

**APROVECHAMIENTO DE UN RESIDUO DERIVADO  
DE LA PRODUCCIÓN DE ACEITE DE SOJA:  
EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES EDÁFICAS**



**Universidad Nacional del Sur  
Departamento de Agronomía**

**MANUEL RUIZ**

**TUTOR  
DR. MATÍAS DUVAL**

**CONSEJEROS  
DR. JUAN MANUEL MARTÍNEZ  
DR. ALEJANDRO PRESOTTO**

**Julio 2020**

## **Agradecimientos**

En primer lugar quiero agradecer al Dr. Matías Duval por el aporte de sus conocimientos y la incondicional ayuda en la redacción de este trabajo.

A los Dres. Juan Manuel Martínez y Alejandro Presotto por sus correcciones y sugerencias.

A mis padres, por el sacrificio de todos estos años, su confianza y por los principios y valores que me han inculcado.

A mi novia Betiana por su noble compañía y alentarme cuando mis ánimos decaían.

A mis amigos de vida y carrera, por hacer de esta etapa una experiencia inigualable.

A la Universidad Nacional del Sur y Departamento de Agronomía por la educación brindada.

## INDICE

Resumen .....	1
1 Introducción .....	2
1.1 Agroindustria .....	2
1.2 Residuos agroindustriales en el sudoeste bonaerense .....	2
1.3 Residuos agroindustriales como enmiendas .....	3
1.4 Extrusado-prensado de soja .....	4
1.5 El trigo en Argentina .....	5
2 Materiales y Métodos.....	7
2.1 Composición y calidad de las borras.....	7
2.1.1 Determinaciones químicas.....	7
2.2 Efecto de las borras sobre el suelo .....	7
2.2.1 Características del sitio de estudio .....	7
2.2.2 Ensayo en macetas .....	8
2.2.3 Ensayo a campo.....	9
2.3 Análisis estadístico .....	10
2.3.1 Ensayo en macetas .....	10
2.3.2 Ensayo a campo.....	11
3 Resultados.....	11
3.1 Composición química de las borras .....	11
3.2 Ensayo en macetas .....	13
3.3 Ensayo a campo.....	16
4 Discusión.....	19
4.1 Composición química de las borras .....	19
4.2 Efecto de la aplicación de las borras sobre las variables edáficas .....	21
5 Conclusión.....	23

6	Bibliografía.....	24
7	ANEXO.....	30

## Resumen

Actualmente la agroindustria genera gran cantidad de residuos, los cuales impactan negativamente en el medio ambiente y la salud humana. El aprovechamiento de estos residuos permite reducir su presencia en el medio ambiente y al mismo tiempo agregarle valor como producto. Las borras (residuo agroindustrial) obtenidas de la filtración del aceite proveniente del extrusado-prensado del poroto de soja (*Glycine max* L. Merr.) presentan un gran potencial para ser utilizadas como enmienda orgánica. En el presente trabajo se caracterizó nutricionalmente las borras generadas por una empresa agrícola-ganadera y se evaluó su efecto sobre algunas propiedades edáficas en sistemas agrícolas del sudoeste bonaerense. El análisis químico de las borras - pH (6,9), conductividad eléctrica ( $2,4 \text{ dS m}^{-1}$ ), carbono orgánico total ( $526 \text{ g kg}^{-1}$ ) y nitrógeno (N) total ( $25 \text{ g kg}^{-1}$ ) – las asoció a materiales orgánicos de alta calidad, según la literatura. A su vez las borras presentaron alto niveles de fósforo (P) ( $10 \text{ g kg}^{-1}$ ), que junto con el N son los dos nutrientes más deficitarios de la región. Para evaluar el efecto sobre el suelo se desarrollaron dos ensayos. El primero, se realizó en macetas con dos suelos de textura contrastante sembrados con trigo y posterior aplicación de dos dosis de borra (B1 y B2), su equivalente de fosfato diamónico (FDA1 y FDA2) y un control sin fósforo. Se tomaron muestras de suelo para la determinación de fósforo extraíble (P-Bray), pH y materia orgánica. Para ambos suelos, la aplicación de FDA aumentó significativamente el P-Bray en relación a los demás tratamientos, mientras que la aplicación de borras aumentó significativamente el P-Bray con la dosis más alta (B2;  $2000 \text{ kg ha}^{-1}$ ). El segundo ensayo se desarrolló a campo, replicando los tratamientos del ensayo en macetas. A madurez fisiológica del cultivo de trigo, se tomaron muestras de suelo en 0-5, 5-10 y 10-20 cm para determinar P-Bray y pH. Solo en los primeros 5 cm, la aplicación de FDA aumentó significativamente el P-Bray en relación al control, mientras que la aplicación de las borras no produjo aumentos significativos. A partir de los resultados obtenidos se concluye que la aplicación de  $2000 \text{ kg ha}^{-1}$  de borra pueden considerarse una alternativa sostenible para aumentar los niveles de P-Bray. Sin embargo, la ausencia de cambios en la productividad del cultivo de trigo da lugar a realizar otros estudios como momentos de aplicación y posicionamiento de las borras en el suelo para mejorar su aprovechamiento.

*Palabras clave:* borra, fósforo extraíble, trigo

# **1 Introducción**

## **1.1 Agroindustria**

La agroindustria se puede definir como aquella actividad económica que combina el proceso productivo agrícola con el industrial para generar alimentos o materias primas semi-elaboradas destinadas al mercado (Saval, 2012). Según la FAO (1997) la agroindustria puede clasificarse en dos clases, la primera está conformada por las industrias alimentarias y las no alimentarias, mientras que la segunda está compuesta por las industrias proveedoras de materia prima (como la molienda de trigo y arroz) y consumidoras de materia prima (como la fabricación de pan).

En la agroindustria, las materias primas son sometidas a procesos de adecuación o transformación para darle valor agregado, mediante la implementación de operaciones unitarias para facilitar su consumo; estos procesos generan alta producción de residuos los cuales, sin una gestión adecuada conllevan serios problemas ambientales (Cury *et al.*, 2017). Los residuos y subproductos de la agroindustria, al disponerse sin tratamiento previo o sin ningún control, alteran las condiciones del ambiente y provocan un desequilibrio natural que afecta la sostenibilidad ambiental y la calidad de vida de quienes habitan la zona (Vargas y Pérez, 2018). La generación de residuos agroindustriales sólidos, líquidos o gaseosos constituyen focos potenciales de contaminación (Guerrero y Valenzuela, 2011), debido a que algunos de estos residuos son quemados o vertidos en rellenos sanitarios, liberando gran cantidad de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), contaminación de cursos de aguas, entre otros efectos negativos (Barragán *et al.*, 2008). A su vez, la mayoría de las actividades agroindustriales generan altos volúmenes de residuos, por ejemplo, en la industria cervecera, del aceite de palma, del café y del papel entre el 70 al 90% de la materia prima utilizada se descarta como residuos (Saval, 2012).

## **1.2 Residuos agroindustriales en el sudoeste bonaerense**

En el sudoeste bonaerense (SOB) conviven diferentes sistemas productivos intensivos con actividades agroindustriales que generan gran cantidad de residuos orgánicos. Entre los más abundantes, la cáscara de girasol (*Helianthus annuus* L.) con unas 54 mil toneladas anuales, de difícil degradación por su alto contenido de lignina; el alperujo con unas 3100 toneladas anuales de residuos, ricos en compuestos orgánicos con efectos fitotóxicos por su alto contenido de compuestos fenólicos. También son abundantes los desechos de la

producción de cebolla (*Allium cepa* L.), con una producción de 450 mil toneladas anuales, la cual deja un volumen de 70 a 180 mil toneladas de descarte. Finalmente, los sistemas ganaderos intensivos, engorde a corral (*feedlot*) o tambo, producen alrededor de 190 toneladas anuales de estiércol, los cuales pueden causar el deterioro del medio ambiente. (Moisés *et al.*, 2018).

### **1.3 Residuos agroindustriales como enmiendas**

Como resultado adicional a las actividades principales de las empresas que conforman el sector agroindustrial, se generan subproductos o residuos agroindustriales que representan cantidades significativas y son considerados un problema ambiental (Restrepo *et al.*, 2011) y su eliminación supone un problema de gestión para los diferentes establecimientos (Ramírez, 2012).

El aprovechamiento de los residuos agroindustriales permite dar solución a diferentes problemáticas ambientales originadas tanto por la generación y disposición de estos residuos como por otros factores producto del desarrollo de otros sectores productivos. De igual manera, ayuda a disminuir el uso de recursos naturales renovables y no renovables como materia prima de ciertos productos, y genera empleo y recursos económicos (Vargas y Pérez, 2018).

Algunos residuos agroindustriales pueden ser utilizados para producir bioenergía (González, 2009). Otro de los potenciales usos que poseen los desechos agroindustriales es su utilización en procesos de biorremediación. La biorremediación consiste en el uso de organismos vivos (bacterias, hongos, animales y plantas) para degradar sustancias contaminantes y estabilizar compuestos tóxicos (Benoit y Barriuso, 1995; Cole *et al.*, 1995). Muchos materiales recalcitrantes y difícil de biodegradar pueden utilizarse como sustrato en el cultivo de hongos basidiomicetos (García y Torres, 2003).

Por último, otro de los destinos más frecuentes para los residuos orgánicos es su utilización como enmiendas. Una enmienda orgánica es cualquier material orgánico, incluidos los compost, abonos animales, residuos de cultivos y agroindustriales que se incorporan al suelo o se aplican sobre la superficie para mejorar el crecimiento de las plantas (SSSA, 2008) y la fertilidad del suelo (Diacono y Montemurro, 2010). Las enmiendas pueden tener un impacto positivo como fertilizantes, permitiendo una mayor retención e intercambio de sales inorgánicas, las cuales promueven la nutrición radical y previenen la pérdida de

nutrientes (Campitelli, 2010) y también como mejoradoras de la estructura y del contenido de materia orgánica (MO) de los suelos (Wallace 1994a,b).

#### **1.4 Extrusado-prensado de soja**

Otra actividad agroindustrial que se difundió en paralelo con el fuerte incremento del área destinada al cultivo de soja (*Glycine max* (L.) Merr.), 17,7 millones de ha sembradas (Bolsa de Cereales, 2019), ha sido la instalación de plantas de extrusión-prensado para la obtención de aceite crudo y expellers, destinados a la elaboración de biodiesel y alimentación animal, respectivamente. De la producción de granos argentinos, la soja ocupa el primer lugar (más de 53 millones de toneladas anuales), concentrándose en las provincias de Buenos Aires (32,9%), Córdoba (29,2%), Santa Fe (17,5%) y Santiago del Estero (4,8%) (Ministerio de Hacienda, 2019).

En Argentina existen empresas que poseen plantas de extrusado-prensado de soja para obtención expeller, aceite, glicerol y harinas. La mayor parte del procesamiento del poroto de soja (90-93%) lo realizan grandes empresas localizadas en cercanías de los puertos, principalmente en el complejo aceitero de Rosario. Por otra parte, en toda la región pampeana existen numerosas pequeñas plantas procesadoras de soja que, a diferencia de las grandes empresas, destinan su producción básicamente al mercado interno, ya sea para alimentación animal (expeller), como para consumo humano o producción de biodiesel (aceite crudo) (Massigoge *et al.*, 2013).

Como toda actividad agroindustrial, el procesamiento del poroto de soja genera residuos (borras), generando inconvenientes para ser gestionados por las propias empresas. Un ejemplo de este tipo de agroindustria es la empresa MATOIL, ubicada en localidad de General Alvear, La Pampa. Su principal actividad es la producción de aceite crudo que es comercializado a distintas empresas productoras de biodiesel, y expeller de soja destinado a criaderos de cerdos, pollos, tambos y *feedlots*. Como residuos, se obtienen borras producto de la decantación del aceite de soja crudo. La planta obtiene entre un 12%-14% de aceite según el contenido de humedad del grano, 82% de expeller y el porcentaje restante es lo correspondiente a la borra; este último representa aproximadamente 5 toneladas por mes las cuales son depositadas en una fosa de decantación. Este material no es prioritario para la empresa convirtiéndose en un desecho que genera problemas de almacenamiento e higiene, por lo que entorpece el trabajo normal de los operarios y la



planta. A causa de esto se tira o se regala a productores de cerdos u otros animales de la zona (Matellán y Matellán, 2017).

En la región del SOB, se encuentra radicada una empresa agroindustrial - Argentierra S.A. - dedicada a agregar valor a los cereales (trigo, cebada, maíz) y oleaginosas (soja, girasol, colza) que produce. De estos últimos, destina un porcentaje a la obtención del aceite necesario para la elaboración del biodiesel con el que operan los vehículos y máquinas de ese establecimiento. Durante el proceso desgomado y filtración del aceite crudo se generan aproximadamente un 3% de borras, las cuales no tienen un destino productivo. En este contexto, desde 2018 un grupo de docentes-investigadores del Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur (UNS), llevan adelante un proyecto cuyo principal objetivo es ofrecer una alternativa sustentable para la gestión del residuo generado por la empresa. Se propuso el uso de las borras recuperadas del aceite como enmienda para mantener y/o mejorar el balance de nutrientes de los suelos, y del glicerol obtenido como subproducto de la elaboración de biodiesel, como una opción de alto valor energético para intentar reemplazar a los granos de maíz y/o cebada en la dieta de engorde del ganado bovino bajo sistema de *feedlot*. En este trabajo se realizará la caracterización química de las borras y se evaluará su potencial uso como enmienda orgánica en suelos del SOB.

### **1.5 El trigo en Argentina**

El trigo que se cultiva en Argentina en su mayoría (98,5%) es *Triticum aestivum* L., denominado trigo pan debido a su principal destino, la panificación (Ministerio de Agroindustria, 2018). En la campaña 18/19 se sembraron 6,2 millones de ha y la producción fue de 19 millones de toneladas, con un rinde promedio de 3120 kg ha<sup>-1</sup> (Bolsa de Cereales, 2019).

En Argentina el cultivo de trigo pan se realiza en una vasta zona comprendida entre los 30-40° de latitud sur y 57-68° de longitud oeste, que se divide en nueve Subregiones trigueras, desde las regiones Noroeste y Noreste argentinos (NOA y NEA ) hasta el Sur de la zona pampeana (IV y V SUR) (Figura 1). La mayor producción se concentra en las provincias de Buenos Aires, Santa Fe y Córdoba, con más del 80 % del total de la producción (Zarrilli, 2010).



**Figura 1.** Subregiones trigueras. (Molfese, 2016).

Dentro de la zona semiárida, el trigo es el cultivo que ocupa la mayor superficie en el SOB. Dicha zona se corresponde con la subregión V Sur, se cultivan aproximadamente 1 millón de hectáreas anuales, lo que representa el 20% de la superficie nacional. Los rindes promedios de la zona oscilan entre 1600 y 1900 kg ha<sup>-1</sup>. (López *et al.*, 2013).

La producción nacional de trigo se ha caracterizado por una baja restitución de los nutrientes exportados con las cosechas. Esta continua extracción sumado a potenciales de rendimientos cada vez mayores ha mostrado una disminución importante en la disponibilidad de fósforo (P) en áreas de la Región Pampeana originalmente bien provistas (García, 2003). En el SOB, el nitrógeno (N) y el P son los nutrientes con mayor deficiencia comprobadas en los agrosistemas (Loewy y Sewald, 1980; Loewy y Puricelli, 1982).

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 (Duval *et al.*, 2018). Es importante remarcar que los residuos generados a partir del procesamiento de semillas de oleaginosas contienen altos niveles de nutrientes, principalmente N y P, poseen un alto contenido de MO y una variedad de micronutrientes (Blatt, 1991; Jongtae, 2010).

El objetivo del siguiente trabajo será i) caracterizar y determinar la calidad de la borra como enmienda orgánica y ii) evaluar su efecto sobre las propiedades edáficas en suelos del SOB.

## **2 Materiales y Métodos**

### **2.1 Composición y calidad de las borras**

En este trabajo 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, Pcia. de Buenos Aires. Las submuestras de las borras se tomaron al azar, las cuales se homogeneizaron para obtener 3 muestras compuestas. Para los análisis químicos las muestras se secaron en al aire y se conservaron en recipientes de plástico para su posterior análisis.

#### **2.1.1 Determinaciones químicas**

Se determinaron las siguientes propiedades químicas:

- pH en agua (relación 1:10 enmienda/agua destilada).
- Conductividad eléctrica (CE,  $\text{dS m}^{-1}$ ) se realizó un extracto acuoso en una relación 1:10 (enmienda/agua destilada). Después de 60 minutos de reposo y posterior filtrado se midió la CE a 25 °C con un conductímetro.
- Nitrógeno orgánico total (Nt) por el método Kjeldahl (Bremner, 1996).
- La materia orgánica (MO) total se determinó por pérdida de peso por ignición durante 4 horas a 550 °C según la metodología propuesta por Basil *et al.* (2009). Luego, se convirtió a carbono orgánico (CO) utilizando el factor de conversión igual a 1,8 (Basil *et al.*, 2009).
- Fósforo (P), Potasio (K), Azufre (S), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Boro (B), Cobre (Cu) y Zinc (Zn) por espectrometría de absorción atómica (Kabata-Pendias & Pendias, 2001).

### **2.2 Efecto de las borras sobre el suelo**

#### **2.2.1 Características del sitio de estudio**

Para conocer los efectos de las borras sobre las propiedades edáficas se llevaron a cabo ensayos bajo dos niveles. El primer ensayo se realizó en condiciones semicontroladas (en macetas) y el segundo en condiciones a campo (en parcelas), similares a las de un productor de la zona.

Ambos ensayos se desarrollaron en el campus del Departamento de Agronomía (38° 41' 47" S – 62° 14' 55" O). El clima de la región es templado con una temperatura media anual

de 15,4°C, el mes más cálido es enero con una temperatura media de 23,3°C y julio el mes más frío con una temperatura media de 8,2°C. El periodo libre de heladas abarca los meses de verano (diciembre, enero y febrero), y en los meses de marzo y noviembre existe una posibilidad de que ocurra una helada cada 10 años. La fecha media de la primera helada es el 20 de abril y de la última el 8 de octubre, con una variación de  $\pm 23$  días (Donnari y Torre, 1974).

La precipitación media anual es de 584,6 mm (1896-2000), otorgando a la zona un carácter sub-húmedo o de transición, cantidad que no cubre el requerimiento de evapotranspiración, medido en 760 mm/año. El valor máximo medio se da en el mes de marzo con 74,8 mm y el menos lluvioso en agosto con 23,2 mm (Mormeneo y Díaz, 2003).

### **2.2.2 Ensayo en macetas**

El 27 de junio se colocaron dos suelos dentro de 40 macetas, las cuales poseían las siguientes dimensiones: 15 cm de alto, 19 cm de ancho y 55 cm de largo, con una superficie de 0,105 m<sup>2</sup>. El primer suelo utilizado fue un Haplustol típico obtenido de las cercanías del Departamento de Agronomía, el cual poseía una textura arenosa franca con 16 g kg<sup>-1</sup> de MO, 7,8 mg kg<sup>-1</sup> de fósforo extraíble y pH de 7,8. El otro suelo provenía de un lote de la empresa Argentierra S.A, el cual se clasificaba como Argiudol petrocálcico, de textura franco arcillosa con 45 g kg<sup>-1</sup> de MO, 21 mg kg<sup>-1</sup> de fósforo extraíble y un pH de 6,8. Concluido este paso las macetas se regaron hasta capacidad de campo.

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 m<sup>2</sup>. El cultivar utilizado fue *Klein Potro* de ciclo corto. En este momento se aplicaron cinco tratamientos, con 4 repeticiones cada uno. La dosis de borra a aplicar fue calculada en base a su contenido de P, utilizando tres niveles de aportes de P como criterio de dosificación: un control sin aplicación de P, y dos dosis de P (10 y 20 kg P ha<sup>-1</sup>). Estas dosis de P se lograron mediante la aplicación superficial de borra (enmienda orgánica) o de fosfato diamónico, (FDA, fertilizante sintético). Las dosis de P estaban conformadas por 10,5 y 21 g de borra por maceta, equivalente a 1000 kg ha<sup>-1</sup> (B1) y 2000 kg ha<sup>-1</sup> (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<sup>-1</sup> (FDA1) y 98 kg ha<sup>-1</sup> (FDA2), respectivamente. Las macetas se mantuvieron a la intemperie en el campo experimental hasta que el cultivo alcanzó el estadio de espiga embuchada, en este momento se cortó al

ras la biomasa aérea y se procedió a tomar las muestras de suelo. Se tomó una muestra compuesta con el muestreador de balde en cada maceta. Las muestras se secaron al aire hasta peso constante y se tamizaron con una malla de 2 mm, luego se determinaron las propiedades químicas.

Para determinar la MO, se utilizó el método propuesto por Davies (1974) y Schulte & Hopkins (1996). Se pesaron aproximadamente 5 gramos de suelo en crisoles de porcelana de 25 mL de peso conocido. Luego, fueron colocados en una estufa a 105 °C durante 24 horas. Las muestras fueron enfriadas en desecador y pesadas. Posteriormente se colocaron los crisoles en una mufla automática con controlador digital Indef® a 550°C durante 4 horas, se dejaron enfriar dentro de la mufla hasta temperatura ambiente y se transfirieron a un desecador para registrar el peso nuevamente.

El cálculo de la MO se realizó por diferencia de peso según la ecuación adaptada de Davies (1974):

$$MO (\%) = (PS_{105^{\circ}C} - PS_{550^{\circ}C}) / (PS_{105^{\circ}C} - P_{\text{crisol}}) \times 100$$

Donde,

MO: materia orgánica del suelo (%).

PS<sub>105°C</sub>: peso de la muestra a 105 °C incluido el peso del crisol (g).

PS<sub>550°C</sub>: peso de la muestra calcinada incluido el peso del crisol (g).

P crisol: peso del crisol de porcelana (g). Para la determinación de fósforo extraíble (Pe) se utilizó el método de Bray y Kurtz (1945) y para determinar pH relación suelo: agua 1:2,5.

### **2.2.3 Ensayo a campo**

El ensayo se desarrolló en parcelas sobre un suelo Haplustol típico perteneciente al campo experimental del Departamento de Agronomía. Este suelo contaba con 74,4% de arena, 25,6 % de limo y arcilla, y un contenido de MO de 15,7 g kg<sup>-1</sup> de suelo. Se utilizó un diseño en bloques completamente aleatorizados con 4 réplicas y cada bloque, a su vez, contó con seis parcelas. Las dimensiones de las parcelas fueron de 2 m de largo por 0,8 m de ancho, resultando en una superficie de 1,6 m<sup>2</sup>.

Antes de la siembra del trigo se roturó mecánicamente el suelo con un roto cultivador para eliminar malezas y se efectuó un riego complementario por goteo. Posteriormente, el ensayo continuó en secano.

El 14 de agosto de 2018 se sembró el trigo a razón de 240 plantas por m<sup>2</sup>, cada parcela contó con 4 surcos distanciados a 20 cm y el cultivar utilizado fue *Klein Potro* de ciclo corto. Previo a la siembra se tomaron muestras de suelo a 0-10 y 10-20 cm de cada bloque.

Posterior a la siembra, se aplicaron las borras y el FDA manualmente y al voleo. Al igual que el ensayo en macetas, los tratamientos fueron cinco y se aplicaron las mismas dosis de borra y FDA: se aplicaron 160 y 320 gramos de borra por parcela, equivalente a la dosis de 1000 kg ha<sup>-1</sup> y 2000 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. El FDA se aplicó a razón de 7,8 y 15,6 g por parcela equivalente a las dosis de 49 y 98 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

El 1 de octubre, se aplicó un graminicida correspondiente al grupo de los ariloxifenoxipropionatos, nombre comercial Gizmo (Clodinafop-propargyl + Cloquintocet-mexil) para controlar *ryegrass*, con una dosis de 200 mL ha<sup>-1</sup> y se realizó un desmalzado manual para controlar malezas de hoja ancha. Además, durante el macollaje se fertilizó con urea aplicada al voleo con una dosis de 17,4 g por parcela, equivalente a 50 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno.

Al final del ciclo, se evaluaron parámetros de rendimiento y calidad del grano, los datos se obtuvieron de los dos surcos centrales con la finalidad de eliminar el efecto borde.

Luego de la cosecha se tomaron muestras compuestas de suelo a 0-5, 5-10 y 10-20 cm de profundidad en cada parcela. Con las muestras recolectadas se determinó fósforo extraíble y pH de la misma manera que se especificó en el ensayo en macetas.

## **2.3 Análisis estadístico**

### **2.3.1 Ensayo en macetas**

En este ensayo se evaluaron dos tipos de suelos y en cada uno de estos se aplicaron cinco tratamientos: dos dosis de borra, dos dosis de FDA y un control. Las macetas se distribuyeron de forma completamente aleatorizada y cada tratamiento constaba de 4 repeticiones.

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. Con la inversa de la pendiente de cada una de estas ecuaciones se obtuvieron las respectivas dosis equivalentes, las cuales indicarían la dosis de fósforo necesaria para aumentar 1 ppm el P-Bray del suelo.

### **2.3.2 Ensayo a campo**

Este ensayo se desarrolló en parcelas con un diseño en bloques completamente aleatorizados, en el cual evaluaron cinco tratamientos con cuatro repeticiones: dos dosis de borra, dos de FDA y el control.

Los datos recolectados de ambos ensayos fueron analizados con el programa Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2016), mediante análisis de la varianza (ANOVA) y las comparaciones de medias se realizaron a través del test LSD de Fisher, con un nivel de significancia del 5%.

## **3 Resultados**

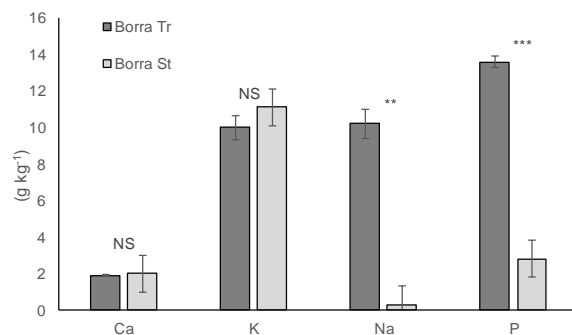
### **3.1 Composición química de las borras**

Durante el proceso de extrusado-prensado y purificación del aceite se obtienen dos tipos de borras, una libre de compuestos químicos (Borra St) y otra tratada con NaOH y ácido fosfórico (Borra Tr), utilizados para purificar el aceite. Debido a esto, la composición química de las borras que se generan es diferente, ya que Borra Tr posee una mayor concentración de los elementos (sodio y fósforo) constituyentes de las sustancias químicas aplicadas (NaOH y H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>), manteniendo el resto de los elementos sin cambios (Figura 1 y 2). Por cuestiones operativas el productor almacena ambas borras en un mismo depósito por ello para el resto de los ensayos se utilizó la mezcla en proporciones iguales a las que se obtienen durante el proceso (1/3 Borra St y 2/3 Borra Tr). La composición química de la borra utilizada para los ensayos se detalla en la Tabla 1. La CE es uno de los parámetros más importantes como indicador para enmiendas orgánicas, presentando valores inferiores a 2,5 dS m<sup>-1</sup>. Por otra parte, los valores de pH fueron de 6,9, mientras que el valor de CO de la borra fue 526 g kg<sup>-1</sup> considerado un valor elevado según la bibliografía para este tipo de residuos (Tabla 1).

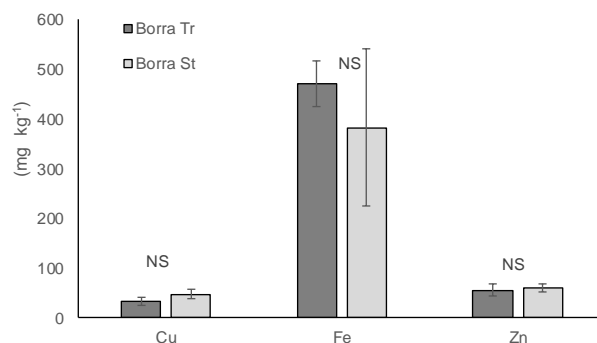
Los niveles de N y P se ubicaron en el rango entre 23,5 y 26,8 g kg<sup>-1</sup>, y entre 9,8 y 10,2 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Los elevados contenidos de P presentes en el residuo se deben al uso de ácido fosfórico durante el proceso de purificación del aceite (Figura 1), presentando una estrecha relación N:P (2,5 ±0,2) (Tabla 1). A su vez, la relación C:N presentó valores inferiores a 30:1, lo cual sugiere una alta probabilidad de mineralización neta de N y P.

Las concentraciones de Na (4,2 a 5,8 g kg<sup>-1</sup>) halladas se encuentran por debajo de los valores que puedan representar amenazas para el ambiente o el suelo, de acuerdo a la bibliografía consultada, siempre que se utilicen dosis en el rango de las aplicadas en este estudio. Entre los metales pesados analizados, tanto en el caso del Cu (7,5 a 11,8 mg kg<sup>-1</sup>)

como del Zn (8,2 a 30,8 mg kg<sup>-1</sup>), se determinaron valores muy inferiores a los límites considerados perjudiciales.



**Figura 1.** Concentración de calcio (Ca), potasio (K), sodio (Na) y fósforo (P) entre borra tratada (Borra Tr) y no tratada (Borra St). (\*\*\*), (\*\*), (\*) y NS indican diferencias significativas al 0,001; 0,01; 0,05 y no significativo, respectivamente.



**Figura 2.** Concentración de cobre (Cu), Hierro (Fe) y zinc (Zn) entre borra tratada (Borra Tr) y no tratada (Borra St). (\*\*\*), (\*\*), (\*) y NS indican diferencias significativas al 0,001; 0,01; 0,05 y no significativo, respectivamente.



**Tabla 1.** Resultados del análisis físico-químico de la mezcla de borras.

Parámetros	Unidad	Valor $\pm$ DE
CE	dS m <sup>-1</sup>	2,4 $\pm$ 0,15
pH		6,9 $\pm$ 0,2
Carbono orgánico total	g kg <sup>-1</sup>	526 $\pm$ 1,20
C:N		21 $\pm$ 1,0
C:P		53 $\pm$ 1,0
C:S		1093 $\pm$ 143
N:P		2,5 $\pm$ 0,2
<b>Macronutrientes</b>		
Nitrógeno		25 $\pm$ 1,73
Fósforo	g kg <sup>-1</sup>	10 $\pm$ 0,20
Potasio		6,0 $\pm$ 0,33
Sodio		5,0 $\pm$ 0,81
<b>Mesonutrientes</b>		
Magnesio		770 $\pm$ 17
Azufre	mg kg <sup>-1</sup>	485 $\pm$ 64
Calcio		1113 $\pm$ 0,152
<b>Micronutrientes</b>		
Boro		25 $\pm$ 2,4
Cobre	mg kg <sup>-1</sup>	10 $\pm$ 2,2
Zinc		22 $\pm$ 12
Hierro		294 $\pm$ 97

### **3.2 Ensayo en macetas**

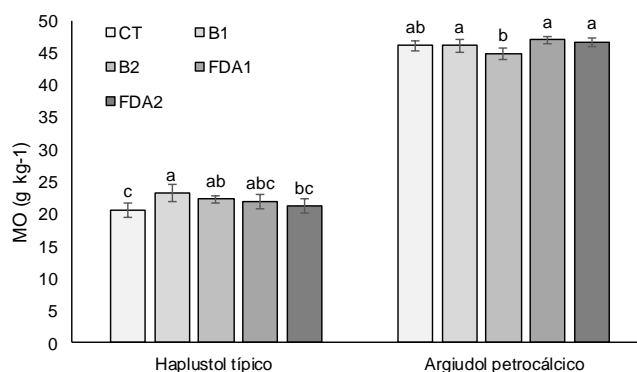
*Efecto de la aplicación de las borras sobre las variables edáficas.*

Los valores de materia orgánica (MO) mostraron interacción significativa (Suelo\*Tratamiento,  $p < 0,01$ ) (Anexo Tabla 1), por lo que se analizó individualmente cada suelo.

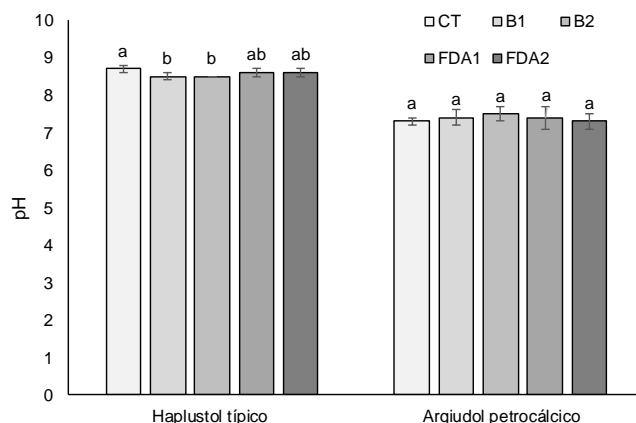
El Haplustol típico presentó aumentos significativos en los niveles de MO por la aplicación de P, por el contrario, en el otro suelo ningún tratamiento presentó diferencias significativas respecto al testigo (Figura 3). Cabe aclarar que al tratarse de suelos con diferente textura

los contenidos iniciales de MO fueron diferentes, los análisis realizados mostraron valores de 21 g kg<sup>-1</sup> y 46 g kg<sup>-1</sup> para el Haplustol típico y Argiudol petrocálcico, respectivamente. 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 (Figura 3).

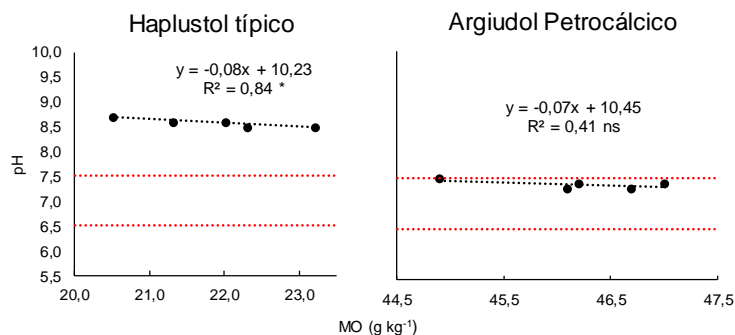
El pH únicamente mostró efectos significativos entre suelos ( $p < 0,001$ ), aunque se puede observar que en el Haplustol típico se encontró una ligera disminución del pH por la aplicación de las borras ( $p < 0,05$ ) (Figura 4). Además, en este suelo se encontró una relación lineal positiva con un coeficiente de determinación elevado entre MO y pH ( $R^2 = 0,84$ ,  $p < 0,05$ ), aunque los valores de pH se encuentran fuera del rango donde se detecta la máxima disponibilidad de macronutrientes (6,5 a 7,5) los aportes de C realizados con la borra consiguieron disminuir el mismo (Figura 5).



**Figura 3.** Efecto de la aplicación de diferentes dosis (0, 10 y 20 kg ha<sup>-1</sup>) y fuentes (Borra y Fosfato Diamónico, FDA) de fósforo sobre la materia orgánica de dos suelos con distinta textura.



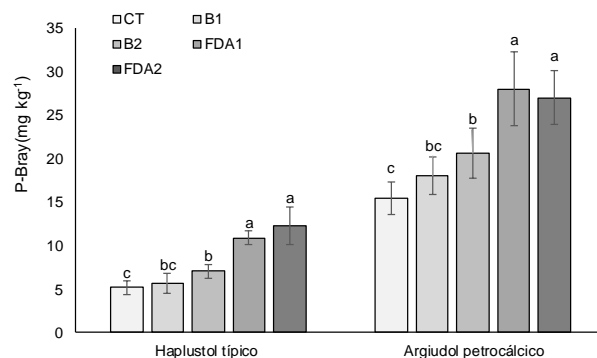
**Figura 4.** Efecto de la aplicación de diferentes dosis (0, 10 y 20 kg ha<sup>-1</sup>) y fuentes (Borra y Fosfato Diamónico, FDA) de fósforo sobre el pH de dos suelos con distinta textura.



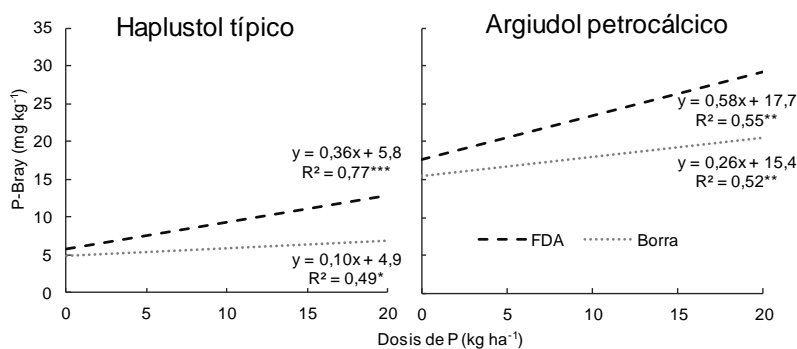
**Figura 5.** Reacción del suelo (pH) en función de la materia orgánica (MO) para dos suelos de diferente textura. (\*\*\*) , (\*\*), (\*) y ns indican efectos significativos al 0,001; 0,01; 0,05 y no significativo, respectivamente.

El P extraíble presentó interacción significativa ( $p < 0,05$ ) entre suelos y tratamientos (Anexo Tabla 1). Para cada suelo, la dosis de borra más alta (2000 kg ha<sup>-1</sup>) presentó diferencias significativas respecto al control, en cambio las dos dosis de FDA fueron significativamente mayores respecto a los demás tratamientos (Figura 6). Como se observa en la Figura 7, existió 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. A partir de las ecuaciones lineales de cada recta se calcularon los valores de las dosis equivalentes (De). Para el caso del Haplustol típico los valores de la De obtenidos fueron de 2,8 y 10 kg P ha<sup>-1</sup> y para el Argiudol petrocálcico los valores fueron 1,7 y 3,8 kg P ha<sup>-1</sup> para el FDA y las borras, respectivamente. Esto significa,

que agregando una dosis de borra de 3,8 a 10 kg P ha<sup>-1</sup> aumenta 1 mg kg<sup>-1</sup> el valor P-Bray para cada tipo de suelo.



**Figura 6.** Efecto de la aplicación de diferentes dosis (0, 10 y 20 kg ha<sup>-1</sup>) y fuentes (Borra y Fosfato Diamónico, FDA) de fósforo sobre el fósforo extraíble de dos suelos con distinta textura.



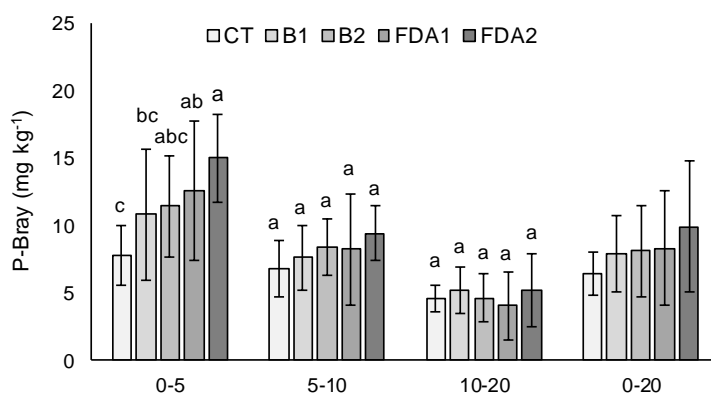
**Figura 7.** P-Bray en función de la dosis aplicada de P según fuentes (borras y fosfato diamónico, FDA) y suelos. (\*\*\*) , (\*\*), (\*) y ns indican efectos significativos al 0,001; 0,01; 0,05 y no significativo, respectivamente.

### 3.3 Ensayo a campo

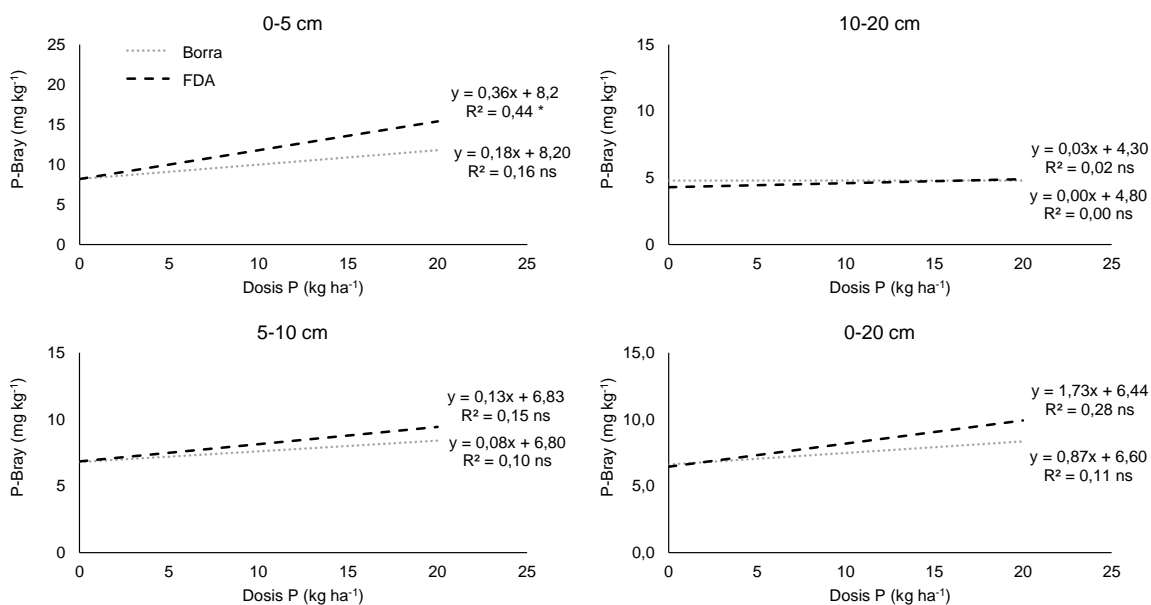
#### Efecto de la Aplicación de las borras sobre las variables edáficas

El P extraíble presentó diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0,05$ ) únicamente en superficie (0-5 cm). La aplicación de FDA aumentó significativamente el P-Bray en relación al control, con aumentos del 62 y 92% para FDA1 y FDA2, respectivamente. Si bien el P-Bray aumentó 38% y 46% con la aplicación de las borras, dichos aumentos no fueron

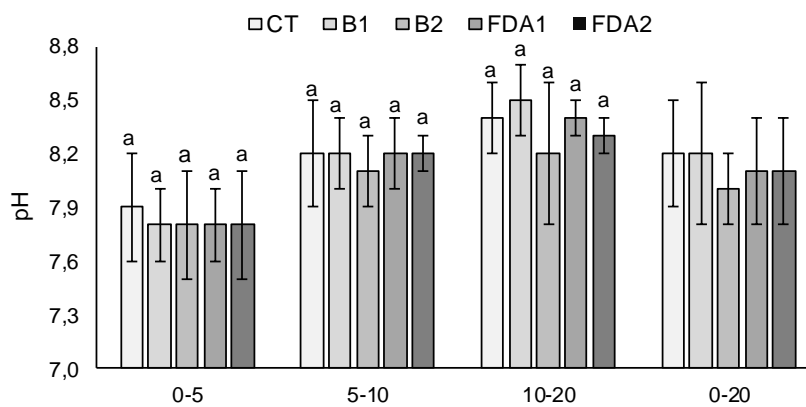
significativos en relación al control (Figura 8). Los mayores cambios se observaron en la capa superficial, donde la disponibilidad de P se relacionó con la dosis en forma significativa ( $R^2= 0,44$ ,  $p <0,05$ ) únicamente para FDA (Figura 9). En cuanto al pH, no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en ninguna de las profundidades analizadas (Figura 10). Los únicos cambios observados fueron con la profundidad de muestreo encontrándose una relación lineal positiva entre la profundidad y el pH, presentando un coeficiente de determinación elevado ( $R^2= 0,83$ ,  $p <0,001$ ) (Figura 11).



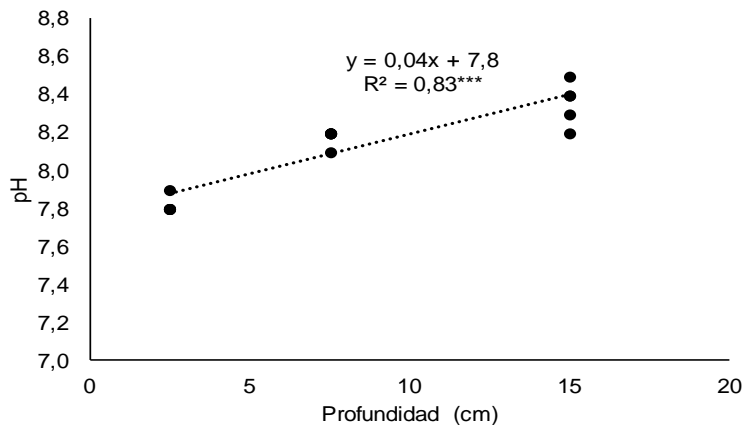
**Figura 8.** Efecto de la aplicación de diferentes dosis (0, 10 y 20 kg ha<sup>-1</sup>) y fuentes (Borra y Fosfato Diamónico, FDA) de fósforo sobre el fósforo extraíble.



**Figura 9.** P-Bray en función de la dosis aplicada de P según fuentes (borras y fosfato diamónico, FDA) y profundidad. (\*\*\*) (\*\*), (\*) y ns indican efectos significativos al 0,001; 0,01; 0,05 y no significativo, respectivamente.



**Figura 10.** Efecto de la aplicación de diferentes dosis (0, 10 y 20 kg ha<sup>-1</sup>) y fuentes (Borra y Fosfato Diamónico, FDA) de fósforo sobre el pH.



**Figura 11.** Reacción del suelo (pH) en función de la profundidad en un suelo Haplustol típico. (\*\*\*), (\*\*), (\*) y ns indican efectos significativos al 0,001; 0,01; 0,05 y no significativo, respectivamente.

## 4 Discusión

### 4.1 Composición química de las borras

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. En este sentido, la conductividad eléctrica (CE) es uno de los parámetros más utilizados como indicador de calidad para enmiendas orgánicas, sobre todo cuando éstas son utilizadas como sustratos para la germinación de plantines. Lasaridi *et al.* (2006) sugieren como valor máximo  $4 \text{ dS m}^{-1}$ , el cual es tolerable por especies vegetales de mediana sensibilidad a la salinidad, siendo la CE de la borra ( $2,4 \text{ dS m}^{-1}$ ) muy inferior a dicho valor de referencia. Por su parte Tcachuc (2019), trabajando sobre ensayos en condiciones controladas, no encontró ningún efecto de la aplicación superficial de borras sobre la germinación, emergencia y tamaño de las plántulas de trigo. Los valores de pH de la borra ( $6,9 \pm 0,2$ ) se encuentran dentro del rango 6,0-8,5 propuesto por Hogg *et al.* (2002) para enmiendas orgánicas, el cual asegura su compatibilidad con la mayoría de las especies vegetales.

Los valores de CO en la borra superan ampliamente al nivel mínimo de  $200 \text{ g kg}^{-1}$  criterio utilizado por la UE para residuos destinados a enmiendas. Otros autores (Seoáñez Calvo *et al.*, 2000) sugieren que este parámetro debe poseer valores de al menos 350 a  $400 \text{ g kg}^{-1}$

<sup>1</sup> para ser considerado para su utilización como enmienda. La tasa de descomposición de los residuos orgánicos está directamente vinculada con su relación C:N (Heal *et al.*, 1997). A su vez, dicha relación, es un indicador del origen, madurez y estabilidad de la materia orgánica. La borra presentó valores inferiores a 30, lo cual supone que ocurran procesos de mineralización neta (Clark *et al.*, 1997; Trinsoutrot *et al.*, 2000).

Los residuos generados a partir del procesamiento de granos oleaginosos contienen, por lo general, una elevada concentración de nutrientes, principalmente N y P. Para el caso de las borras, los valores de N ( $25 \pm 1,73 \text{ g kg}^{-1}$ ) fueron muy superiores al rango de referencia (10 a  $20 \text{ g kg}^{-1}$ ) sugerido por Alexander (1994), reflejando el aporte significativo de N por parte de las borras. A su vez, las borras también aportan cantidades significativas de P ( $10 \pm 0,20 \text{ g kg}^{-1}$ ) debido principalmente al aporte adicional de P por el tratamiento químico durante el proceso de obtención del aceite (Figura 1). La aplicación recurrente de enmiendas orgánicas basadas en las necesidades de N de las plantas puede causar acumulaciones excesivas de P en el suelo (Edmeades, 2003), ya que la relación N:P oscila entre 0,8 y 1,8 en la mayoría de los abonos (2,5 para el caso de la borra), siendo la misma más baja que lo extraído por la mayoría de las cosechas (Moore *et al.* 1995). Por lo tanto, podemos concluir que la aplicación de borras en función de los requerimientos de N puede causar desbalances nutricionales en el suelo por su gran aporte de P; por tal motivo es necesario plantear diferentes tipos de estrategias de uso que consideren esta situación para evitar problemas de contaminación. Para el caso especial de las borras, la dosis a utilizar tendría que derivar de las necesidades de P y no del N.

Según los valores de sodio Na determinados ( $5,0 \pm 0,81 \text{ g kg}^{-1}$ ), vemos que pueden llegar a ser nocivos y limitantes. Sin embargo, las dosis que se aplicaron con este tipo de enmienda ( $1000 \text{ y } 2000 \text{ kg borra ha}^{-1}$ ) no afectarían la agregación de los coloides del suelo. Esto también se ve reflejado en los valores de pH del suelo, como se discutirá más adelante. Estudios realizados por Del Pino *et al.* (2012) con lodos, indicaron que mayores aportes de sodio no generaron un efecto negativo sobre los coloides del suelo.

Dependiendo del origen de la MO algunos residuos pueden presentar contaminación con metales pesados (Liu *et al.*, 2014). Entre los metales pesados analizados, tanto Cu como Zn presentaron valores muy inferiores a los límites considerados perjudiciales para las personas y animales que consuman las plantas fertilizadas con esta borra (USEPA, 1993). Estos resultados coinciden a los reportados por Nicholson *et al.* (1999), los cuales afirman



que tanto los cereales como las leguminosas contienen baja concentración de todos los metales.

Todas las características físico-químicas evaluadas permiten conocer cuál es la composición exacta de los principales nutrientes y de esta manera no aplicar concentraciones excesivas que pueden generar contaminación de suelos y aguas (Sharpley *et al.*, 1998). Por lo tanto, no es recomendable la utilización de este tipo de enmiendas orgánicas sin una previa caracterización que permita evaluar sus aportes de nutrientes y compuestos orgánicos a los suelos y cultivos (Eghball & Power, 1999; Hartz *et al.*, 2000). Campitelli (2010), evaluando diferentes enmiendas, considera que valores elevados de CO (597 a 610 g kg<sup>-1</sup>) y N (18,5 a 22,1 g kg<sup>-1</sup>) junto con valores de pH cercanos a la neutralidad (6,2 a 7,5) son características deseables que pueden contribuir a mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo y, por lo tanto, pueden considerarse materiales orgánicos de alta calidad. A partir de los datos analizados, es posible afirmar que la borra, utilizada como enmienda orgánica, puede contribuir a mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo, y mejorar la disponibilidad de nutrientes para los cultivos, considerándose un residuo de alta calidad.

Los análisis realizados permitieron determinar que utilizando dosis de 1000 kg de borra por hectárea estaríamos aportando unos 25 kg de N, 10 kg de P y 6 kg de K. En el caso de querer sustituir parte de la fertilización convencional de los macronutrientes más deficientes de la región (N y P), 1000 kg de borra por hectárea sería equivalente, en términos de cantidad total de nutrientes, a 49 kg ha<sup>-1</sup> de FDA (U\$S 28,3) más 35 kg ha<sup>-1</sup> de urea (U\$S 19,7). Esto refleja que se podría reducir considerablemente de los costos de fertilización, reutilizando este residuo. Si bien estos valores corresponden a P y N, hay que tener en cuenta que la composición de estos es netamente orgánica y para mineralizarse requieren un cierto tiempo, por lo tanto la disponibilidad de estos nutrientes para los cultivos no es inmediata, a diferencia del fertilizante de síntesis química. Es importante tener en cuenta este punto ya que la mayor absorción de P se realiza en los primeros estadios de crecimiento (Takahashi & Anwar, 2007).

#### **4.2 Efecto de la aplicación de las borras sobre las variables edáficas**

Como se vió anteriormente en la caracterización química de las borras, las mismas contienen Na, lo que haría de esperar que su aplicación al suelo genere un aumento en el pH de la solución del mismo, sin embargo, ningún tratamiento presentó aumentos

significativos del pH debido a la aplicación de las borras (Figura 4). A su vez, en el caso del Haplustol los aumentos en los niveles de MO por la aplicación de las borras generaron una disminución del pH (Figura 4). Dicha disminución podría estar dada por los aumentos en los contenidos de MO (Buschiazzo *et al.*, 1998) y por la mineralización de la misma, que libera ácidos orgánicos (ácidos débiles) y protones  $H^+$  (Fageria & Nascente, 2014). Si bien esto es el efecto de un solo año, aplicaciones sucesivas podrían mantener esa tendencia y conseguir disminuir la alcalinidad del suelo, logrando valores aptos para el desarrollo satisfactorio de los cultivos.

En general, la aplicación de borra provocó aumentos en el P disponible. En el Haplustol típico se observaron aumentos entre 9,8 a 37% en el P extraíble por la aplicación de 1000 y 2000 kg borra  $ha^{-1}$ , respectivamente. En el caso del Argiudol petrocálcico los aumentos en el P disponible fueron del 17 y 34% para la dosis de 1000 y 2000 kg borra  $ha^{-1}$ , respectivamente. Aunque ambas dosis de borra lograron incrementarlo, solo fueron significativos los aumentos generados por la dosis mayor de borra (2000 kg  $ha^{-1}$  o 20 kg P  $ha^{-1}$ ).

Las dosis equivalentes de P calculadas para el FDA coinciden con estudios realizados en suelos del SOB donde se reportaron valores de 1,2 y 4,8 kg P  $ha^{-1}$  utilizando como fuente un fertilizante de síntesis industrial (superfosfato triple) (Suñer & Galantini, 2012), sin embargo, no sucede lo mismo en el caso de las borras, las cuales mostraron una De mayor a la del FDA, siendo 2,2 y 3,6 veces mayor. La menor eficiencia de la borra para aumentar el P-Bray puede ser atribuida al mayor tiempo que requiere la misma en degradarse debido a que se trata de un material orgánico. Sumado a esto, el ensayo se llevó a cabo en un periodo de bajas temperaturas lo que puede haber generado una menor mineralización de la borra, debido a que es un proceso mediado por microorganismos.

Las aplicaciones superficiales de P tanto de la borra como del FDA aumentaron la concentración de P extraíble en los primeros 5 cm de suelo, sin producir cambios en las demás profundidades. Esto coincide con estudios realizados por Calviño *et al.* (2000) donde afirma que la acumulación superficial de residuos y la aplicación de fertilizantes fosfatados provocan una marcada estratificación de este nutriente, aumentando la concentración de sus formas en superficie. Otros autores señalan que los cambios del P Bray en profundidad se asocian a su escasa movilidad en el suelo y consiguiente estratificación en los horizontes superficiales (Ron *et al.*, 2011). Según Covacevich *et al.* (2008) y Deubel *et al.* (2011), en regiones semiáridas, la baja concentración de P disponible en capas subsuperficiales, que

permanecen húmedas más tiempo, podría tener un impacto negativo en el suministro de P a las plantas. Del mismo modo, Kruger (1996) ya ha establecido que la excesiva estratificación perjudicaría la nutrición de los cultivos en la región semiárida pampeana. Si bien los tratamientos provocaron un aumento en el P disponible en la capa más superficial, Tcachuc (2019) sobre estas mismas parcelas no encontró efectos positivos sobre el rendimiento de materia seca en trigo. Además, en las capas subsuperficiales, todos los tratamientos presentaron valores de P extraíble inferior al nivel de suficiencia para la región ( $10,5 \text{ mg kg}^{-1}$ , Ron & Loewy, 1990)

En cuanto al pH, no hubo diferencias significativas entre tratamientos, pero si se observó un incremento en los valores máximos alcanzados a través de las profundidades analizadas (Figura 9). Existen autores que afirman que el pH es la propiedad química que menos varía en el espacio por considerarse una característica intrínseca de la génesis del suelo (Acevedo *et al.* 2008) y además se ve poco influenciada por el manejo (Ron *et al.* 2011).

## 5 Conclusión

Las borras resultantes del proceso de filtrado del aceite obtenido por prensado-extrusado del poroto de soja pueden considerarse un residuo de alta calidad debido a sus contenidos de CO y cantidades balanceadas de N y P, ambos indicadores considerados representativos en la calidad de enmiendas orgánicas. Debido al alto contenido de P de la borra es necesario calcular las dosis a utilizar en base a este nutriente y no de N para evitar la degradación ambiental.

Las aplicaciones superficiales de borra al suelo aumentaron los valores de P-Bray y MO, sin embargo, la menor eficiencia de la borra para aumentar el P-Bray en comparación con el fertilizante químico requiere que se apliquen dosis mayores.

La estratificación de P generada por la aplicación de la borra conlleva a relevar más información científica sobre otras formas de aplicación, posicionamiento de las borras en el suelo y momentos de aplicación en el cultivo de trigo.

El uso de las borras como enmienda se presenta como una alternativa sostenible de gestión de residuos y aporte de nutrientes al suelo.

## 6 Bibliografía

- Acevedo, D. C., Álvarez Sánchez, M. E., Hernández Acosta, E., Maldonado Torres, R., Pérez Grajales, M. & Castro Brindis, R. (2008). Variabilidad espacial de propiedades químicas del suelo y su uso en el diseño de experimentos. *Terra latinoamericana*, 26(4), 317-324.
- Alexander, R. A. (1994). Standards and guidelines for compost use. *Biocycle* 35(12), 37-41.
- Barragán, B., Téllez, Y. & Laguna, A. (2008). Utilización de residuos agroindustriales. *Revista Sistemas Ambientales* 2(1):44-50.
- Basil, G., Mazzarino, M. J., Roselliv, L. & Letourneau, F. (2009). Efecto del compost de biosólidos en la producción de plantines de *Austrocedrus chilensis* (ciprés de la cordillera). *Ciencia del Suelo* 27(1): 49-55.
- Benoit, P. & Barriuso, E. (1995). Effect of straw composting on the degradation and stabilization of chlorophenols in soil, *Compost Science* 3: 31–37.
- Blatt, C. R. (1991). Comparison of several organic amendments with a chemical fertilizer for vegetable production. *Scientia Horticulturae* 47: 177-191.
- Bolsa de Cereales. Informe cierre de campaña soja 2018/19. Última visita noviembre 2019. Disponible en: <http://www.bolsadecereales.com/imagenes/archivos/2019-07/8845-informecierresoja201819.pdf>.
- Bolsa de cereales. Última visita noviembre 2019. Disponible en: <http://www.bolsadecereales.com/ver-cierre-de-campana-105>.
- Bray, R. & Kurtz, L. (1945). Determination of total, organic and available forms of phosphorous in soils. *Soil Science* 59(1): 39-46.
- Bremner, J. M. (1996). Nitrogen-Total. In Sparks DL. (Ed.) *Methods of soil analysis. Part 3 Chemical methods*. SSSA Book Ser. 5. SSSA, Madison, WI. p. 1103-1108.
- Buschiazzo, D. E., Panigatti, J. L. & Unger, P. W. (1998). Tillage effects on soil properties and crop production in the subhumid and semiarid Argentinean Pampas. *Soil and Tillage Research* 49(1-2): 105-116.
- Calviño, P., Echeverría, H. E. & Redolatti, M. (2000). Estratificación de fósforo en el suelo y diagnóstico de la fertilización fosfatada en trigo en siembra directa. *Actas XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*.
- Campitelli, P. A. (2010). Calidad de compost y vermicompuestos para su uso como enmiendas orgánicas en suelos agrícolas. Tesis Para optar al Grado Académico de Doctor en Ciencias Agropecuarias. Córdoba, 2010.

- Clark, A. J., Decker, A. M., Meinsiger, J. J. & McIntosh, M. S. (1997). Kill date of vetch, rye, and a vetch-rye mixture: I. Cover crops and corn nitrogen. *Agronomy Journal* 89: 427-434.
- Cole, M. A., Liu, X. & Zhang, L. (1995). Effect of compost addition on pesticide degradation in planted soils. In: R. E. Hinchee, D. B. Anderson and R. E. Hoepfel, Editors, *Bioremediation of Recalcitrant Organics*, Battelle Press, Columbus, OH, pp. 183–190.
- Covacevich, F., Sainz Rozas, H., Barbieri, P. & Echeverría, H. (2008). Crecimiento y micorrización arbuscular nativa de trigo en siembra directa bajo distintas formas de colocación de fósforo. *Ciencia del Suelo* 26 (2):169-175.
- Cury, R., Aguas, M., Martínez, M., Olivero V. & Chams C. (2017). Residuos agroindustriales su impacto, manejo y aprovechamiento. *Revista Colombiana de Ciencia Animal* 9:122-132.
- Davies, B. E. (1974). Loss-on-ignition as an estimate of soil organic matter. *Soil Science Society of American Proceedings* 38: 150-151.
- Del Pino, A., Casanova, O., Barbazán, M., Mancassola, V., Rodríguez, J., Arló, L. & Passeggi, M. (2012). Caracterización y evaluación de biosólidos producidos por digestión anaerobia de residuos agroindustriales. *Ciencia del Suelo*, 30(2): 151-160.
- Deubel, A., Hofmann, B. & Orzessek, D. (2011). Long-term effects of tillage on stratification and plant availability of phosphate and potassium in a loess chernozem. *Soil & Tillage Research* 117: 85–92.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., González, L., Tablada, M. & Robledo, C. W. InfoStat versión 2016. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar/>
- Diacono, M. & Montemurro, F. (2010). Long-term effects of organic amendments on soil fertility: a review. *Agronomy for Sustainable Development* 30: 401-422.
- Donnari, M. A & Torre, I. E. (1974). Análisis de algunos aspectos del clima de Bahía Blanca. Bahía Blanca, Universidad Nacional del Sur. 32 p.
- Duval, M., Martínez, J. M., García, R. J., Pandolfo, C. E., Presotto, A. D., Piñeiro, A. & Miravalles, M. T. (2018). Caracterización de un residuo agroindustrial para su utilización como enmienda orgánica. *Actas XXVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*.

- Edmeades, D. C. (2003). The long-term effects of manures and fertilisers on soil productivity and quality: a review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 66(2):165-180.
- Eghball, B. & Power, J. F. (1999). Phosphorus-and nitrogen-based manure and compost applications corn production and soil phosphorus. *Soil Science Society of America Journal*, 63(4): 895-901.
- Fageria, N. K. & Nascente, A. S. (2014). Management of soil acidity of South American soils for sustainable crop production. *Advances in Agronomy* 128:221-275. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 1997. La agroindustria y el desarrollo económico. Última visita septiembre de 2018. <http://www.fao.org/3/a-w5800s.pdf> .
- García, A. & Torres, R. (2003). Producción de enzimas lignolíticas por Basidiomycetes mediante la técnica de fermentación en sustrato sólido. *Revista colombiana de biotecnología*. 4 (1): 56-64.
- García, F. O. (2003). Introducción. Simposio «El Fósforo en la Agricultura Argentina». pp. 2-3. INPOFOS. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.
- González, M. (2009). Producción de bioenergía en el norte de México: tan lejos y tan cerca. *Frontera Norte* 21(41):177-183.
- Guerrero, R. & Valenzuela, L. (2011). Agroindustria y medio ambiente. Trilogía. *Ciencia Tecnología Sociedad* 23(33):63-83.
- Hartz, T. K., Mitchell, J. P. & Giannini, C. (2000). Nitrogen and carbon mineralization dynamics of manures and composts. *HortScience*, 35(2), 209-212.
- 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.
- 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.
- Jongtae, L. (2010). Effects of application methods of organic fertilizer on growth, soil chemical properties and microbial densities in organic bulb onion production. *Scientia Horticulturae* 124: 299–305.
- Kabata-Pendias, A. & Pendias, H. (2001). *Trace Elements in Soils and Plants* (3rd ed.), CRC Press, Boca Raton, FL pp. 413.

- Kruger, H. R. (1996). Sistemas de labranza y variación de propiedades químicas en un Haplustol éntico. *Ciencia del Suelo* 14: 53-55.
- Lasaridi, K., Protopapa, I., Kotsou, M., Pilidis, G., Manios, T. & Kyriacou, A. (2006). Quality assessment of composts in the Greek market: The need for standards and quality assurance. *Journal of Environmental Management* 80: 58-65.
- Liu, Q., Sun, X., Hu, A., Zhang, Y. & Cao, Z. (2014). Characteristics of Toxic Metal Accumulation in Farmland in Relation to Long-Term Chicken Manure Application: A Case Study in the Yangtze River Delta Region, China. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 92(3): 279-284.
- Loewy, T. & Puricelli, C. A. (1982). Disponibilidad de fósforo en suelos del área de la E. E. A. Bordenave. Informe Técnico nº 28.
- Loewy, T. & Sewald, H. A. (1980). Fertilidad nitrogenada para trigo en suelos del SO bonaerense. IX Reunión Argentina de la ciencia del suelo.
- López, F. M., Duval M., Martínez, J. M. & Galantini, J. A. (2013). Fertilización fosfatada en trigo en la zona semiárida: su influencia sobre el rendimiento y la eficiencia en el uso del N y del agua.
- Massigoge, J. I., Ochandio, D. C. & Juan, N. A. (2013). Industria de extrusado-prensado de soja en la mitad sur de la provincia de Buenos Aires.
- Matellán, D. & Matellán, G. (2017). Evaluación del destino de la borra de soja proveniente de la extrusora Matoil para la producción de leche funcional en el tambo Don Ángel.
- Ministerio de Agroindustria. (2018). Última visita noviembre 2019. Disponible en [http://www.alimentosargentinos.gob.ar/HomeAlimentos/Cadenas%20de%20Valor%20de%20Alimentos%20y%20Bebidas/informes/Resumen\\_Cadena\\_2018\\_harina\\_de\\_trigo\\_julio\\_2018.pdf](http://www.alimentosargentinos.gob.ar/HomeAlimentos/Cadenas%20de%20Valor%20de%20Alimentos%20y%20Bebidas/informes/Resumen_Cadena_2018_harina_de_trigo_julio_2018.pdf)
- Ministerio de Hacienda, Presidencia de la Nación .Informes de cadenas de valor Oleaginosas: Soja. (2019). Última visita noviembre de 2019. Disponible en: [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/sspmicro\\_cadenas\\_de\\_valor\\_soja.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/sspmicro_cadenas_de_valor_soja.pdf).
- Moisés, J., Gómez, M. & Galantini, J. A. (2018). Residuos agroindustriales biotransformados: un residuo hecho fertilizante, un problema convertido en solución. 151 a 156.
- Molfese, E. (2016) .Caracterización de la calidad del trigo pan en el centro sur bonaerense chacra experimental integrada Barrow convenio maiba-inta.

- Moore, P. A., Daniel, T. C., Sharpley, A. N. & Wood, C. W. (1995). Poultry manure management: Environmentally sound options. *Journal of soil and water conservation*, 50(3), 321-327.
- Mormeneo, I. & Díaz, R. (2003). Método para clasificar la anomalía de las lluvias.
- Nicholson, F. A., Chambers, B. J., Williams, J. R. & Unwin, R. J. (1999). Heavy metal contents of livestock feeds and animal manures in England and Wales. *Bioresource Technology*, 70(1), 23-31.
- Ramírez, S. (2012). Aprovechamiento de residuos agroindustriales, cascarilla de arroz (*Oriza sativa*) y residuos de papa (*Solanum tuberosum*) para la producción de *Trichoderma spp.* Trabajo de grado, Universidad Técnica de Ambato, Ambato.
- Restrepo, A., Rodríguez, E. & Manjarrés, K. (2011). Cortezas de naranja comestibles: una aproximación al desarrollo de productos con valor agregado a partir de residuos agroindustriales. *Producción + limpia*, 6(2):47-57.
- Ron, M. M., Mandolesi, M. E., Facchinetti, C. & Kiessling, R. J. (2011). Efecto antrópico sobre la fertilidad química de un suelo en el sudoeste bonaerense. *Ciencia del suelo*, 29(2), 223-231.
- Ron, M. M., Mandolesi, M. E., Orden, L. & Kiessling, R. J. (2011). Variabilidad espacial de fertilidad química del suelo en un diseño de bloques. *Spanish Journal of Soil Science*, 1(1): 54-69.
- Ron, M. M. & Loewy, T. (1990). Fertilización fosfórica del trigo en el sudoeste bonaerense: I Modelos de respuesta. *Ciencia del Suelo* 8 (2):187-194.
- Saval, S. (2012). Aprovechamiento de Residuos Agroindustriales: Pasado, Presente y Futuro.
- Schulte, E. E. & Hopkin, B. G. (1996). Estimation of soil organic matter by weight loss-on ignition. In: FR Magdoff *et al.* (Eds). *Soil Organic Matter: Analysis and Interpretation*. SSSAJ, Madison WI. Pp. 21-31.
- Seóñez Calvo, M., Bellas Velasco, E., Ladaria Sureda, P. & Seoáñez Oliet, P. (2000). Tratado de reciclado y recuperación de productos de los residuos: el reciclado en la naturaleza, el reciclado en el medio agrario, el reciclado y la recuperación en el medio urbano, el reciclado y la recuperación en el medio industrial: casos prácticos de cada sector (No. 04; TD794. 5, S4.)



- Sharpley, A., Meisinger, J. J., Breeuwsma, A., Sims, J. T., Daniel, T. C. & Schepers, J. S. (1998). Impacts of animal manure management on ground and surface water quality. *Animal waste utilization: effective use of manure as a soil resource*, 173-242.
- Soil Science Society of America. (2008). *Glossary of Soil Science Terms*. Edited by Soil Science Society of America. ISBN: 978-0-89118-851-1.
- Suñer, L. G. & Galantini, J. A. (2012). Fertilización fosforada en suelos cultivados con trigo de la región sudoeste pampeana. *Ci. Suelo*, 30(1), 57-66.
- Takahashi, S. & Anwar, M. R. (2007). Wheat grain yield, phosphorus uptake and soil phosphorus fraction after 23 years of annual fertilizer application to an Andosol. *Field Crops Res.* 101(2): 160-171.
- Tcachuc, C. E. (2019). Utilización de las borras obtenidas en la filtración del aceite de soja: una alternativa sustentable para el sudoeste bonaerense. Universidad Nacional del Sur, tesina de grado.
- Trinsoutrot, I., Recous, S., Bentz, B., Lineres, M., Cheneby, D. & Nicolardot, B. (2000). Biochemical quality of crop residues and carbon and nitrogen mineralization kinetics under nonlimiting nitrogen conditions. *Soil Science Society of America Journal*, 64(3):918-926.
- USEPA. (1993). Standards for the use or disposal of sewage sludge. *Federal Register*, 58 (32), 9248-9415.
- Vargas, Y. & L. Pérez. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista Facultad de ciencias Básica*. 1(1). 1-14.
- Wallace, A. (1994a). Sense with sustainable agriculture. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 25:5.
- Wallace, A. (1994b). Soil organic matter is essential to solving soil and environmental problems. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 25:15.
- Zarrilli, A. G. (2010). Ecología, capitalismo y desarrollo agrario en la región Pampeana (1890-1950). Un enfoque histórico-ecológico de la cuestión agraria, Texto completo en [www.eumed.net/tesis/2010/agz/](http://www.eumed.net/tesis/2010/agz/).

## 7 ANEXO

Tabla 1.

*Análisis estadístico del efecto de la aplicación de diferentes dosis de P sobre las variables edáficas.*

	MO (g kg <sup>-1</sup> )	P-Bray (mg kg <sup>-1</sup> )	pH
Suelo	***	***	***
Tratamiento	*	***	ns
Suelo*Tratamiento	**	*	ns

(\*\*\*), (\*\*), (\*) y ns indican efectos significativos al 0,001; 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.



**Imagen 1.** Borras utilizadas en los ensayos.



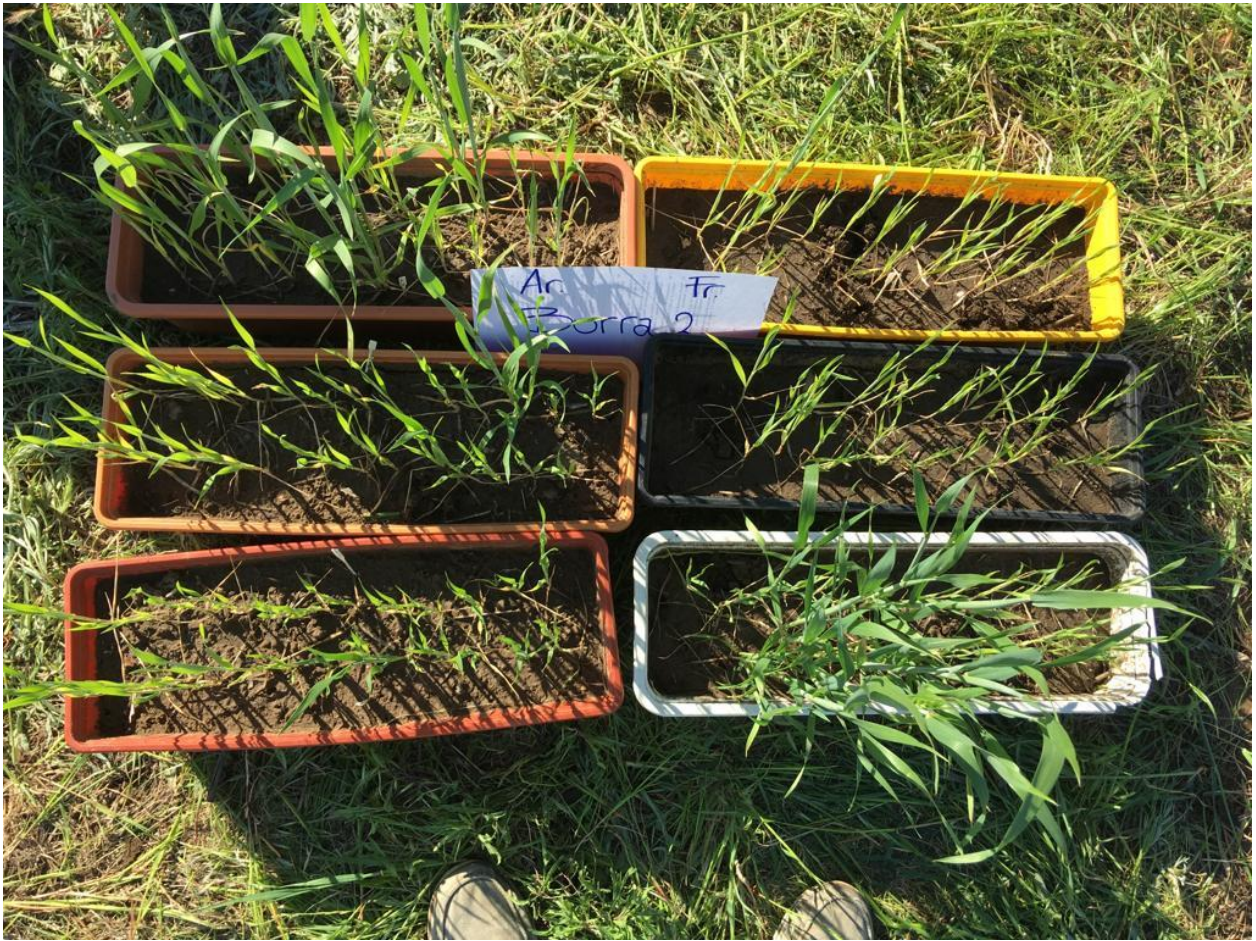
**Imagen 2.** Aplicación superficial del FDA y las borras.



**Imagen 3.** Macetas con trigo en desarrollo.



**Imagen 4.** Macetas con tratamiento B1, a la izquierda suelo Haplustol típico (arenoso franco) y a la derecha suelo Argiudol petrocálcico (franco arcilloso).



**Imagen 5.** Macetas con tratamiento B2, a la izquierda suelo Haplustol típico (arenoso franco) y a la derecha suelo Argiudol petrocálcico (franco arcilloso).



**Imagen 6.** Parcelas de trigo con los distintos tratamientos.



**Imagen 7.** Distribución de las borras a campo en lotes de la empresa Argentierra S.A.





**Imagen 8.** Disposición de las borras en el lote aplicadas mecánicamente.