,033 MPa (equivalente a capacidad de campo: CC) y 1,5 MPa (equivalente a punto de marchites permanente: PMP). El agua útil (AU) se calculó a partir de la diferencia entre el contenido gravimétrico de humedad a 0,033 MPa y 1,5 MPa.

Para el análisis estadístico se utilizó un diseño en bloques totalmente aleatorizado con 3 repeticiones y para el análisis de medias fue empleada la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características de las cáscaras de girasol

En la Tabla 1 se observa que las cáscaras de girasol son un residuo orgánico de alta relación C/N (70) y de elevada concentración de lignina, compuesto de lenta descomposición; su tasa de degradación limita todo el proceso y retarda la liberación de macronutrientes (Sinsabaugh et al., 2011). La descomposición de la lignina es un proceso hidrolítico conducido por exoenzimas, generalmente fenol oxidasas y peroxidasas; la actividad de estas enzimas producen quinonas y otras formas fenólicas que generan productos húmicos secundarios (Grandy y Neff, 2008)

Los residuos vegetales con relación C:N entre 20 y 40 pueden inmovilizar el N del suelo y como consecuencia disminuye la tasa de descomposición del residuo (Cabrera et al., 2005) en algunos casos el punto al cual disminuye la tasa de liberación de N ocurre a valores de relación C:N superiores a 15 (Qian y Schoenau, 2002).

En la Tabla 2 se observa que el 79% del P se

encuentra en forma soluble en agua. Los aportes de K, Ca, Mg y S realizados por las cáscaras también son importantes, aunque al contrario del P y del N, no se detectó respuesta a estos nutrientes en los suelos de la región.

La concentración de metales pesados (Cu, Zn, Cd, Pb), tanto en el residuo como en la carga aplicada al suelo según A1 y A2, estuvo por debajo de los límites establecidos por la United States Environmental Protection Agency (USEPA, 1994)

Carbono orgánico en el suelo

En todas las fechas de muestreo no se encontraron diferencias en el CO de A1 y A2, y los resultados de estos tratamientos siempre fueron significativamente mayores que A0 (Tabla 3). La máxima diferencia de A1 y A2 respecto de A0 se alcanzó a los 5 meses de incorporadas las cáscaras; sin embargo es probable que los valores de A1 y A2 fueron contaminados por una pequeña cantidad de residuos muy finos que no pudieron ser eliminados por la circulación de aire. A partir de los 32 meses los niveles de CO de A1 y A2 alcanzaron una meseta de estabilidad que se mantuvo hasta los 52 meses; en ese momento la diferencia con A0 fue del orden del 36% para A1 y del 43% para A2.

El incremento de CO se produjo por la incorporación de la enmienda; según Lal (2004) el uso de enmiendas con alto contenido de lignina incrementa el contenido de CO. Además, los resultados de este ensayo coinciden con trabajos previos donde utilizaron residuos de alta relación C:N, por ejemplo, Schulz et al. (2003) con 15 Mg ha⁻¹ de residuo de molienda de arroz consiguieron elevar los niveles de CO de un alfisol de 0,7 a 1,3% en dos años (85% de incremento). Gasser et al. (1995) a los tres años de aplicación de 100 Mg ha⁻¹ de residuos de madera obtuvieron 6 a 10% de incremento del CO de un suelo franco arenoso con 2,17% de MO inicial. Tahboud et al. (2008) utilizando como enmienda entre 13,4 y 18,9 Mg ha⁻¹ de residuo de madera picada aplicado en forma anual, midieron aumentos de aproximadamente un 10% del CO del suelo al cabo de 3 años en un suelo franco arcilloso con 1% de MO inicial. Zibilske et al. (2000) registraron aumentos de 1,5 puntos (37% de incremento) del CO en un suelo franco arenoso con aplicaciones mayores a 90 Mg ha⁻¹ de residuos de la industria celulósica al cabo de 5 años.

Los valores de incrementos en el CO del suelo en este ensayo y los encontrados en la bibliografía citada difieren bastante entre sí, lo que se explica porque la capacidad de incremento de CO del suelo depende de la textura, las características del perfil y del clima (Lal, 2004).

Tabla 1. Componentes orgánicos de la cáscara de girasol y cantidades incorporadas al suelo según tratamiento.**Table 1. Organic components of sunflower hull and amounts incorporated to the soil according to treatment.**

Componente	Cáscaras	Trat. A1 ¹	Trat. A2 ²
	%	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹
Cenizas	3,0	1.650	2.640
Materia Orgánica	97,0	53.350	85.360
Carbono orgánico	42,0	23.100	36.960
Nitrógeno total	0,58	319	510,4
Relación C:N	72,4		
Lignina	28,7	15.785	25.256
Lignina + Celulosa	60,0	33.000	52.080

¹: A1: 55 Mg ha⁻¹ de cáscaras de girasol; ²: A2: 88 Mg ha⁻¹ de cáscaras de girasol.
Relación C:N = relación carbono:nitrógeno.

Tabla 2. Elementos totales y solubles presentes en la cáscara de girasol y aportados al suelo según tratamiento.**Table 2. Total and soluble mineral content in sunflower hull and incorporated to the soil according to treatment.**

Elemento	Totales			Solubles		
	En cáscara	Trat. A1 ¹	Trat. A2 ²	En cáscara	Trat. A1	Trat. A2
	g kg ⁻¹	----- kg ha ⁻¹ -----		g kg ⁻¹	----- kg ha ⁻¹ -----	
P	1,10	60,50	96,80	0,87	47,8	76,56
K	7,17	394	630,40	6,80	374,0	598,4
S	1,22	67,10	107,40	0,68	37,4	59,8
Ca	2,30	126,50	202,40	0,35	19,3	30,8
Mg	1,315	71,77	114,80	0,44	24,2	38,7
Cu	0,01	0,58	0,93	0,004	0,22	0,35
Zn	0,014	0,77	1,23	0,002	0,11	0,18
Mn	0,075	4,13	6,6	0,001	0,055	0,088
Fe	0,0945	5,20	8,32	0,004	0,22	0,35
Na	0,133	7,32	11,7	0,069	3,8	6,07
B	0,0175	0,96	1,54	0,008	0,44	0,704
As	<0,0005	< 0,028	< 0,044	<0,003	< 0,165	< 0,264
Cd	<0,0005	< 0,028	< 0,044	0	0	0
Pb	<0,0005	< 0,028	< 0,044	0,0006	0,033	0,0528

¹: A1: 55 Mg ha⁻¹ de cáscaras; ²: A2: 88 Mg ha⁻¹ de cáscaras.

Acidez del suelo

En los tratamientos A1 y A2 se observó una ligera disminución del pH respecto del tratamiento A0 en todas las fechas estudiadas (Tabla 3). La disminución del pH se atribuye a la formación de ácido carbónico por liberación de anhídrido carbónico de la descomposición de la cáscara. Posiblemente la mayor solubilización del Ca del suelo impidió que el pH descendiese más.

Resultados similares fueron encontrados por Neilsen et al. (1998) y López-Piñero et al. (2008), con la aplicación de diversos residuos orgánicos.

Fósforo

La aplicación de la enmienda aumentó significativamente los niveles de P-Bray del suelo en todas las fechas de muestreo, en los tratamientos A1 y A2 en relación al testigo. A0

Tabla 3. Niveles de carbono orgánico del suelo (CO), acidez (pH), fósforo disponible (P) y cambio en el diámetro medio ponderado (CDMP) de los agregados del suelo para los diferentes tratamientos en las cinco fechas de muestreo estudiadas.

Table 3. Soil organic carbon (CO), pH, available phosphorus (P) and change in mean weighted diameter (CDMP) for different treatments on the five sampling dates.

Tratamiento	Fechas de muestreo				
	10-2003	03-2004	03-2006	11-2006	11-2007
Carbono Orgánico (CO) g kg ⁻¹					
A0	10,8 c	10,9 b	11,5 b	11,3 b	11,6 b
A1	15,9 ab	17,4 a	14,9 a	14,6 a	15,5 a
A2	16,9 a	18,5 a	15,5 a	16,6 ab	16,6 a
pH					
A0	7,4 a	7,5 a	7,8 a	7,7 a	7,5 a
A1	7,2 ab	7,3 ab	7,4 b	7,4 b	7,3 a
A2	6,9 b	7,3 b	7,4 b	7,4 b	7,3 a
Fósforo disponible (P) mg kg ⁻¹					
A0	16,60 b	18,00 c	19,80 b	18,02 b	18,02 b
A1	46,60 a	40,50 b	24,65 a	23,83 a	21,49 a
A2	43,90 a	77,60 a	27,36 a	27,60 a	27,44 a
Cambio en el diámetro medio ponderado (CDMP) mm					
A0	-	1,14 a	1,20 a	1,12 a	1,10 a
A1	-	0,99 a	0,91 b	0,63 b	0,58 b
A2	-	1,08 a	0,82 b	0,49 b	0,51 b

Medias de tratamientos seguidos de la misma letra no difieren entre sí (Tukey 5 %)

mostró valores estables a lo largo de 52 meses, en cambio A1 y A2 registraron un fuerte incremento de P hasta los 8 meses, luego un descenso marcado hasta los 32 meses, y a partir de ese momento una leve tendencia a disminuir en A1 y estabilidad en A2 (Tabla 3). Este comportamiento del P se debe a que durante los primeros meses de realizada la enmienda se produce el lavado del P soluble presente en las cáscaras (se debe tener en cuenta que A1 y A2 aportaron 48 y 96 kg ha⁻¹ de P soluble, respectivamente, en un Ap de 12 cm de profundidad). Posteriormente una proporción de P se transformó a formas menos solubles, y una vez satisfecho el umbral de fijación del P, especialmente con el Ca del suelo y del aportado por las cáscaras, se estableció un valor de P disponible elevado para estos suelos. A los 52 meses de aplicadas las enmiendas de cáscara, la diferencia de A1 y A2 respecto de A0 fue del 19 y 44%, respectivamente.

Por su parte, el P no soluble (equivalente a 12,7 y 25,4 kg ha⁻¹ para A1 y A2, respectivamente) se fue liberando a medida que se degradó la cáscara de girasol en el suelo. Este P también pasa de formas solubles a formas menos solubles por la actividad del Ca⁺⁺ que aumenta a medida que baja el pH por descomposición del residuo. Esto hace pensar que la fuente de CO es importante,

puesto que la inmovilización provocada por la lignina hace al proceso mucho más lento que para los azúcares o almidones (Sikora y Enkiri, 2003). Resultados similares con incorporación al suelo de cáscaras de arroz fueron encontrados por Nnabude y Mbagwu (2006) y con incorporación al suelo de residuos de molienda de oliva por López-Piñero et al. (2008).

Los niveles de P soluble, como fue mencionado anteriormente, no sólo fueron elevados en todas las fechas de muestreo, en la última evaluación los valores de P-Bray para las dos cantidades de cáscara aplicada fueron aproximadamente 68% mayores que el testigo, coincidiendo con Neilsen et al. (1998); esto se podría explicar por los altos aportes de P realizados con la enmienda y por la lenta descomposición del residuo en el tiempo, que se traduce en una constante liberación de P (Robbins et al., 2000; Sikora and Enkiri, 2003)

Estabilidad de agregados

Se puede observar en la Tabla 3 que a los 8 meses los efectos de la enmienda no son significativos. A partir de los 32 meses los tratamientos A1 y A2 muestran diferencias importantes respecto del tratamiento A0, y después de los 40 meses los valores de A1 y A2 parecen estabilizarse,

alcanzando valores de estabilidad que duplican a A0.

La bibliografía consultada sobre la aplicación de residuos orgánicos de alta relación C:N y sus efectos sobre el suelo es contradictoria (Abiven et al., 2009). Numerosos trabajos donde aplican al suelo residuos similares, como desechos de la industria celulósica (Lindsay y Logan 1998; Chantigny et al., 1999), pellets de papel (Unger, 2001) y cáscaras de arroz (Adesodun et al., 2001; Nwite et al., 2010), encuentran mejoras en la estabilidad de agregados, en tanto que otros como N'dayegamiye y Angers (1993) y Gasser et al. (1995), no encontraron cambios utilizando residuos de madera.

La respuesta del suelo cuando es abonado con este tipo de residuos parece depender de la cantidad de material aplicado, de la textura del suelo y del nivel de degradación del mismo. Según Zibilske et al. (2000) para obtener mejoras en la estabilidad de agregados son necesarias altas dosis de residuos; Lindsay y Logan (1998) encontraron que a medida que incrementa la cantidad de residuo aplicado, mejora la estabilidad de los agregados, hasta llegar a una meseta donde ya no se mejora esta propiedad del suelo. En este ensayo las dosis aplicadas fueron elevadas y no se encontraron diferencias entre A1 y A2; probablemente con A1 se haya alcanzado la meseta que menciona Lindsay y Logan (1998). Tisdall y Oades (1982) también mencionan que a partir de un determinado nivel de MO en el suelo no se generan mejoras en la agregación del suelo.

Es importante destacar la permanencia del efecto significativo de la enmienda sobre la estabilidad de agregados, hasta más de cuatro años después de la aplicación. En este sentido, Chantigny et al. (1999) trabajando con 50 y 100 Mg ha⁻¹ de residuos de papelera encontraron diferencias significativas hasta 3 años después de la aplicación.

Otro aspecto que se debe considerar en la respuesta de la estabilidad de agregados a la incorporación de residuos de alta relación C:N es el estado de degradación del suelo. Johnson et al. (2004) incorporaron residuos de fermentación de paja de maíz en dos fases de un mismo suelo de textura franca, una degradada y otra no, y solo encontraron mejoras significativas en la estabilidad de agregados en la fase degradada. El presente ensayo fue realizado en un suelo degradado con bajos niveles de MO y como se puede observar en la Tabla 3 las respuestas a la enmienda fue altamente significativa. Las características del residuo incorporado también influye sobre la agregación, ya que materiales de alta relación C:N son más resistentes y logran mayor estabilización de los agregados (Bandyopadhyay et al., 2010).

Retención hídrica del suelo

En suelos arenosos puede considerarse la tensión de 0,01 MPa como capacidad de campo y para texturas más finas 0,033 MPa (Bauer and Black, 1992). Los resultados de retención hídrica del suelo a 0,01 MPa indican que los tratamientos A1 y A2 retuvieron entre 21 y 45% más agua que A0 (Figuras 1, 2 y 3); las diferencias más importantes se dieron a los 40 meses de incorporadas las cáscaras (Figura 2). En ese momento también se registró una diferencia significativa de A1 respecto de A2 que no ocurrió en las otras dos fechas, a pesar que siempre existió una tendencia del suelo a retener más agua en A1 que en A2. Aumentos en la retención de agua a 0,01 MPa debidos a la aplicación de enmiendas orgánicas en suelos de texturas gruesas han sido informados por Zibilske et al. (2000).

Bauer y Black (1992) indicaron que solamente en suelos arenosos se encuentran correlaciones entre carbono orgánico y la retención de agua a 0,01 MPa.

A la tensión de 0,033 MPa se observaron incrementos significativos en la cantidad de agua retenida por A1 respecto de A0 en todas las fechas de muestreo, el mayor, del orden del 38%, ocurrió a los 40 meses de incorporada la cáscara. El tratamiento A2 mostró una tendencia a retener más agua que A0 y menos que A1, aunque no hubo diferencias estadísticas.

Con la totalidad de los datos de CO y agua retenida a 0,01 y 0,033 MPa se realizaron regresiones, para el contenido gravimétrico de agua a 0,01 MPa el valor r^2 fue de 0,50 ($P > 0,01\%$; $n = 32$) y para el casos de 0,033 MPa el coeficiente r^2 fue 0,61 ($P > 0,01$; $n = 32$). No obstante el bajo valor de r^2 de la regresión entre CO y agua retenida a 0,01 MPa, existe una relación entre CO y la capacidad del suelo de retener agua. La explicación en el aumento del contenido de humedad tanto a 0,01 como 0,033 MPa puede originarse por el aumento del CO, que favorece la agregación y aumentaría la cantidad de macro poros (Lindsay y Logan, 1998; Tremblay y Beauchamp, 1998; Zibilske et al., 2000; Foley y Cooperband, 2002).

En este estudio se encontraron incrementos en el CO y mejoras significativas en la estabilidad de agregados para los tratamientos que recibieron la enmienda (Tabla 3), de tal forma los resultados son coincidentes con la bibliografía. Según Cuevas (2006) el aumento de la estabilidad de agregados genera continuidad y funcionalidad en los poros del suelo, efectos positivos que también explicarían la mejora en la retención de agua

Los resultados del agua retenida a 1,5 MPa punto de marchitez permanente (PMP) no mostraron diferencias entre tratamientos. Se debe

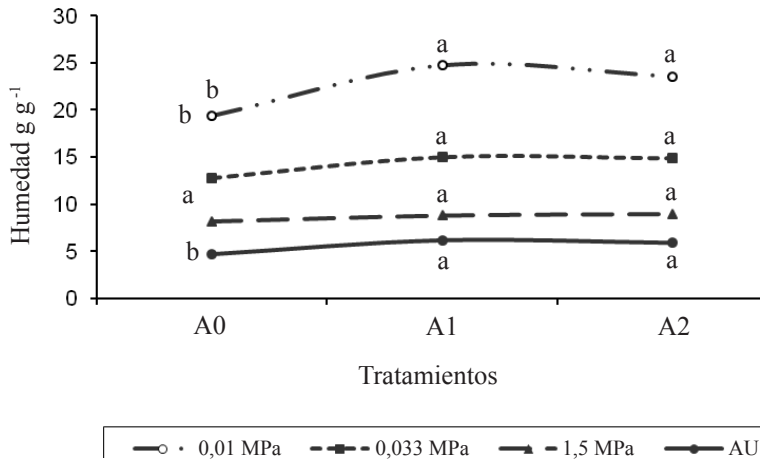


Fig. 1. Retención hídrica (g/g) a 0,01 MPa, 0,033 MPa, 1,5 MPa y agua útil (AU) del suelo para los diferentes tratamientos en la primera fecha de muestreo (marzo 2006). Medias de tratamientos seguidos de la misma letra no difieren entre sí. Tukey 5%.

Fig.1. Soil water retention at 0.01 MPa, 0.033 MPa and 1.5 MPa, and available water content (AU) of the soil for the different treatments on the first date of sampling (March 2006). Treatment means followed by the same letter do not differ significantly. Tukey's test 5%.

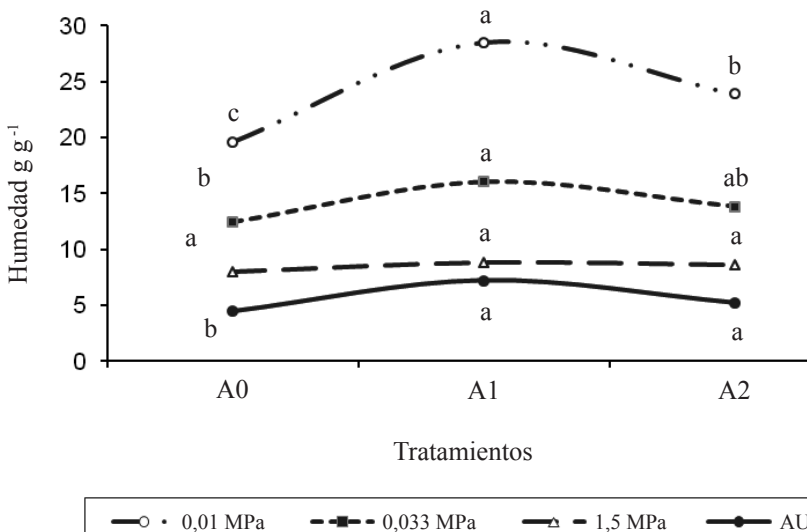


Fig. 2. Retención hídrica del suelo (g/g) a 0,01 MPa, 0,033 MPa, 1,5 MPa y agua útil (AU), para los diferentes tratamientos en la segunda fecha (noviembre de 2006). Medias de tratamientos seguidos de la misma letra no difieren entre sí. Tukey 5%.

Fig. 2. Soil water retention at 0.01 MPa, 0.033 MPa and 1.5 MPa, and available water content (AU) for the different treatments on the second date of sampling (November 2006). Treatment means followed by the same letter do not differ significantly. Tukey's test 5%.

destacar que la mayoría de los autores consultados encontraron aumentos del agua retenida a 1,5 MPa con el agregado de enmiendas orgánicas (Hudson 1994; Zibilske et al., 2000; Olness y Archer, 2005). Este fenómeno se debe a la ubicación de las partículas de la enmienda en los espacios de la fracción mineral del suelo, produciendo

una gran cantidad de microporos (Zhang et al., 2005); con el humedecimiento, la sorción de agua por parte de la materia orgánica y los pequeños poros formados, se incrementaría el PMP (Gupta et al., 1977), posteriormente los ciclos de secado y humedecimiento proporcionan arcillas dispersa formando enlaces entre las sustancias húmi-

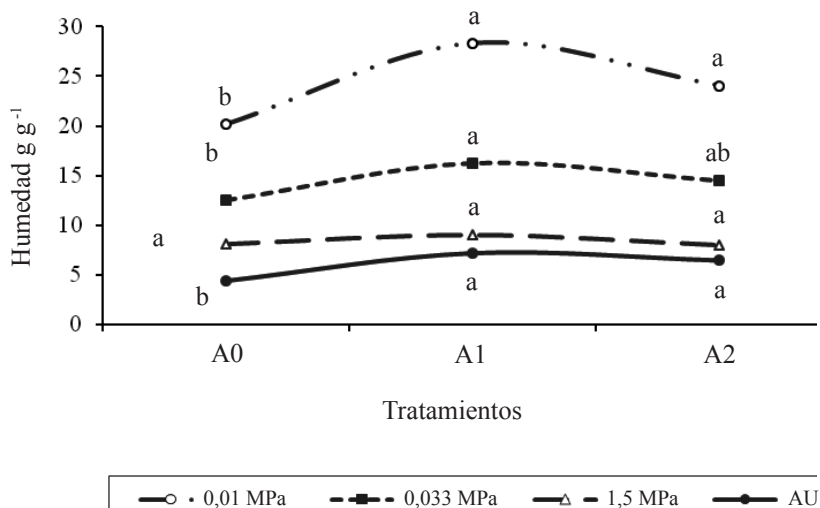


Fig.3. Retención hídrica del suelo (g/g) a 0,01 MPa, 0,033 MPa, 1,5 MPa y agua útil (AU) para los diferentes tratamientos en la tercera fecha de muestreo (noviembre 2007). Medias de tratamientos seguidos de la misma letra no difieren entre sí. Tukey 5%.

Fig. 3. Soil water retention at 0.01 MPa, 0.033 MPa and 1.5 MPa, and available water content (AU) for the different treatments on the third date of sampling (November 2007). Treatment means followed by the same letter do not differ significantly. Tukey's test 5%.

cas, la materia orgánica liberada por el residuo y la fracción mineral (Zhang et al., 2005; Foley y Cooperband, 2002).

En este ensayo, la enmienda presentó efecto nulo sobre la cantidad de agua retenida a PMP; Foley y Cooperband (2002) tampoco encontraron aumentos de agua en el PMP después de un año de la aplicación entre 5,9 y 33,9 Mg ha⁻¹ de turba y residuos de plantas de celulosa (compostados y sin compostar). Los autores atribuyen los resultados al nivel insuficiente de carbono incorporado al suelo para generar la formación de pequeños poros. Este efecto puede ser revertido con la aplicación de una nueva enmienda (Zibilske et al., 2000; Foley y Cooperband, 2002). En este sentido Zhang et al. (2005) trabajando con bajas dosis de turba no encontraron variaciones en la cantidad de microporos, no obstante, aumentaron los poros mayores a 50 micrones. Probablemente la disponibilidad de partículas orgánicas no serían suficientes para ocupar los espacios libres de la fracción mineral e incrementar la cantidad de microporos, sin embargo, cuando incrementó la tasa de aplicación de la enmienda este efecto fue anulado y se incrementó la cantidad de microporos, como fue explicado anteriormente.

En este ensayo, el AU de los tratamientos A1 y A2 mostró incrementos respecto de A0 del orden de 2-3,5 g g⁻¹ (40-77%) para todas las fechas de muestreo. Foley y Cooperband (2002) encontraron aumentos en el AU del 15 al 45%, según el tipo y cantidad de residuo utilizado a un año después de la segunda aplicación anual. Zibilske et al. (2000)

encontraron resultados similares y mencionan que el carbono estuvo significativamente relacionado con el agua útil. No obstante, Bauer y Black (1992) indicaron que solamente en suelos arenosos es posible encontrar relación entre el CO del suelo y el AU. Las discrepancias pueden originarse en las metodologías de trabajo utilizadas por los distintos autores, ya que Bauer y Backer (1992) trabajaron con diferencias de CO consecuencia de manejos diferenciales de un mismo suelo, en tanto que Zibilske et al. (2000) y Foley y Cooperband (2002) utilizaron enmiendas de altas cantidades de carbono, al igual que en este trabajo.

Generalmente se menciona que la adición de CO al suelo no tiene efecto sobre el AU, debido a que los incrementos de retención hídrica a CC por unidad de CO son iguales a los que se producen a PMP (Bauer y Black, 1992; Hudson, 1994). Mediante una regresión simple empleando la totalidad de los datos experimentales, encontramos una elevada explicación ($r^2 = 76\%$; $n = 32$; $P < 0,01$) de los niveles de AU en relación al contenido de CO del suelo.

La explicación del incremento de AU en respuesta a la enmienda se da por el comportamiento diferencial de la retención de agua a CC y PMP. Como se discutió anteriormente, la retención de agua a 0,01 y 0,033 Mpa se incrementó en los tratamientos A1 y A2, sin embargo la retención de agua a 1,5 MPa se mantuvo constante. Hudson (1994) encontró que los aumentos de agua retenida a CC (0,033 MPa) por unidad de carbono adicionado siempre fueron mayores que para PMP

(15 MPa) provocando aumentos en el AU a medida que suben los niveles de CO.

CONCLUSIONES

La incorporación de cáscara de girasol al suelo tuvo un efecto positivo sobre las propiedades edáficas estudiadas. Los resultados finales, a 52 meses de aplicadas las enmiendas, indicaron que el CO de los suelos con cáscaras fue entre el 34 y 43% por encima del suelo testigo, el P-Bray entre 16,7 y 50% más alto, y la estabilidad de agregados fue el doble más estable.

La enmienda incrementó la retención de agua del suelo a 0,01 y 0,033 MPa a lo largo de los 52 meses que duraron las mediciones. Al finalizar el estudio, los valores de capacidad de campo (0,01 MPa) fueron un 30% superiores en las parcelas tratadas y los resultados obtenidos a 0,033 MPa fueron un 23% superiores al testigo. Los valores de retención hídrica a 1,5 MPa no fueron alterados por la enmienda. El agua útil de los suelos con cáscara se incrementó significativamente respecto del testigo.

Las cáscaras de girasol pueden ser utilizadas como fuente de P y la carga de metales pesados, para las dosis ensayadas, fue inferior al límite recomendado por la USEPA (1994).

Dado el efecto positivo de la enmienda sobre las propiedades físicas y químicas del suelo y el bajo riesgo de contaminación, se considera la aplicación de este residuo al suelo como altamente recomendable.

LITERATURA CITADA

- Abiven, S., S. Menasseri, and C. Chenu. 2009. The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability – A literature analysis. *Soil Biol. Biochem.* 41:1-12.
- Adesodun, J. K., J.S.C. Mbagwu, and N.Oti. 2001. Structural stability and carbohydrate contents of an ultisol under different management systems. *Soil Till. Res.* 60:135-142.
- Bauer, A., and A.L. Black. 1992. Organic carbon effects on available water capacity of three soil textural groups. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:248-254.
- Bandyopadhyay, P.K., S. Saha, P.K. Mani, and B. Mandal. 2010. Effect of organic inputs on aggregate associated organic carbon concentration under long-term rice-wheat cropping system. *Geoderma* 154:379-386.
- Bhushan, L., and K.P. Sharma. 2002. Long-term effects of lantana (*Lantana* spp. L.) residue additions on soil physical properties under rice-wheat cropping: I Soil consistency, surface cracking and clod formation. *Soil Till. Res.* 65:157-167.
- Cabrera, M.L., D.E. Kissel, and M.F. Vigil. 2005. Nitrogen mineralization from organic residues: research opportunities. *J. Environm. Qual.* 34(1):75-79.
- Cassel, D.K., and D.R. Nielsen. 1986. Field capacity and available water capacity. p. 901-924. In Klute, A. (ed.). *Methods of soil analysis. Physical and mineralogical methods.* Am. Soc. Agron., Madison, Wisconsin, USA.
- Chantigny, M. H., D.A. Angers, and Ch.J. Beuchamp. 1999. Aggregation and organic matter decomposition in soils amended with de-inking paper sludge. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63(5):1214-1221.
- Cuevas, J.B. Seguel, S. Ellies, A. y Dörber, F. 2006. Efectos de las enmiendas orgánicas sobre las propiedades físicas del suelo con especial referencia a la adición de lodos urbanos. *R.C. Suelo Nutr. Veg.* 6(2):1-12.
- Díaz-Zorita, M., G.A. Duarte, y E. Plante. 2003. El cultivo de girasol. 10 p. Ed. ASAGIR, Asociación Argentina de Girasol, Buenos Aires, Argentina.
- Fierro, A.J., A. Norrie, A. Gossein, and C.J. Beauchamps. 1997. Deinking sludge influences biomass, nitrogen and phosphorus status of several grass and legume species. *Can. J. Soil Sci.* 77:693-702.
- Foley, B.J., and L.R. Cooperband. 2002. Paper mill residuals and compost effects on soil carbon and physical properties. *J. Environm. Qual.* 31:2086-2095.
- Gasser, M.O., M. Laverdiere, and A.N' dayegamiye, M. 1995. Short-term effects of crop rotation and wood-residue amendments on potato yields and soil properties of sandy loam soil. *Can. J. Soil Sci.* 75:385-390.
- Goering, H.K., and P.J. Van Soest. 1970. Forage fiber analyses (apparatus, reagents, procedures, and some applications). *Agriculture Handbook No. 379.* Agricultural Research Service, U.S. Dep. Agr., Washington D.C., USA.
- Grandy, A.S., and J.C. Neff. 2008. Molecular C dynamics downstream: The biochemical decomposition sequence and its impact on soil organic matter structure and function. *Sci. Total Environ.* 404:297-307.
- Gupta, S.C., R.H. Dowdy, and W.E. Larson. 1977. Hydraulic and thermal properties of a sandy soil as influenced by incorporation of sewage sludge. *Soil Sci Soc. Am. J.* 41(3):601-605.
- Hudson, B.D. 1994. Soil organic matter and available water capacity. *J. Soil and Water Cons.* 49(2):183-188.
- Johnson, J.M., D. Reicosky, B. Sharratt, M. Lindstrom, W. Voorhees, and L. Carpenter-Boggs. 2004. Characterization of soil amended with the by-

- product of corn stover fermentation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68(1):139-147.
- Kumar, K., and K.M. Goh. 2000. Crop residues and management practices: Effects on soil quality, soil nitrogen dynamics, crop yield, and nitrogen recovery. *Adv. Agron.* 68:197-319.
- Lal, R. 2004. Carbon sequestration in dryland ecosystems. *Environ. Manag.* 33:528-544.
- Lindsay, B.J., and T.J. Logan. 1998. Field response of soil physical properties to sewage sludge. *J. Environ. Qual.* 27(3):534-542.
- López-Piñero, A., A. Albarrán, J.M. Rato N., and C. Barreto. 2008. Short and medium-term effects of two-phase olive mill waste application on olive grove production and soil properties under semiarid Mediterranean conditions. *Bioresource Technology* 99:7982-7987.
- N'dayegamiye, A., and D.A. Angers. 1993. Organic matter characteristics and water-stable aggregation of a sandy loam soil after 9 years of wood-residue applications. *Can. J. Soil Sci.* 73:115-112.
- Neilsen G.H., E.J. Hogue, D. Neilsen, and B.J. Zebarth. 1998. Evaluation of organic wastes as soil amendments for cultivation of carrot and chard on irrigated sandy soils. *Can. J. Soil Sci.* 78:217-225.
- Nnabude, P.C., and J.S.C. Mbagwu. 2006. Physico-chemical properties and productivity of a Nigerian typic-haplustult amended with fresh and burnt rice-mill wastes. *Bioresource Technology* 76:265-272.
- Nwite, J.C., Ch.A. Igwe, and T. Wakatsuki. 2010. Evaluation of Sawah rice management system in an Inland Valley in Southeastern Nigeria. II: Changes in soil physical properties. *J. Water Resource Protect.* 2:609-618.
- Olness, A., and D. Archer. 2005. Effect of organic carbon on available water in soil. *Soil Sci.* 170:90-101.
- Qian, P. and J. Schoenau. 2002. Availability of nitrogen in solid manure amendments with different C:N ratios. *Can. J. Soil Sci.* 82:219-225.
- Richter, M., und E. Von Wistinghausen. 1981. Unterscheidbarkeit von Humusfraktionen in Boden bei unterschiedlicher Bewirtschaftung. *Z. Pflanzenernaehr Bodenk.* 144:395-406.
- Robbins, C.W., L. Freeborn, and D. Westermann. 2000. Organic phosphorus source effects on calcareous soil phosphorus and organic carbon. *J. Environ. Qual.* 29:973-978.
- Santanatoglia, O.J. y N. Fernández. 1982. Modificación del método de De Boodt y De Leenheer para el análisis de la distribución de agregados y efecto del tipo de embalaje y acondicionamiento de la muestra sobre la estabilidad estructural. *RIA Rev. Investig. Agropecu.* 17(1):23-31.
- Schulz, S., G. Tian, B. Oyewole, and S. Bako. 2003. Rice mill waste as organic manure on a degraded Alfisol. *Agric. Ecosyst. Environ.* 100:221-230.
- Sikora, L.J., and N.K. Enkiri. 2003. Availability of poultry litter compost P to fescue compared with triple phosphate. *Soil Sci.* 168:192-199.
- Sinsabaugh, R.L., and J.J. Follstad Shah. 2011. Ecoenzymatic stoichiometry of recalcitrant organic matter decomposition: the growth rate hypothesis in reverse. *Biogeochemistry* 102:31-43
- Smith, O.H. 2000. Environmental indicators of agrosistemas. *Adv. Agron.* 69:75-97.
- Tahboub, M.B., W.C. Lindemann, and L. Murray. 2008. Chemical and physical properties of soil amended with pecan wood chips. *HortScience* 43(3):891-896.
- Thompson, M., and N. Walsh. 1989. Handbook of inductively coupled plasma spectrometry. 316 p. 2nd. ed. Chapman and Hall, New York, USA.
- Tisdall J.M., and J.M. Oades. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.* 33:141-163.
- Tremblay J., et C.J. Beauchamp. 1998. Fractionnement de la fertilisation azotée d'appoint ala suite de l'incorporation au sol de bois raméaux fragmentés: modifications de certaines propriétés biologiques et chimiques d'un sol cultivé en pomme de terre. *Can. J. Soil Sci.* 78:275-282
- Unger, P.W. 1986. Wheat residue management effects on soil water storage and corn production. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50(3):767-770.
- Unger P.W. 2001. Paper pellets as a mulch for dryland grain sorghum production. *Agron. J.* 93(2):349-357.
- USEPA. 1994. Biosolids rule. EPA Part 503. Office of Wastewater Management. United States Environmental Protection Agency (USEPA), Washington DC, USA.
- Van Soest, P. 1963. Use of detergents in the analyses of fibrous feed. II. A rapid method for the determination of fiber and lignin. *Assoc. Off. Anal. Chem. J.* 46:829-835
- Zibilske, L.M., W.M. Clapham, and R.V. Rourke. 2000. Multiple applications of paper mill sludge in an agricultural system: Soil effects. *J. Environ. Qual.* 29:1975-1981.
- Zhang, B., R. Horn, and P.D. Hallet. 2005. Mechanical resilience of degraded soil amended with organic matter. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69:864-871.