

Artículo científico

Disponibilidad de agua y aporte de biomasa bajo diferentes estrategias de barbecho

Availability of water and biomass input under different fallow strategies

B. Novillo^{1,2*}; A Voisin²; G. Peyron³; A. Pellegrini⁴; A. Chamorro⁵; R. Bezus⁵; S. Golik³

¹ Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata (FCAyF-UNLP). Calle 60 y 119, CC 31, (1900) La Plata, Buenos Aires, Argentina. *E-mail: bnovillo@agro.unlp.edu.ar

² Comisión de Investigaciones Científicas (CIC), Buenos Aires, Argentina.

³ Curso de Cerealicultura, FCAyF-UNLP, La Plata, Buenos Aires, Argentina.

⁴ Curso de Edafología, FCAyF-UNLP, La Plata, Buenos Aires, Argentina.

⁵ Curso de Oleaginosas y Cultivos Regionales, FCAyF-UNLP, La Plata, Buenos Aires, Argentina.

Resumen

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de diferentes estrategias de barbecho sobre la humedad gravimétrica del suelo y la disponibilidad de agua útil para el cultivo sucesor y analizar el aporte de biomasa de los cultivos de cobertura. En la Estación Experimental J. Hirschhorn, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, Argentina, sobre un suelo Argiudol típico, se iniciaron en 2011, ensayos a campo en los que se comparan distintas secuencias agrícolas: S1: trigo/soja 2º maíz-soja-trigo; S2: cebada/soja 2º maíz-soja-trigo; S3: avena/soja 2º maíz-girasol-trigo; S4: colza/soja 2º maíz-sorgo-trigo; bajo dos formas de producción, un nivel tecnológico medio y un nivel tecnológico alto. En 2016, entre la cosecha de la soja 2º y la siembra del maíz, sobre el nivel tecnológico medio se realizaron tres tipos de barbechos: barbecho químico, aplicación de compost e inclusión de cultivos de cobertura. Sobre el nivel tecnológico alto se realizó cultivo de cobertura. El compost y el cultivo de cobertura resultaron superiores al barbecho químico en la conservación de agua útil para el cultivo sucesor. La biomasa aportada por el cultivo de cobertura resultó en promedio de 3.397,91 kg/ha y presentó diferencias estadísticamente significativas para las diferentes secuencias siendo mayor para S4 y menor en S1. A su vez la mayor producción de biomasa del cultivo de cobertura en S4 se correspondió con un mayor uso consuntivo y menor agua útil final. Considerando el nivel tecnológico, el cultivo de cobertura resultó con mayor volumen de residuo en el nivel tecnológico alto, lo que implicó una mejora en la eficiencia de utilización del agua.

Palabras clave: Agua útil; Barbecho químico; Compost; Cultivo de cobertura.

Abstract

The objective of this work was to evaluate the effect of different fallow strategies on the gravimetric moisture of the soil and the availability of useful water for the successor crop and to analyze the biomass contribution of the cover crops. In the Experimental Station J. Hirschhorn, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, Argentina, on an Argiudol typical soil. Field trials were started in 2011 in which different agricultural sequences were compared: S1: wheat / soybean 2nd corn-soybean-wheat; S2: barley / soybean 2nd corn-soybean-wheat; S3: oats / soybean 2nd corn-sunflower-wheat; S4: rapeseed / soybean 2nd maize-sorghum-wheat; under two forms of production, an average technological level and a high technological level. In 2016, between the 2nd soybean harvest and the corn sowing, on the average technological level, three types of fallow were made: chemical fallow, compost application and inclusion of cover crops. On the high technological level, cover crop was cultivated. Compost and cover crop were higher to chemical fallow in the conservation of water useful for the successor crop. The biomass provided by the cover crop resulted in an average of 3,397.91 kg/ha and presented statistically significant differences for the different sequences, being higher for S4 and lower on S1. In turn, the higher biomass production of the cover crop in S4 corresponded to a higher consumptive use and lower final useful water. Considering the technological level, the cover crop resulted in a higher volume of waste at the high technological level, which implied an improvement in water use efficiency.

Keywords: Chemical fallow; Compost; Cover crop; Useful water.

Recibido 21/03/17; Aceptado 26/10/17.

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Introducción

Los efectos de la expansión de la soja en la Argentina y de su modelo productivo, relacionados con el creciente deterioro ambiental, la fuerte concentración económica y la exclusión social, han sido ampliamente documentados (Pengue, 2001; Flores y Sarandón, 2003; Ghersa, 2005; Mengo, 2008). La eficiencia productiva de este cultivo en nuestro país se basa en la sobreexplotación de la fertilidad que ofrece la Pampa Húmeda, lo cual redundando en problemas como compactación, pérdida de fertilidad y estructura del suelo, exportación de nutrientes, encostramiento, impactos sobre la biodiversidad, afectación del acuífero y problemas de inundaciones (Mengo, 2008). Si bien es el cultivo más rentable y de mayor retorno por capital invertido, a largo plazo este proceso no es la mejor alternativa ya que se contraponen con un desarrollo agropecuario sustentable. Una alternativa para atenuar los efectos de su monocultivo y reducir el uso de insumos costosos o nocivos (fertilizantes químicos), está dada por la utilización de residuos orgánicos durante el barbecho. La mayor parte de los suelos bajo agricultura se encuentran en barbecho durante el otoño y el invierno ya que en los sistemas de agricultura continua de la Región Pampeana prevalecen los cultivos de verano (Caviglia y Andrade, 2010). Éstos, principalmente soja y maíz son cosechados entre marzo y mayo y la siembra del próximo cultivo ocurre entre septiembre y diciembre, lo cual deja un período de barbecho que se extiende de 5 a 9 meses (Basanta *et al.*, 2008) brindando una amplia ventana para la aplicación de residuos orgánicos.

La producción de este tipo de residuos proviene de distintos sectores. Las actividades de la moderna sociedad de consumo, el crecimiento demográfico y el desarrollo industrial, determinan un aumento incesante en su generación. Para los residuos procedentes de la ganadería se estima que la producción mundial de estiércol está cercana a 12.193 millones de toneladas (t) (Tortosa, 2011). A nivel nacional, para el caso de la producción de pollos parrilleros, se estima que cada 10.000 cabezas durante el ciclo de producción (50 días) se producen unas 20 t de deyecciones, además a esto hay que sumarle el material que se utilice como cama (por ejemplo cáscara de arroz) (Stamatti y Di Carli, 2013). En producciones de cerdos, en promedio, se producen 231 t anuales de residuos por establecimiento (Franco y Panichielli, 2013).

En el caso de los tambos se estima que se producen unos 30.000 millones de litros de efluentes al año (Taverna, 2013). En el caso de los residuos agrícolas, se estima que de los 1,6 billones de t de materia orgánica exógena que se producen al año en la Unión Europea, 415 millones corresponden a residuos agrícolas de los cultivos de trigo, cebada y maíz. Según la determinación de FAO, en nuestro país se producen 6,6 millones de t anuales de desechos derivados de las actividades agrícolas, forestales y forestoindustriales. Esos residuos provienen principalmente del cultivo de la caña de azúcar (2 millones de t), de la poda de frutales y vid (1,6 millones de t), de la industria maderera (igual volumen) y cerca de 110 millones de t de biomasa leñosa originada en bosques nativos e implantados (INTA, 2014). La industria alimentaria en Europa es uno de los sectores más grandes, estimándose la producción de residuos agroindustriales en valores cercanos a 222 millones de t, la mayor parte de naturaleza biodegradable (Tortosa, 2011). Existe, por lo expuesto, una gran variedad de residuos con un contenido elevado en materia orgánica, potencialmente utilizables como enmendantes y/o abonos orgánicos o compost.

La ciudad de La Plata produce 300 t/día de residuos orgánicos (Ceamse, 2016) o sea 150 t potenciales de compost por día, aproximadamente 55.000 t/año. Sumado a ello, en la mencionada ciudad se encuentran un amplio cinturón hortícola, una importante actividad hípica (con una elevada producción de estiércol de equino) y diversos establecimientos avícolas. Por lo tanto, su utilización como enmendante sería una alternativa viable para reutilizarlos dentro de un sistema productivo, disminuyendo su exportación, evitando una posible fuente de contaminación y dando así una solución al destino final de los mismos. La utilización de residuos debe ser tomada como una estrategia a largo plazo para preservar el medio ambiente y conservar la fertilidad del suelo.

En este contexto, otra alternativa para mitigar y/o revertir una serie de procesos que pueden condicionar la sostenibilidad de los sistemas de producción es la inclusión de cultivos de cobertura como barbecho. Entre los múltiples objetivos que pueden llevar a incorporar cultivos de cobertura, podemos mencionar mejorar el balance de carbono (C) y fijar nitrógeno (N) para reducir los requerimientos de fertilizantes a través de sus residuos. Dependiendo de su manejo es posible sincronizar mejor la oferta de nutrientes para los cultivos su-

cesores, mejorar el anclaje de residuos de cultivos de cosecha minimizando las pérdidas por efecto del viento y/o agua y mejorar la actividad biológica (Kruger y Quiroga, 2012).

El área de influencia de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP), abarca varios partidos, entre ellos, el Partido de Magdalena. Trabajos recientes indican que alrededor del 40 % de los suelos de Magdalena son aptos o moderadamente aptos para el cultivo de soja (Etchegoyen, 2011), equivalente a unas 73.000 hectáreas, lo cual da una idea de las posibilidades de crecimiento para el cultivo en el Partido, proceso que ya se ha iniciado. Con el fin de evitar o minimizar los problemas ambientales asociados al monocultivo sojero, se considera necesario generar información local, a través de ensayos, que permitan incluir a este cultivo de manera más racional en los esquemas productivos zonales. Se entiende que la realización de barbechos alternativos a los tradicionales o químicos constituyen un avance en este sentido, ya que mejoran la productividad de los cultivos siguientes, reducen la necesidad de aporte de insumos, conservan recursos como el agua y propiedades tanto físicas como químicas del suelo.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de diferentes estrategias de barbecho: químico, compost y cultivos de cobertura, sobre la humedad gravimétrica del suelo y la disponibilidad de agua útil para el cultivo sucesor; y evaluar el aporte de residuos orgánicos de los cultivos de cobertura.

Materiales y métodos

En la Estación Experimental J. Hirschhorn dependiente de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (UNLP), sobre un suelo Argiudol típico, se iniciaron en el año 2011, ensayos a campo en los que se comparan distintas secuencias agrícolas (S): S1: trigo/soja 2° maíz-soja-trigo; S2: cebada/soja 2° maíz-soja-trigo; S3: avena/soja 2° maíz-girasol-trigo; S4: colza/soja 2° maíz-sorgo-trigo. Estas secuencias se manejaron bajo dos formas de producción, un nivel tecnológico medio (NTM), considerado como el que realiza el productor promedio de la zona, y un nivel tecnológico alto (NTA), que es aquél que utilizan los productores que habitualmente obtienen mayores rendimientos en sus cosechas, y que implica generalmente mayor fertilización y eventualmente aplicación de fungicida (Tabla 1). Ambos manejos fueron conocidos a través de entrevistas a técnicos y productores locales. La diferencia entre ambos niveles tecnológicos, en el presente trabajo, se debió a los niveles de fertilización. En los cereales de invierno todas las parcelas fueron fertilizadas a la siembra con 50 kg.ha⁻¹ de fosfato diamónico y en macollaje, con 100 kg.ha⁻¹ de urea para el NTM y 140 kg.ha⁻¹ para el NTA. La colza sólo fue fertilizada en el NTA con 100 kg/ha de fosfato monoamónico enriquecido en azufre y 120 kg/ha de urea. La soja se fertilizó con 6 kg/ha de fertilizante foliar Niebla® (nitrógeno total: 9 %; fósforo asimilable: 2,6 %; azufre: 5,5 %). No se hizo aplicación de fungicidas porque no se dieron las condiciones y, por lo tanto, no se alcanzaron los umbrales ne-

Tabla 1. (S): Esquema de manejo: distintos tipos de barbecho realizados entre la cosecha de la soja de 2° y siembra de maíz en cuatro secuencias de cultivos (S1, S2, S3 y S4) y dos niveles de tecnología (NTM: nivel tecnológico medio y NTA: nivel tecnológico alto).

Secuencia	Nivel tecnológico	Tipo de barbecho realizado entre la cosecha de la soja 2° y siembra de maíz
S1: trigo/soja 2° maíz-soja-trigo	NTM	Testigo Compost Cultivo cobertura (CCM)
	NTA	Cultivo cobertura (CCA)
S2: cebada/soja 2° maíz-soja-trigo	NTM	Testigo Compost Cultivo cobertura (CCM)
	NTA	Cultivo cobertura (CCA)
S3: avena/soja 2° maíz-girasol-trigo	NTM	Testigo Compost Cultivo cobertura (CCM)
	NTA	Cultivo cobertura (CCA)
S4: colza/soja 2° maíz-sorgo-trigo	NTM	Testigo Compost Cultivo cobertura (CCM)
	NTA	Cultivo cobertura (CCA)

cesarios para realizar un tratamiento. Tampoco se efectuaron aplicaciones para el control de plagas y malezas.

En 2016 en todas las secuencias, durante el tiempo transcurrido entre la cosecha de la soja 2° (21 de abril) y la siembra del maíz (4 de noviembre), sobre el NTM se realizaron tres tipos de barbechos: barbecho químico o tradicional (testigo): es el manejo habitualmente realizado por los productores de la zona; aplicación de cama de pollos parrilleros estabilizada (compost) e inclusión de cultivos de cobertura (CCM). Sobre el NTA se realizó sólo cultivo de cobertura (CCA) (Tabla1). Debido al tamaño de las parcelas, las cuales tuvieron una superficie de 7 m de largo por 3 m de ancho, la aplicación del compost se realizó en forma manual (6 de junio) y de acuerdo a los datos existentes en la bibliografía según tipo de suelo (Argiudol típico), para cultivos extensivos y tipo de compost se utilizó 20 t/ha (Golabi *et al.*, 2004; Biolur, 2013), lo que implica 2 kg/m². El cultivo de cobertura (CC) se sembró el 8 de junio, consistió en una mezcla de avena y vicia a una densidad de 50 kg/ha de la gramínea y 20 kg/ha de la leguminosa. La determinación de materia seca (MS) del CC se realizó al momento de secado con glifosato, aplicado el 8 de octubre, a una dosis de 1,4 l/ha con la toma de tres submuestras de 1m lineal por parcela, secado a 60 °C hasta peso constante.

La siembra de todos los cultivos se realizó sin remoción del suelo. Se utilizó un diseño experimental en bloques al azar en parcelas divididas con cuatro repeticiones, para cada una de las secuencias, donde la parcela principal correspondió a las secuencias y la subparcela al tipo de barbecho.

Se tomaron muestras de suelo hasta 70 cm para su análisis, al inicio y fin del periodo de barbecho en cada uno de los tratamientos, con el fin de determinar la disponibilidad hídrica inicial y final (HI y HF, respectivamente), por el método gravimétrico. A partir de ello se realizó el cálculo del agua útil inicial (AUI), considerando el punto de marchitez permanente (PMP) determinado por el método olla de Richard (Richard, 1948), la densidad del suelo, la profundidad muestreada y el agua útil al final (AUF) de las estrategias de barbecho. Se determinó el uso consuntivo (UC) del CC y del compost, mediante la suma del contenido hídrico del suelo al momento de la siembra y las precipitaciones ocurridas durante el ciclo del CC, a la cual se le restó el contenido hídrico del suelo al mo-

mento de finalizar el ciclo de los CC. La eficiencia de utilización del agua (EUA) del CC se realizó mediante el cociente entre la materia seca y el UC.

Las precipitaciones y temperaturas medias mensuales para el año 2016 e históricas (Temperaturas: Serie 1969 – 2009; Precipitaciones: Serie 1964 – 2009) fueron obtenidas de la Estación Meteorológica de la Estación Experimental J. Hirschhorn.

El procesamiento de los datos se efectuó mediante el paquete estadístico InfoStat (InfoStat, 2017) utilizando análisis de la varianza y para la comparación de medias se usó la prueba de Tukey al 5 % de probabilidad. Se analizaron los efectos principales y sus interacciones.

Resultados

En 2016 los meses de enero y febrero presentaron precipitaciones por debajo de la media histórica, el mes de marzo fue cercano a la media y en abril se presentaron excesos hídricos. Las precipitaciones durante el barbecho fueron de 290 mm. La temperatura media mensual resultó inferior a la histórica durante los meses de enero y febrero, presentando el resto de los meses temperaturas superiores a la misma (Figura 1).

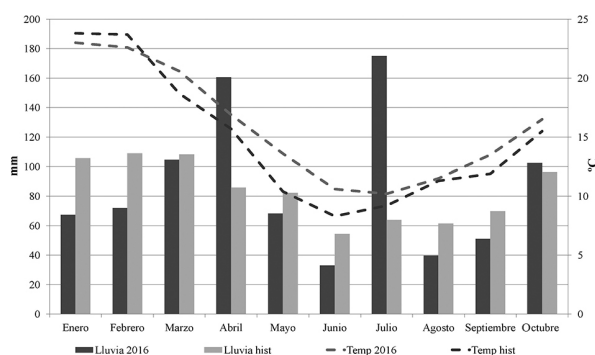


Figura 1. Datos climáticos, Estación Experimental J. Hirschhorn, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (UNLP).

En los párrafos siguientes los resultados se presentan como media \pm error estándar.

La HI no presentó diferencias significativas para las secuencias estudiadas ($F = 2,010$; g.l. error = 173; $p = 0,114$), cuyas medias se encontraron entre $33,65 \pm 0,24$ % para la S4 y $32,80 \pm 0,25$ % para la S2, ni para los tratamientos de barbechos ($F = 5,6E-05$; g.l. error = 173; $p = 0,999$), con valores promedios de $33,23 \pm 0,28$ % (Figuras 2A y 2B). No hubo interacción significativa entre los factores ($F = 0,150$; g.l. error = 173; $p = 0,998$).

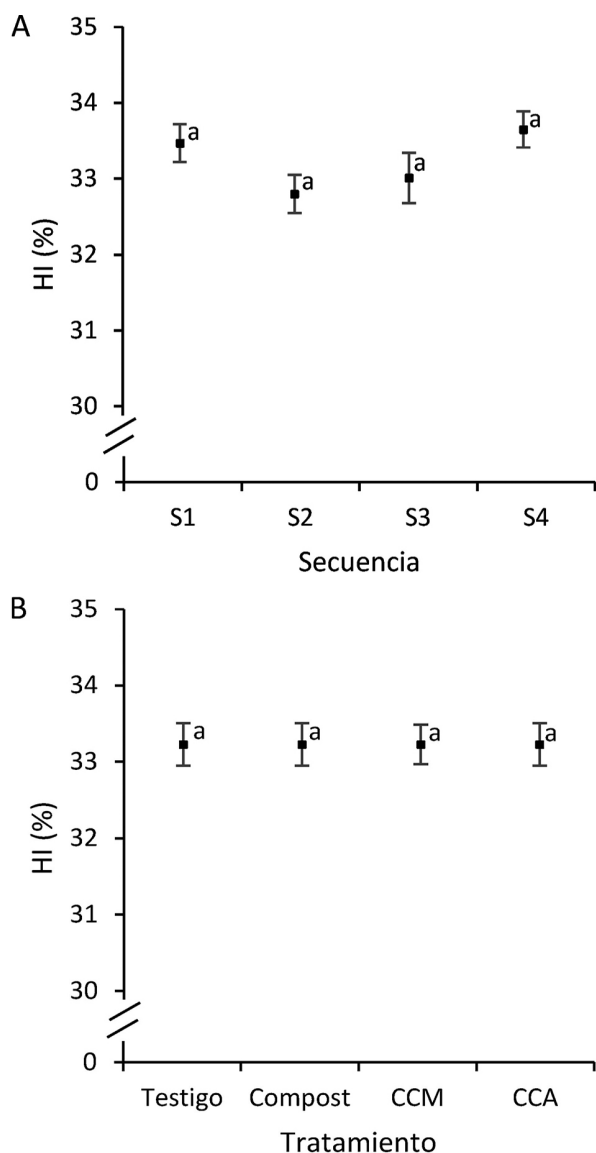


Figura 2. A: Humedad inicial (HI), en %, bajo cuatro secuencias de cultivos: S1, S2, S3 y S4. B: HI, en %, bajo cuatro tratamientos de barbechos: testigo, compost, cultivo de cobertura con nivel tecnológico medio (CCM) y cultivo de cobertura con nivel tecnológico alto (CCA). Medias seguidas por la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($p > 0,05$). Los valores corresponden a las medias \pm error estándar.

La HF presentó diferencias significativas para las secuencias ($F = 3,000$; g.l. error = 173; $p = 0,032$) y los tratamientos de barbechos ($F = 7,780$; g.l. error = 173; $p < 0,0001$). Respecto a las secuencias, su mayor valor fue en S3 ($20,28 \pm 0,18$ %) y su menor valor en S4 ($19,50 \pm 0,25$ %), mostrando valores intermedios en S1 y S2 (Figura 3A). Respecto a los tratamientos de barbechos, la HF resultó significativamente menor en el testigo ($18,97 \pm 0,24$ %), siendo los demás tratamientos mayores a este en el siguiente orden: compost

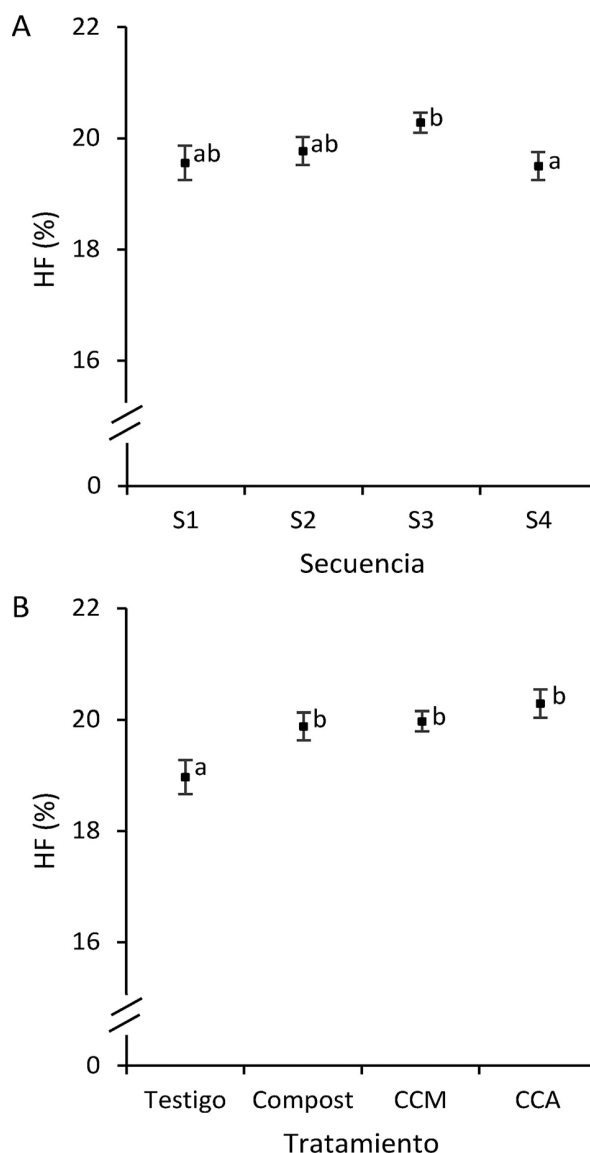


Figura 3. A: Humedad final (HF), en %, bajo cuatro secuencias de cultivos: S1, S2, S3 y S4. B: HF, en %, bajo cuatro tratamientos de barbechos: testigo, compost, cultivo de cobertura con nivel tecnológico medio (CCM) y cultivo de cobertura con nivel tecnológico alto (CCA). Medias seguidas por la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($p > 0,05$). Los valores corresponden a las medias \pm error estándar.

($19,88 \pm 0,25$ %), CCM ($19,97 \pm 0,25$ %) y CCA ($20,29 \pm 0,24$ %) (Figura 3B). No hubo interacción significativa entre los factores ($F = 1,63$; g.l. error = 173; $p = 0,1092$).

El AUI, registrada al comienzo del barbecho, que surge de considerar la humedad gravimétrica, la densidad del suelo y la profundidad muestreada, no mostró diferencias para las secuencias ($F = 1,47$; g.l. error = 173; $p = 0,224$) ni para las estrategias de barbecho ($F = 2,5E-03$; g.l. error = 173; $p = 0,998$) cuya media fue de $59,30 \pm 0,73$ mm

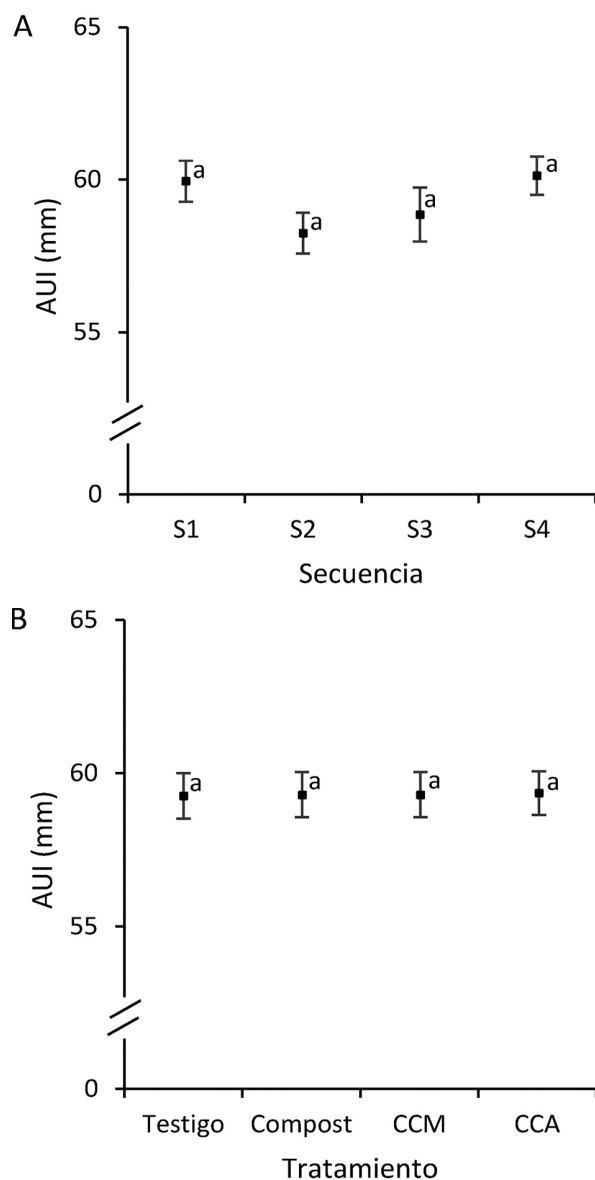


Figura 4. A: Agua útil inicial (AUI), en mm, bajo cuatro secuencias de cultivos: S1, S2, S3 y S4. B: AUI, en mm, bajo cuatro tratamientos de barbechos: testigo, compost, cultivo de cobertura con nivel tecnológico medio (CCM) y cultivo de cobertura con nivel tecnológico alto (CCA). Medias seguidas por la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($p > 0,05$). Los valores corresponden a las medias \pm error estándar.

(Figuras 4A y 4B). No hubo interacción significativa entre los factores ($F = 0,15$; g.l. error = 173; $p = 0,998$).

Considerando las secuencias, el AUF, después de las estrategias de barbecho, resultó significativamente mayor en S3 ($269,33 \pm 4,83$ mm) y menor en S4 ($249,02 \pm 6,44$ mm), presentando valores intermedios en S1 y S2 ($F = 3,000$; g.l. error = 173; $p = 0,032$). Según las estrategias de barbecho: el AUF resultó significativamente menor en el testi-

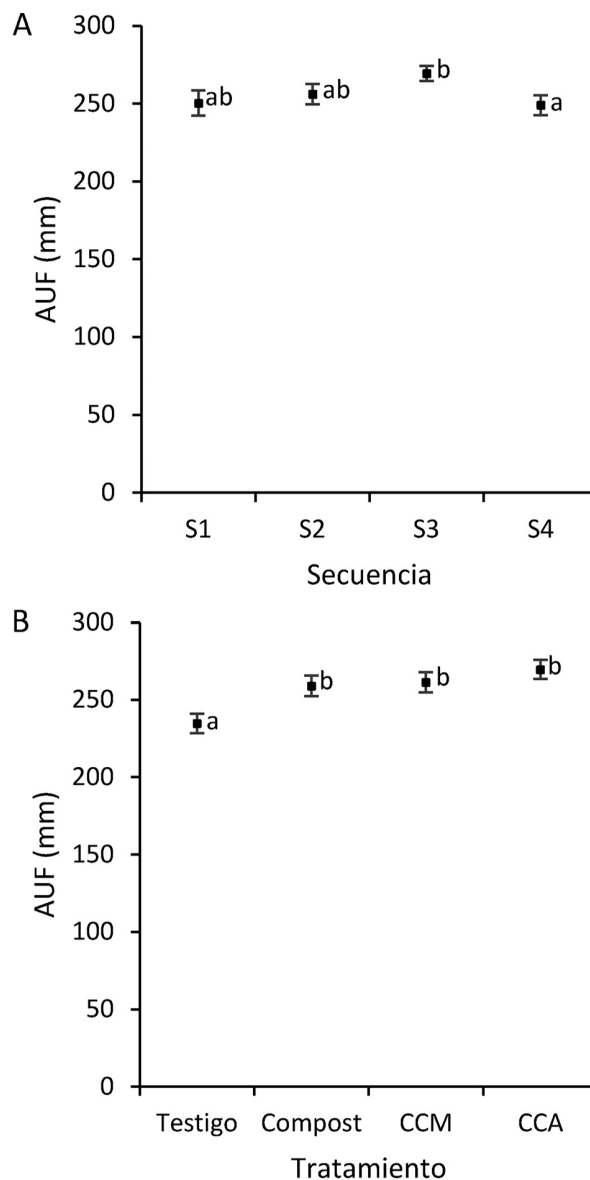


Figura 5. A: Agua útil final (AUF), en mm, bajo cuatro secuencias de cultivos: S1, S2, S3 y S4. B: AUF, en mm, bajo cuatro tratamientos de barbechos: testigo, compost, cultivo de cobertura con nivel tecnológico medio (CCM) y cultivo de cobertura con nivel tecnológico alto (CCA). Medias seguidas por la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($p > 0,05$). Los valores corresponden a la medias \pm error estándar.

go, no presentando diferencias entre las otras tres estrategias: compost, CCM y CCA ($F = 7,78$; g.l. error = 173; $p = 0,0001$) (Figuras 5A y 5B). No hubo interacción significativa entre los factores ($F = 1,63$; g.l. error = 173; $p = 0,109$).

El UC presentó diferencias significativas entre las secuencias ($F = 3,36$; g.l. error = 173; $p = 0,020$), presentando mayor valor para las secuencias S1 ($99,55 \pm 8,08$ mm) y S4 ($101,11 \pm 6,47$ mm) y menor para S3 ($79,53 \pm 4,65$ mm). No

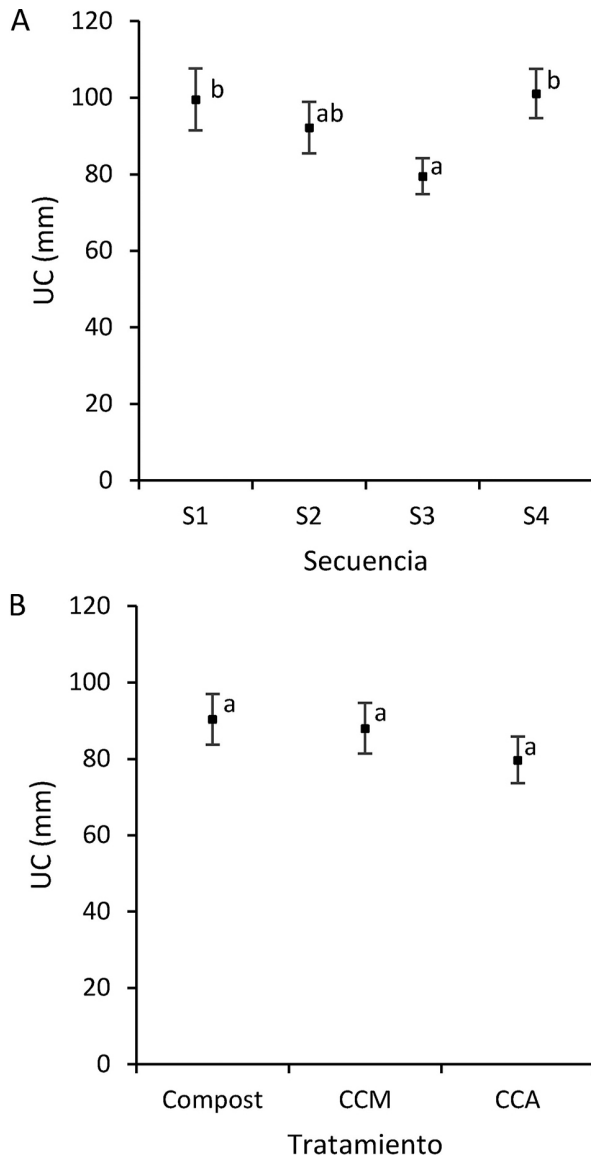


Figura 6. A: Uso consuntivo (UC), en mm, bajo cuatro secuencias de cultivos: S1, S2, S3 y S4. B: UC, en mm, bajo tres tratamientos de barbechos: compost, cultivo de cobertura con nivel tecnológico medio (CCM) y cultivo de cobertura con nivel tecnológico alto (CCA). Medias seguidas por la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($p > 0,05$). Los valores corresponden a las medias \pm error estándar.

presentó diferencias significativas entre los tratamientos con compost y con CC ($F = 7,68$; g.l. error = 173; $p = 0,501$), cuyo promedio fue de $86,02 \pm 5,37$ mm (Figuras 6A y 6B). No hubo interacción significativa entre los factores ($F = 1,70$; g.l. error = 173; $p = 0,093$).

La biomasa aportada por el cultivo de cobertura resultó en promedio de $3.397,91 \pm 265,07$ kg/ha y presentó diferencias estadísticamente significativas entre secuencias ($F = 3,11$; g.l. error = 21; $p = 0,048$), siendo mayor en S4 ($4016 \pm 511,81$ kg/ha) y menor en S1 ($2937 \pm 239,21$ kg/ha), mostrando

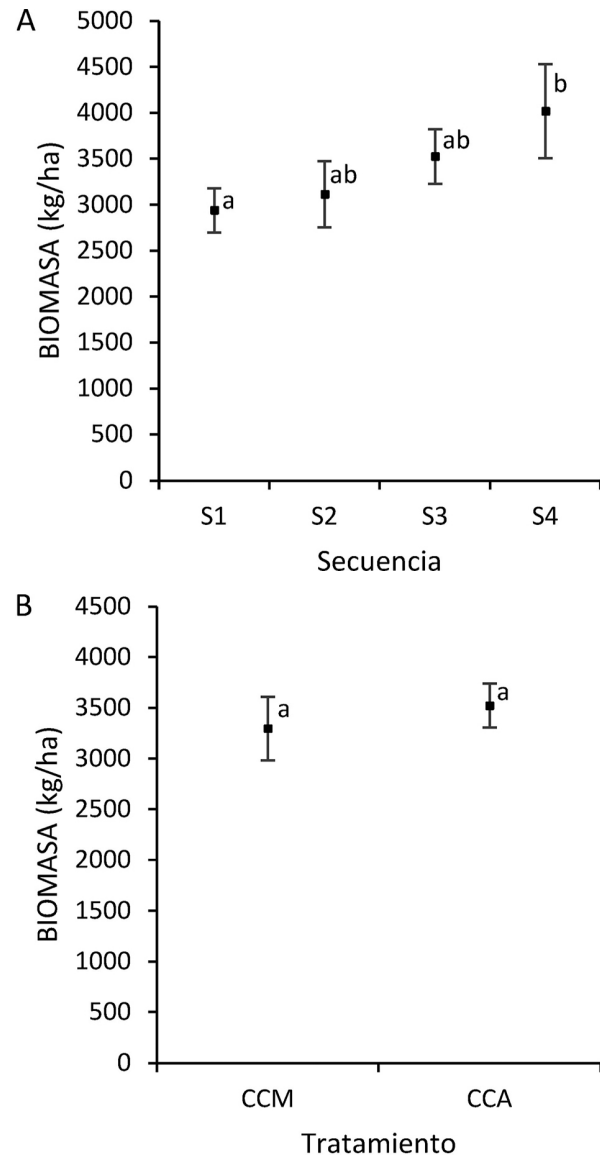


Figura 7. A: Biomasa del cultivo de cobertura, en kg/ha, bajo cuatro secuencias de cultivos: S1, S2, S3 y S4. B: biomasa del cultivo de cobertura, en kg/ha, bajo dos tratamientos de barbechos: cultivo de cobertura con nivel tecnológico medio (CCM) y cultivo de cobertura con nivel tecnológico alto (CCA). Medias seguidas por la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($p > 0,05$). Los valores corresponden a las medias \pm error estándar.

un comportamiento intermedio en S2 y S3 (Figura 7A). Si bien no presentó diferencia significativa para los niveles de tecnología ($F = 1,02$; g.l. error = 21; $p = 0,325$), tendió a ser mayor en el NTA con un valor de $3522,64 \pm 215,63$ kg/ha, y para NTM $3295,56 \pm 314,80$ kg/ha (Figura 7B). No hubo interacción significativa entre los factores ($F = 2,79$; g.l. error = 21; $p = 0,066$).

La EUA del CC resultó significativamente mayor en CCA ($48,46 \pm 5,57$ kg MS/mm) ($F = 2,78$; g.l. error = 21; $p = 0,037$) (Figura 8).

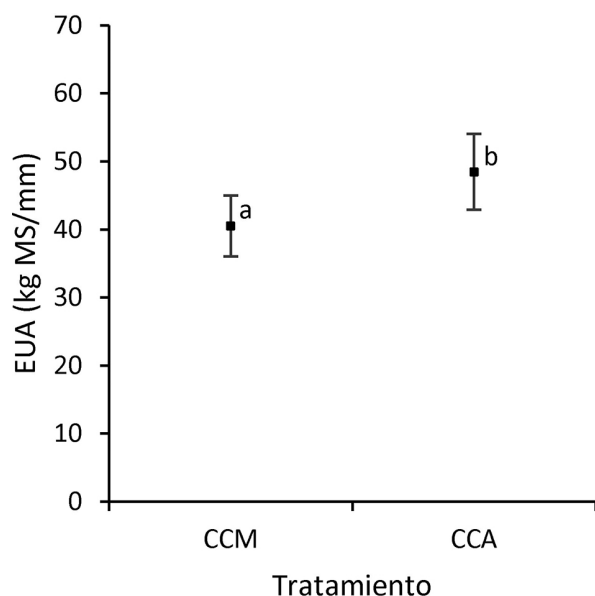


Figura 8. Eficiencia de uso del agua del cultivo de cobertura (EUA), en kg MS/mm, con nivel tecnológico medio (CCM) y con nivel tecnológico alto (CCA). Medias seguidas por letras diferentes difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($p < 0,05$). Los valores corresponden a las medias \pm error estándar.

Discusión

El uso de manejos alternativos, como compost y cultivos de cobertura en los barbechos en los actuales sistemas de producción, constituyen una herramienta para mejorar la eficiencia de uso de los recursos (energía, agua, nutrientes), a la vez que proveen beneficios tales como atenuar procesos erosivos, recuperar materia orgánica, reciclar nutrientes, mejorar la condición física del suelo y disminuir la presión de malezas (Kruger y Quiroga, 2012).

En el presente trabajo se encontró, para las condiciones climáticas de la zona durante el barbecho entre la soja 2° y el maíz, que la utilización de compost y cultivo de cobertura conservaron más agua útil respecto al manejo tradicional, para el cultivo sucesor. En general, los compostajes suelen ejercer acciones positivas sobre un variado conjunto de propiedades, principalmente porque mejoran el contenido y la calidad de la materia orgánica del suelo, al mismo tiempo que mejoran la condición física de las tierras, al disminuir la densidad aparente y al aumentar la porosidad total, la macroporosidad, la estabilidad de los agregados y la capacidad de almacenaje de agua del suelo (Moreno Sánchez *et al.*, 2012). Efecto, este último, que ha sido corroborado en nuestros resultados.

Según la región y el tiempo que existe entre el secado y la siembra del próximo cultivo, la bibliografía indica que puede haber mayor humedad en el suelo acumulada a causa del cultivo de cobertura. Para Basanta *et al.* (2016), los cultivos de cobertura tienen como objetivos frenar la alta evaporación, que es un factor principal de pérdida de agua en un lote, y reasignar el agua que potencialmente se podría evaporar al flujo transpiratorio de las plantas. O contrariamente, puede tener un costo hídrico por la transpiración del cultivo en crecimiento que luego genera menor disponibilidad de agua (Alvarez y Scianca, 2006; Baigorria y Cazorla, 2010; Bertolla *et al.*, 2013).

Por otro lado, Restovich y Andriulo (2013) consideran que diferentes especies utilizadas como cultivos de cobertura invernales permiten aumentar el período de ocupación del suelo mejorando la eficiencia de uso del agua y realizando, además, un importante aporte de residuos al sistema (Villamil *et al.*, 2006; Basanta *et al.*, 2013). En este ensayo el aporte de residuos del CC fue modificado por la secuencia de cultivos, siendo mayor en la secuencia S4, siguiéndole en orden decreciente S2, S3 y S1. Esto, muy probablemente, estuvo asociado a la menor extracción de nutrientes en S4, debido a su bajo índice de cosecha en el año precedente (Voisin, 2016; Voisin *et al.*, 2016) y, por ende, una mayor disponibilidad de los mismos para el cultivo de cobertura. A su vez la mayor producción de biomasa del CC en S4 estuvo asociada a su mayor UC y menor AUF. Considerando el nivel tecnológico, el CC resultó con mayor volumen de residuos en el NTA, lo que implicó una mejora en la EUA. Estos resultados son concordantes con los hallados por Baigorria y Cazorla (2010), para el mismo CC, sobre un suelo *Argiudol típico* en la provincia de Córdoba bajo condiciones de buena disponibilidad hídrica.

Conclusiones

Para las condiciones del ensayo, los barbechos con residuos orgánicos y cultivos de cobertura aumentan el agua útil disponible para el cultivo sucesor respecto al uso de barbecho químico.

El cultivo de cobertura aporta diferente cantidad de biomasa de acuerdo a la secuencia de cultivos en que se insertan y el nivel tecnológico utilizado.

Referencias bibliográficas

- Álvarez C., Scianca C. (2006). Cultivos de cobertura en Molisoles de la Región Pampeana. Aporte de carbono e influencia sobre las propiedades edáficas. Jornada Profesional Agrícola, EEA INTA General Villegas. En: <http://agrolluvia.com/wp-content/uploads/2009/10/2-gral-villegas-cultivos-de-cobertura-en-molisoles-de-la-region-pampeana-aporte-de-carbono-e-influencia-sobre-prop-edaficas.pdf>, consulta: marzo 2017.
- Baigorria T., Cazorla C. (2010). Eficiencia del uso del agua por especies utilizadas como cultivos de cobertura. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 31 de mayo-4 de junio, Rosario, Argentina. En: <http://agrolluvia.com/wp-content/uploads/2011/06/EFICIENCIA-DEL-USO-DEL-AGUA-POR-ESPECIES-UTILIZADAS-COMO-CULTIVOS-DE-COBERTURA.pdf>, consulta: marzo 2017.
- Basanta M., Álvarez C., Giubergia J.P., Lovera E. (2013). Cultivos de cobertura en sistemas de agricultura continua en la región central de Córdoba. En: Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción. De Álvarez C., Quiroga A., Santos D., Bodrero M. (Eds.). INTA EEA Anguil, Argentina. Pp. 50-57.
- Basanta M., Giubergia J.P., Lovera E., Alvarez C., Martelotto E., Curto E., Viglianco A. (2008). Manejo del barbecho invernal y su influencia en la disponibilidad hídrica para el cultivo estival en un Haplustol de la Región Central de Córdoba. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 13-16 de mayo, San Luis, Argentina. Disponible en DVD. Pp 353.
- Basanta M., Perrone J., Giordano E. (2016). Evaluación de especies de cultivos de cobertura en INTA Rafaela. Resultados 2015. En: Información Técnica de trigo y otros cultivos de invierno, campaña 2016. Publicación Miscelanea INTA EEA Rafaela 131: 75-82.
- Bertolla A., Baigorria T., Gómez D., Cazorla C., Cagliero M., Lardone A., Bojanich M., Aimetta B. (2013). Bases para el manejo de vicia como antecedente del cultivo de maíz. Contribuciones de los cultivos de coberturas a la sostenibilidad de los sistemas de producción. En: Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción. De Álvarez C., Quiroga A., Santos D., Bodrero M. (Eds.). INTA EEA Anguil, Argentina. Pp. 158-164.
- Biolur (2013). Asociación para el fomento de la agricultura ecológica en Guipúzcoa. En: <http://www.ecoagricultor.com/foro/topic/biolur/>, consulta: marzo 2017.
- Caviglia O.P., Andrade F.H. (2010). Sustainable Intensification of Agriculture in the Argentinean Pampas. Capture and Use Efficiency of Environmental Resources. *The Americas Journal of Plant Science and Biotechnology* 3 (Special Issue 1): 1-8.
- Ceamse (2016). Residuos sólidos urbanos generados en la ciudad de La Plata. En: <http://www.ceamse.gov.ar>, consulta: marzo 2017.
- Etchegoyen J. (2011). Evaluación de la aptitud de los suelos para el cultivo de soja. Partido de Magdalena, Pcia de Buenos Aires. 1ra aproximación. Trabajo final de Carrera Ingeniería Agronómica, Universidad Nacional de la Plata.
- Flores C.C., Sarandón S.J. (2003). ¿Racionalidad económica versus sustentabilidad ecológica? El ejemplo del costo oculto de la pérdida de fertilidad del suelo durante el proceso de Agriculturización en la Región Pampeana Argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata* 105 (1): 52-67.
- Franco R., Panichielli D. (2013). Conceptos básicos para definir estrategias del manejo de efluente porcino. Sección porcina, aviar y feedlot, tercer panel. EEA Marcos Juárez – INTA. 1º Jornada Nacional de Gestión de Residuos Agropecuarios. 7 de noviembre, Rafaela. Argentina.
- Ghersa C.M. (2005). El cultivo de soja como motor de cambio en el agro pampeano. Congreso Mundo Soja. 23-24 de junio, Buenos Aires, Argentina. Pp. 15-22.
- Golabi Mohammad H., Denney M. J., Iyekar C. (2004). Use of composted organic wastes as alternative to synthetic fertilizers for enhancing crop productivity and agricultural sustainability on the tropical island of guam. 13th International Soil Conservation Organisation Conference. 4-8 de Julio, Brisbane, Australia. Conserving Soil and Water for Society: Sharing Solutions Paper No. 234.
- InfoStat (2017). Software estadístico InfoStat versión 2017, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. En: www.infostat.com.ar, consulta: setiembre 2017.
- INTA (2014). INTA informa, Año XIII. Nro 146. Agosto de 2014. En: http://intainforma.inta.gov.ar/wp-content/uploads/2014/08/146_bioenergia.pdf, consulta: setiembre 2017.
- Kruger H., Quiroga A. (2012). La “interfase suelo-atmósfera” y su valor estratégico en regiones semiáridas. En: Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción. De Álvarez C., Quiroga A., Santos D., Bodrero M. (Eds.). INTA EEA Anguil, Argentina. Pp. 5-6.
- Mengo R. (2008). República Argentina: Impacto social, ambiental y productivo de la expansión sojera. En: <http://www.ecoportel.net/content/view/full/76397>, consulta: mayo 2011.
- Moreno Sánchez J.I., Albadalejo Montoro J., Gracia Fernández J.J. (2012). Efectos de los compost sobre las propiedades del suelo: evaluación comparativa de compost con separación en origen y sin separación en origen. Universidad Politécnica de Cartagena, España.
- Pengue W. (2001). Impactos de la expansión de la soja en Argentina. Globalización, desarrollo agropecuario

- e ingeniería genética: un modelo para armar. *Biodiversidad* 29: 7-14. En: <http://www.axel.org.ar/articulos/nutricion/soja/pengue.pdf>, consulta: mayo 2011.
- Restovich S., Andriulo A. (2013). Cultivos de cobertura en la rotación soja-maíz: biomasa aérea, captura de nitrógeno, consumo de agua y efecto sobre el rendimiento en grano. En: *Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción*. De Álvarez C., Quiroga A., Santos D., Bodrero M. (Eds.). INTA EEA Anguil, Argentina. Pp. 29-35.
- Richard L.A. (1948). Porous plate apparatus for measuring moisture retention and transmission by soil. *Soil Science* 66: 105-110.
- Stamatti G., De Carli R. (2013). Modalidad de uso del estiércol de la producción avícola, en la zona de Crespo Entre Ríos. Sección porcina, aviar y feedlot, segundo panel. EEA Rafaela – INTA. 1° Jornada Nacional de Gestión de Residuos Agropecuarios. 7 de noviembre, Rafaela, Argentina.
- Taverna M. (2013). Presentación de alternativas de manejo y de tratamiento de efluentes de tambo. Sección lechería, primer panel. EEA Rafaela – INTA. 1° Jornada Nacional de Gestión de Residuos Agropecuarios. 7 de noviembre, Rafaela, Argentina.
- Tortosa, G. (2011). Materia orgánica en agricultura y los residuos orgánicos. En: <file:///E:/Proyecto%20Doctorado/Materia%20org%C3%A1nica%20en%20agricultura%20y%20los%20residuos%20org%C3%A1nicos%20-%20Compostando%20Ciencia.html>, consulta: agosto 2015.
- Villamil M.B., Bollero G.A., Darmody R.G., Simmons F.W., Bullock D.G. (2006). No-Till corn/soybean systems including winter cover crops: Effects on soil properties. *Soil Science Society of America* 70: 1936-1944.
- Voisin A. (2016). Extracción y balance de nutrientes para el cultivo de trigo y para distintas secuencias en el área de influencia de la Facultad de ciencias agrarias y forestales. Trabajo final de grado, Facultad de ciencias agrarias y forestales, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina. En: <http://hdl.handle.net/10915/56783>, consulta: setiembre 2017.
- Voisin A., Novillo B., Chamorro A., Bezus R., Pellegrini A., Golik S. (2016). Extracción y balance de nutrientes para trigo y distintas secuencias de cultivos en el área de influencia de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP. VIII Congreso Nacional de Trigo VI Simposio de Cereales de siembra Otoño- Invernal. II Reunión del Mercosur. 14 -16 de septiembre, Pergamino, Argentina. En: https://digital.cic.gba.gov.ar/bitstream/handle/11746/5777/11746_5777.pdf-PDFA.pdf?sequence=2&isAllowed=y, consulta: octubre 2017.