



UTILIZACIÓN DE RESIDUOS DERIVADOS DE LA PRODUCCIÓN DE ACEITE DE SOJA EN SUELOS AGRÍCOLAS: EFECTO SOBRE PROPIEDADES QUÍMICAS

Duval, M.^{1,*}, M. Ruiz¹, J.M. Martínez^{1,2}, R. García¹, C. Pandolfo^{1,2}, A. Presotto^{1,2}, E. Tcachuc¹, M. Miravalles¹

¹Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur, ²Centro de Recursos Naturales Renovables de la Zona Semiárida (CERZOS); * San Andrés 800, (8000) Bahía Blanca, Prov. de Buenos Aires, mduval@criba.edu.ar

RESUMEN: Las borras procedentes del proceso de extrusado-prensado del poroto de soja pueden ser utilizados como enmiendas orgánicas en suelos agrícolas. Por cada tonelada procesada se generan aproximadamente entre 30 y 50 kg de borras, las cuales contienen 25 y 10 g kg⁻¹ de nitrógeno (N) y fósforo (P), respectivamente. El objetivo de este trabajo fue comparar el efecto de la aplicación superficial de diferentes cantidades de borras y fosfato diamónico (FDA) sobre los niveles de P extraíble (P-Bray), pH y materia orgánica (MO) en suelos agrícolas del Sudoeste Bonaerense. Se llevó a cabo un ensayo en macetas con dos suelos contrastantes (0-20 cm): un Haplustol típico (arenoso franco) y un Argiudol petrocálcico (franco). En cada suelo se aplicaron dosis de P: 0, 10 y 20 kg ha⁻¹ a partir de 1000 y 2000 kg ha⁻¹ de borra (B1 y B2), 49 y 98 kg ha⁻¹ de FDA (FDA1 y FDA2). Previa aplicación, las macetas fueron sembradas con trigo pan (*Triticum aestivum* L.). En encañazon, se midió la biomasa del trigo y se tomaron muestras de suelo para la determinación de P-Bray, pH y MO. Se observó una relación lineal positiva ($R^2 = 0,49$ a $0,77$, $p < 0,05$) entre el aporte de P (borras y FDA) y el P-Bray en ambos suelos. En todos los casos, la aplicación de FDA resultó en valores de P-Bray significativamente mayores que el resto de los tratamientos, mientras que las borras se diferenciaron del testigo únicamente con las dosis mayores en ambos suelos. La biomasa producida aumentó con las dosis de P aplicada, pero con diferencias significativas únicamente entre el testigo y FDA2. Se concluye que las borras pueden ser una alternativa para mejorar niveles de P con dosis ≥ 2000 kg ha⁻¹ siendo una opción de gestión sostenible para la cantidad de residuos producidos.

PALABRAS CLAVE: borras, fósforo extraíble, sudoeste bonaerense.

INTRODUCCION

En Argentina existen empresas que poseen plantas de extrusado-prensado de soja para obtención, aceite, glicerol y expeller. Como todo proceso agroindustrial, durante la obtención de estos productos, se generan residuos (borras), los cuales sin una gestión adecuada pueden generar problemas ambientales (Cury et al., 2017). En el caso del aceite, durante el proceso de purificación se generan borras, siendo necesario identificar alternativas de uso que permitan lograr valorizar este residuo. Numerosos estudios (Ghosh et al., 2010; Larney & Angers, 2012; Donn et al., 2014) han evaluado el uso de materiales orgánicos como técnica de restauración y aumento de la fertilidad del suelo. Sin embargo, para su uso como enmienda orgánica, un residuo debe reunir ciertas características y propiedades que generalmente están determinadas por los niveles mínimos admisibles de sustancias requeridas o los límites máximos tolerables para los no deseados (Hogg et al., 2002). En el caso de las borras, puede considerarse un residuo de alta calidad debido a sus elevados niveles de carbono orgánico y los contenidos balanceados de nitrógeno (N) y fósforo (P) (Duval et al., 2018).

En el sudoeste bonaerense (SOB) la mayor parte del área agrícola se destina a la producción de cereales de invierno con baja restitución de los nutrientes exportados con las cosechas. Esta continua extracción ha generado una disminución importante en la disponibilidad de P

en los suelos de la Región Pampeana originalmente bien provistos (Sainz-Rozas et al., 2013), considerándose uno de los nutrientes con mayores deficiencias en el SOB (Ron & Loewy, 1990). El P es un recurso no renovable que destaca la importancia de desarrollar y utilizar fuentes alternativas para su provisión en el marco de una agricultura sostenible, siendo las borras un producto promisorio para tal fin. Sin embargo, no existen investigaciones previas dirigidas a reutilizar este residuo con fines agrícolas, ya sea de forma directa o previa transformación. El objetivo de este trabajo fue comparar el efecto de la aplicación superficial de borras y su equivalente en forma de fertilizante comercial (fosfato diamónico, FDA) sobre algunas propiedades químicas en suelos agrícolas del SOB.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para conocer cuáles fueron los efectos de las borras sobre las propiedades edáficas se condujo un ensayo en condiciones controladas (macetas) utilizando dos suelos contrastantes del SOB: un Haplustol típico de textura arenosa franca con 15,7 g kg⁻¹ de MO; y un Argiudol petrocálcico de textura franco arcillosa con 44,8 g kg⁻¹ de MO. Los suelos se colectaron de la capa superficial (0-20 cm) tamizado con una malla de 2 mm, donde se separaron impurezas y restos de vegetación para obtener una mayor homogeneidad.

El experimento se realizó en el predio del Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca en 2018. El 27 de junio se colocaron ambos suelos en macetas de 15,7 L (0,55 m × 0,19 m × 0,15 m). El 10 de julio se llevó a cabo la siembra de las macetas con 25 semillas de trigo cada una, considerando una densidad objetivo de 240 plantas por m². En este momento se establecieron cinco tratamientos con cuatro repeticiones cada uno en un diseño completamente al azar. La dosis de borra a aplicar se calculó en base al contenido de fósforo total (10 g P kg⁻¹ de borra, según análisis previo), utilizando tres niveles de aportes de P como criterio de dosificación: uno sin aplicación de P, y dos dosis de P (10 y 20 kg P ha⁻¹). Estas dosis de P se lograron mediante la aplicación superficial de borra (enmienda orgánica) y de fosfato diamónico, (FDA, fertilizante sintético). Las dosis de P estaban conformadas por 10,5 y 21,0 g de borra por maceta, equivalente a 1000 kg ha⁻¹ (B₁) y 2000 kg ha⁻¹ (B₂), respectivamente. El FDA se aplicó a razón de 0,52 y 1,04 g por maceta equivalente a una dosis de 49 kg ha⁻¹ (FDA₁) y 98 kg ha⁻¹ (FDA₂), respectivamente (Figura 1). Se utilizaron borras resultantes del proceso de filtración del aceite de soja obtenido en el establecimiento agrícola-ganadero ARGENTIERRA S.A, localizado en el Partido de Coronel Dorrego, Provincia de Buenos Aires.

Las macetas se regaron hasta capacidad de campo luego de la siembra del trigo. Posteriormente se mantuvieron a la intemperie hasta que el cultivo alcanzó el estadio de espiga embuchada, momento en el cual se tomó una muestra compuesta con el muestreador de balde en cada maceta. En las muestras secas al aire y tamizadas por 2 mm se determinó fósforo extraíble (P-Bray) (Bray & Kurtz, 1945), pH (relación suelo: agua 1:2,5) y MO por calcinación (Davies, 1974). En ese momento, también se cortó la biomasa aérea de las plantas de cada maceta para determinar biomasa seca aérea.

Con los datos de P extraíble se realizaron curvas de regresión para cada suelo en función de la dosis aplicada, obteniéndose la correspondiente ecuación lineal. De esta manera, la inversa de la pendiente indicaría la dosis necesaria para aumentar 1 mg kg⁻¹ el P-Bray del suelo, también denominado dosis equivalente. Mientras que la ordenada al origen indica el P-Bray que tiene el testigo al finalizar el ciclo del cultivo (Ec. 1).

Ecuación 1 $P_e=ax+b$

x es la dosis de P aplicada.



Figura 1. Aplicación de las dosis de fósforo según fuente (borra y FDA).

RESULTADOS Y DISCUSION

Los valores de MO y P-Bray mostraron diferencias entre suelos ($p < 0,05$), entre tratamientos ($p < 0,05$) e interacción significativa, mientras que el pH únicamente evidenció efectos significativos entre suelos (Tabla 1).

Las diferentes características texturales de los suelos analizados se reflejaron en la variabilidad de los contenidos de MO, con valores medios de 21,9 y 46,2 g kg^{-1} para el Haplustol típico y Argiudol petrocálcico, respectivamente. En general, se observaron aumentos significativos en los niveles de MO por la aplicación de P, pero con efectos diferentes según los suelos (Suelo*Tratamiento, $p < 0,01$). En el caso del Haplustol típico, la aplicación de borras aumentó los niveles de MO en relación al testigo, mientras que en el Argiudol petrocálcico los mayores valores se encontraron con la aplicación de FDA, pero sin diferencias con el testigo (Tabla 1).

La acidez del suelo es frecuentemente modificada por las prácticas de manejo. En el Haplustol típico se encontró una ligera disminución, pero significativa, del pH por la aplicación de las borras ($p < 0,05$). En general, el pH desciende como resultado de aumentos en los contenidos de MO (Buschiazzo *et al.*, 1998). En el caso del Haplustol típico, se encontró una relación estrecha entre MO y pH ($R^2 = 0,84$, $p < 0,05$), pudiendo deberse la disminución del pH a la mineralización de la MO, que libera ácidos orgánicos (ácidos débiles) y protones H^+ (Fageria & Nascente, 2014).

Tabla 1. Análisis estadístico y valores medios de los niveles de MO, P extraíble (P-Bray) y pH según tratamiento.

		MO (g kg^{-1})	P-Bray (mg kg^{-1})	pH
Suelo		***	***	***
Tratamiento		*	***	ns
Suelo*Tratamiento		**	*	ns
Haplustol típico	Testigo	20,5 c	5,1 c	8,7 a
	B1	23,2 a	5,6 bc	8,5 b
	B2	22,3 ab	7,0 b	8,5 b
	FDA1	22,0 abc	10,8 a	8,6 ab
	FDA2	21,3 bc	12,2 a	8,6 ab
	Argiudol petrocálcico	Testigo	46,1 ab	15,4 c
B1		46,2 a	18,0 bc	7,4
B2		44,9 b	20,6 b	7,5
FDA1		47,0 a	28,0 a	7,4
FDA2		46,7 a	27,0 a	7,3

(***), (**), (*) y ns indican efectos significativos al 0,00; 0,01; 0,05 y no significativo, respectivamente. Para cada suelo, letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($p < 0,05$), prueba de DMS.

El P-Bray fue la variable que evidenció los mayores cambios debido a los tratamientos (Tabla 1). En todos los casos, la aplicación de FDA resultó en valores de P-Bray significativamente mayores que el resto de los tratamientos, mientras que, en las borras, diferencias significativas con el testigo se observaron para la dosis más alta en ambos suelos.

Se observó una relación lineal positiva ($R^2 = 0,49$ a $0,77$; $p < 0,05$) entre el aporte de P (borras y FDA) y el P-Bray en ambos suelos (Figura 2). En base a los valores de P remanentes en el suelo se obtuvieron los parámetros de las ecuaciones lineales resultantes en cada caso y los ajustes se presentan en la Figura 2. A partir de dichas ecuaciones se calcularon los valores de dosis equivalente (DE). En el Haplustol típico, los valores de DE obtenidos fueron 2,8 y 10 kg P ha^{-1} , mientras que en el Argiudol petrocálcico los valores fueron de 1,7 y 3,8 kg P ha^{-1} para el FDA y las borras, respectivamente. Es decir, sería necesario agregar entre 1,7 y 10 kg P ha^{-1} como fertilizante/borra para aumentar 1 mg kg^{-1} el valor de P-Bray. Otros estudios en suelos del SOB han reportado dosis equivalente entre 1,2 y 4,8 kg P ha^{-1} utilizando superfosfato triple como fuente de P (Suñer & Galantini, 2012). Si bien los valores reportados por estos autores coinciden con los observados para el caso del FDA, no ocurre lo mismo en el caso de las borras donde las DE fueron entre 2,2 y 3,6 veces superiores a la del FDA. Esto también se vió reflejado en los valores de P-Bray donde, en todos los casos, la aplicación de FDA resultó en valores significativamente mayores que el resto de los tratamientos (Tabla 1). En este sentido, es clave considerar que los nutrientes aportados por las borras no están totalmente disponibles en el corto plazo para el cultivo (Duval *et al.*, 2018), siendo necesario determinar la capacidad de degradabilidad y liberación de nutrientes, dado que las concentraciones totales no indican la capacidad de liberación en el tiempo.

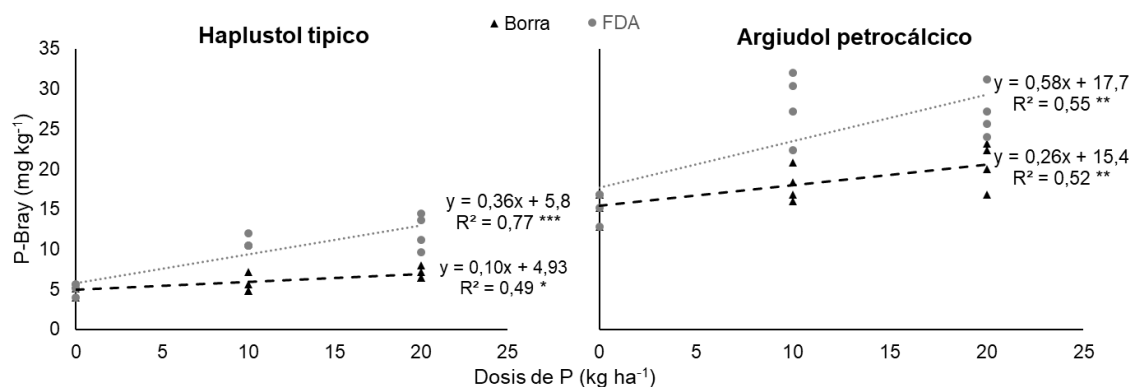


Figura 2. Fósforo extraíble (P-Bray) en función de la dosis aplicada según fuente (borras y fosfato diamónico, FDA) sobre ambos suelos.

Consideramos importante remarcar que el P proveniente de las borras, se mineralizó gradualmente reflejándose en los mayores valores de P-Bray con respecto al testigo, con diferencias estadísticas sólo en la dosis de P más elevada (Tabla 1). El uso de enmiendas orgánicas se ha propuesto como alternativa a fertilizantes sintéticos para mejorar la fertilidad y calidad del suelo y, en consecuencia, el rendimiento del cultivo (Bonilla *et al.*, 2012). En el presente trabajo, dosis superiores a los 2000 kg ha^{-1} contribuyeron a aumentar el P extraíble entre un 34 a 37%. En cuanto a la producción de biomasa aérea, el ANOVA detectó diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$), aunque no hubo efecto suelo ni interacción Suelo*Tratamiento. Independientemente de la fuente, el aumento de la dosis de P aplicada produjo un incremento en la biomasa aérea producida por el trigo. Sin embargo, aumentos significativos únicamente se encontraron para FDA2 (Figura 1). Posiblemente, la falta de respuesta del cultivo de trigo a la aplicación de las borras puede relacionarse al tiempo de descomposición y la forma de aplicación de las borras. En este estudio, la aplicación de las borras se realizó el mismo día de la siembra del cultivo de trigo, lo que puede haber disminuido el correcto aprovechamiento de este residuo orgánico luego de su degradación. Para que este tipo de residuos queden completamente disponibles para el cultivo es necesario un cierto tiempo de mineralización, en comparación con fertilizantes inorgánicos. Este aspecto tiene mucha importancia ya que la mayor absorción de P se realiza en los primeros estadios de crecimiento (Takahashi & Anwar, 2007). Probablemente la incorporación de estos residuos podría facilitar su descomposición y aumentar su tasa de mineralización (Mayer *et al.*, 2012).

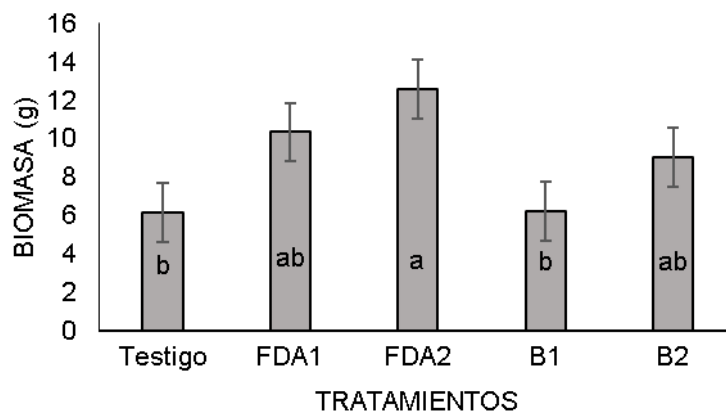


Figura 3. Biomasa aérea promedio (g) de las plantas de trigo. FDA1 (49 kg ha⁻¹ de fosfato diamónico), FDA2 (98 kg ha⁻¹ de fosfato diamónico), B1 (1000 kg ha⁻¹ de borras) B2 (2000 kg ha⁻¹ de borras).

CONCLUSIONES

La aplicación directa de borras sobre el suelo puede aumentar los niveles de MO y P extraíble. Sin embargo, desde el punto de vista de la fertilidad, la reposición de los niveles de P-Bray requerirán dosis mayores de borras si se desea reemplazar la fertilización tradicional (FDA), ya que las borras presentaron una menor eficiencia (se requieren más unidades de P para aumentar 1 mg kg⁻¹ el P-Bray del suelo). Sin embargo, el uso de las borras como enmienda sería una opción de gestión sostenible para las toneladas de residuos que se producen además de mejorar las características del suelo y el reciclaje de nutrientes.

AGRADECIMIENTOS

Trabajo realizado en el marco del Proyecto de Vinculación Tecnológica de la Universidad Nacional del Sur (UNS): Alternativas para la gestión de residuos generados por una empresa agrícola-ganadera que agrega valor a la propia producción de granos oleaginosos (VT38-UNS10435). Los autores también agradecen la colaboración prestada por la empresa ARGENTIERRA S.A. para la elaboración de este trabajo.

BIBLIOGRAFIA

- Bonilla N, JA Gutiérrez-Barranquero, A De Vicente, FM Cazorla. 2012. Enhancing soil quality and plant health through suppressive organic amendments. *Diversity* 4, 475-491.
- Bray R & L Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorous in soils. *Soil Sci.* 59(1): 39-46.
- Cury R, M Aguas, M Martínez, V Olivero & C Chams. 2017. Residuos agroindustriales su impacto, manejo y aprovechamiento. *Rev Colombiana Cienc Anim.* 9:122-132.
- Davies BE. 1974. Loss-on-ignition as an estimate of soil organic matter. *Soil Sci. Soc. Am. J. Proc.* 38: 150-151.
- Donn S, RE Wheatley, BM Mckenzie, KM Loades & PD Hallett. 2014. Improved soil fertility from compost amendments increases root growth and reinforcement of surface soil on slope. *Ecol. Eng.* 71: 458-465.
- Duval M, JM Martínez, R García, CE Pandolfo, AD Presotto, A Piñeiro & MT Miravalles. 2018. Caracterización de un residuo agroindustrial para su utilización como enmienda orgánica. En *Actas XXVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo* (Tucumán, Argentina). Pp 1756.
- Fageria N & A Nascente. 2014. Management of soil acidity of South American soils for sustainable crop production. *Adv. Agron.* 128: 221-275.
- Ghosh S, P Lockwood, H Daniel, K King, N Hulugalle & P Kristiansen. 2010. Short-term effects of organic amendments on properties of a Vertisol. *Waste Manag. Res.* 28(12), 1087-1095.