

Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales.

Universidad Nacional de La Plata.



Trabajo final de carrera Ingeniería Agronómica.

Efecto de diferentes estrategias de barbecho sobre la disponibilidad de nutrientes y de agua para el cultivo sucesor en distintas rotaciones

Alumno: Guillermo Damián Peyrón

Nº de Legajo: 26925/0

DNI: 37245202

Dirección de correo electrónico: guille.unlp@gmail.com

Teléfono: 2227499139

Director: Ing. Agr. Andrea E. Pellegrini

Co - Director: Dra, Ing Agr. Silvina Golik

Fecha de entrega: Mayo 2018

Índice	
Resumen	3
Introducción	4
Hipótesis y objetivos	7
Materiales y métodos	7
Resultados y discusión	9
Conclusión	20
Bibliografía	21

Resumen

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de diferentes estrategias de barbecho sobre algunos nutrientes del suelo y el agua útil disponible para el cultivo sucesor. El ensayo se llevó a cabo sobre un suelo *Argiudol típico*, sobre distintas secuencias agrícolas (S): 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. Las secuencias se manejan bajo dos formas de producción: nivel tecnológico medio (NTM) y nivel tecnológico alto (NTA). En 2016, sobre el NTM se realizaron tres tipos de barbechos, entre la cosecha de la soja 2º (21/4) y la siembra del maíz (4/11): barbecho químico o tradicional; aplicación de compost e inclusión de cultivos de cobertura (CCM). Sobre el NTA se realizó cultivo de cobertura (CCA). Antes y después de dichos barbechos se determinó el contenido de fósforo extractable (P) en ppm, N total (Nt) en %, Carbono orgánico (CO) en % y desde el aspecto hídrico, la humedad inicial (Hi), humedad final (Hf), agua útil inicial (AUi), y el agua útil al final (AUf). También, se determinó el uso consuntivo (UC) del cultivo de cobertura (CC), del barbecho químico (BQ) y sobre suelo con 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 final del ciclo de los CC. El P presentó una diferencia a favor del compost de aproximadamente 20 ppm respecto a las demás alternativas de barbechos. El Nt y el CO del compost se diferenciaron estadísticamente del CCM, mientras que el CCA y el BQ tuvieron un comportamiento intermedio. El AUf aumento aproximadamente 40 mm, considerando los manejos alternativos respecto al barbecho químico.

Introducción

Los efectos de la expansión de la soja en Argentina y de su modelo productivo, relacionados con el creciente deterioro ambiental, la fuerte concentración económica y la exclusión social, han sido ampliamente documentados (Flores y Sarandón, 2003; Pengue, 2001; Ghera, 2005; Mengo, 2008). La eficiencia productiva de la soja se basa en la sobreexplotación de la fertilidad que ofrece la Pampa Húmeda, paralelamente se producen otros problemas como compactación, pérdida de fertilidad y estructura del suelo, encostramiento superficial, impactos sobre la biodiversidad, afectación del acuífero y problemas de inundaciones (Mengo, 2008). Si bien este cultivo es el más rentable y de mayor retorno por capital invertido, a largo plazo la sojización no es la mejor alternativa ya que se contrapone con un desarrollo agropecuario sustentable. En los sistemas de agricultura continua de la Región Pampeana prevalecen los cultivos de verano (Caviglia y Andrade, 2010), por lo tanto, la mayor parte de los suelos bajo agricultura se encuentran en barbecho durante el otoño y el invierno. Como los cultivos estivales (principalmente soja y maíz) se cosechan entre marzo – mayo, y la siembra del próximo cultivo ocurre entre septiembre y diciembre, el período de barbecho se extiende entre 5 y 9 meses, siendo lo más frecuente una duración de 7 a 8 meses (Basanta *et al.*, 2008).

Entre las alternativas para atenuar los efectos de monocultura sojera esta incrementar la eficiencia de prácticas convencionales como el barbecho, el uso de residuos orgánicos o cultivos de cobertura y reducir el uso de insumos costosos o nocivos (fertilizantes químicos). Las actividades de la moderna sociedad de consumo, el crecimiento demográfico y el desarrollo industrial, determinan un aumento incesante en la generación de residuos. Se estima que la producción mundial de estiércol procedente de la ganadería está cercana a 12.193 millones de toneladas (Tortosa, 2011). En el caso de los residuos agrícolas, se estima que de los 1,6 billones de toneladas de materia orgánica exógena que se producen al año en la Unión Europea, 415 millones corresponden a residuos agrícolas siendo los correspondientes al trigo, cebada y maíz los que generan mayor cantidad de residuos de esta naturaleza. La industria alimentaria es uno de los sectores más grandes en Europa

estimándose en cerca de 222 millones de toneladas anuales la producción de residuos agroindustriales, la mayor parte de naturaleza biodegradable (Tortosa, 2011). A nivel local, se hace necesario el estudio de los distintos sustratos disponibles y sus posibles mezclas con diferentes características y su posterior efecto en el suelo. En el partido de La Plata se producen 750 t.día^{-1} de residuos, 375 t potenciales de compost por día, equivalente a $136000 \text{ t.año}^{-1}$ (Ceamse, 2016). Sumado a ello se encuentra en nuestra ciudad la intensa actividad hípica (con una elevada producción de estiércol de equino) y diversos establecimientos avícolas que pueden proveer materias primas para compostar para su uso en la agricultura extensiva.

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 (CC) en la rotación. Distintos objetivos pueden llevar a incorporar cultivos de cobertura: la inclusión de un CC de crecimiento otoño-invernal en una secuencia basada en cultivos de renta estivales, reduce la duración del barbecho mejorando la eficiencia del uso de los recursos (nutrientes, radiación y agua) en el sistema suelo-cultivo, lo que se traduce en mayor aporte de Carbono al suelo, con aumento de la materia orgánica (Basanta *et al.*, 2012; Villamil *et al.*, 2006) y de su fracción joven (Salvagiotti *et al.*, 2012; Galarza *et al.*, 2010, Basanta *et al.*; 2010). En experimentos de largo plazo conducidos en Córdoba (Basanta y Álvarez, 2015), Santa Fe (Duval *et al.*, 2015) y Buenos Aires (Martínez *et al.*, 2013), se observó que la inclusión de una gramínea como CC en un sistema de monocultivo de soja mejora significativamente los aportes de residuos vegetales y los niveles de carbono orgánico del suelo (CO). A través de la mineralización de los tejidos del CC se reciclan los nutrientes en el sistema y, a diferentes tasas, éstos son liberados al suelo quedando disponibles para el cultivo siguiente. En el país, varios trabajos han estudiado las tasa de descomposición de los residuos de distintos CC y la liberación de C, N y P (Restovich *et al.*, 2011; Scianca *et al.*, 2013; Fernández *et al.*, 2012). Es particularmente importante la función de los CC en la retención del nitrógeno con la consecuente disminución de las pérdidas por lixiviación. Así el CC disminuye la cantidad de nitratos residuales (Kessavalou y Walters, 1999), susceptibles

de ser lixiviados principalmente durante los barbechos demasiado prolongados. La cobertura generada por los CC tiene un efecto protector sobre el suelo ya que reduce la ruptura de los agregados por el impacto de la gota de lluvia y el posterior proceso de dispersión de partículas y oclusión de los macroporos, además de favorecer la biota, contribuyendo a la generación de bioporos estables (Álvarez *et al.*, 2008). Además las raíces generan un entramado que consolida la estructura porosa del suelo. Así, los CC constituyen una herramienta para incrementar el periodo con presencia de raíces vivas y mejorar la estabilidad estructural. De esta manera, se mitiga la degradación física, debida principalmente a la pérdida de macroporosidad, provocada por el tránsito de maquinarias y el pisoteo animal que ocurre muy frecuentemente en sistemas agrícolas y mixtos bajo siembra directa (Álvarez & Fernández, 2015). Además, los cultivos de cobertura pueden atenuar las pérdidas de suelo por erosión eólica e hídrica; disminuir la presión de las malezas y el uso de herbicidas; mejorar la captación de agua y reducir el encharcamiento y/o encostramiento; mejorar la transitabilidad; reducir los riesgos de salinización por ascenso capilar desde las napas; reducir la evaporación incrementando la eficiencia de conservación y disponibilidad de agua en el perfil; disminuir la susceptibilidad a la compactación favoreciendo la resiliencia del subsistema suelo. Dependiendo de su manejo es posible sincronizar mejor la oferta de nutrientes para los cultivos sucesores; 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 UNLP es amplia, abarcando varios partidos que no quedan exentos de la problemática planteada, principalmente 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), superficie equivalente a unas 73.000 hectáreas, lo cual da una idea de las posibilidades de crecimiento de este cultivo en el Partido. Todo indica que el avance de la soja en el Partido de Magdalena es inevitable. 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.

Hipótesis

1. Los barbechos con residuos orgánicos o cultivos de cobertura, alternativas del barbecho químico, modifican la cantidad de nutrientes disponibles para el cultivo sucesor.
2. Los barbechos con residuos orgánicos o cultivos de cobertura, alternativas del barbecho químico, modifican el agua útil disponible para el cultivo sucesor.

Objetivo general. Evaluar el efecto de diferentes estrategias de barbecho sobre algunos nutrientes del suelo y el agua útil disponible para el cultivo sucesor.

Objetivos específicos

- Analizar el efecto de las diferentes estrategias de barbecho interpretando los valores de carbono orgánico (CO, %), nitrógeno total (Nt, %) y fósforo extractable (P, ppm).
- Analizar el efecto de las diferentes estrategias de barbecho sobre la humedad gravimétrica.

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 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, (S1: T/S2º-M-S-T; S2: Ceb/S2º-M-S-T; S3: A/S2º-M-G-T; S4: Col/S2º-M-Sor-T). Estas secuencias se manejan 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 aquel que utilizan los productores que habitualmente obtienen mayores rendimientos en sus cosechas, que implica generalmente mayor fertilización. Ambos manejos fueron conocidos a través de entrevistas a técnicos y productores locales.

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

En 2016 sobre el NTM se realizaron tres tipos de barbechos, durante el tiempo transcurrido entre la cosecha de la soja 2º (21 de abril) y la siembra del maíz (4 de noviembre): barbecho químico o tradicional (BQ): es el manejo habitualmente realizado por los productores de la zona; aplicación de compost (a partir cama de pollos parrilleros estabilizada) e inclusión de cultivos de cobertura (CCM).

Debido al reducido tamaño de las parcelas el compost se aplicó en forma manual, el 6 de junio del 2016. De acuerdo a los datos existentes en la bibliografía (Biolur 2013; Golabi *et al.*, 2004; Sarwar *et al.*, 2007), según tipo de suelo (*Argiudol típico*), para cultivos extensivos y tipo de compost se utilizó 20 t.ha⁻¹, lo que implicó 2 kg.m²⁻¹.

Sobre el NTA se realizó cultivo de cobertura (CCA).

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⁻¹ de la gramínea y 20 kg.ha⁻¹ de la leguminosa. El secado se realizó con glifosato, aplicado el 8 de octubre, a una dosis de 1,4 l.ha⁻¹.

Se analizaron las condiciones climáticas respecto a lluvias del año 2016 y las históricas, entre el año 1966 y 2016, con el boletín Agrometeorológico de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Estación Experimental Ing.Agr. J.Hirschhorn (Pardi 2016).

Se determinó: Carbono total, método de Walkley – Black modificado; nitrógeno total por digestión húmeda y destilación Kjeldahl (PROMAR, 1991) y fósforo extraíble (Bray Kurtz 1 modificado, IRAM-SAGyP 29570-1, 2010) a muestras compuestas, de 6 submuestras, de 0-20 cm antes de los barbechos y posterior a ellos.

La cama de pollo agregada poseía: 2% de Nitrógeno total, 180 ppm de fósforo disponible y 38 % de materia orgánica.

También se tomaron muestras de suelo al inicio y fin del periodo de barbecho en cada uno de los tratamientos con el fin de determinar: disponibilidad hídrica antes y después de cada

estrategia de barbecho (H_i y H_f , respectivamente), por el método gravimétrico. A partir de ello se realizó el cálculo el agua útil inicial (AUi), considerando el punto de marchitez permanente (PMP) determinado por el método olla de Richard (Richard, 1948), la densidad del suelo determinada por el método del cilindro, la profundidad muestreada y el agua útil al final (AUf) de las estrategias de barbecho. Se determinó el uso consuntivo (UC) del CC, del barbecho químico (BQ) y del compost, mediante la suma del contenido hídrico del suelo al momento de la siembra y colocación del compost, las precipitaciones ocurridas durante el ciclo del CC, a la cual se le restó el contenido hídrico del suelo al momento de finalizar el ciclo de los CC.

Los datos obtenidos se procesaron a través del análisis de la varianza usando la prueba de Tukey ($p < 0,05$) para la comparación de medias y el software estadístico InfoStat. Se analizaron los factores principales y sus interacciones para todas las variables consideradas.

Resultados y discusión

Las precipitaciones durante el barbecho fueron de 290 mm. Los meses de julio y octubre superaron las precipitaciones históricas. 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).

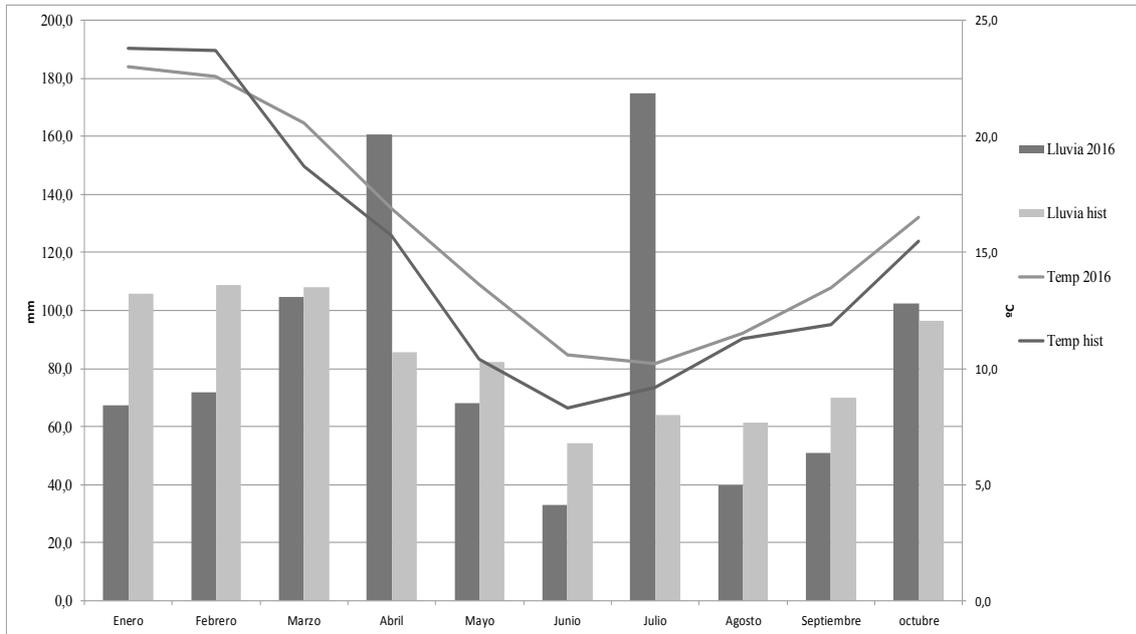


Figura 1. Datos de temperaturas y precipitaciones del 2016 e histórico 1966-2016, Estación Experimental J. Hirschhorn, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (UNLP).

Contenido de P, N, y CO, en el suelo, para los tratamientos de barbechos

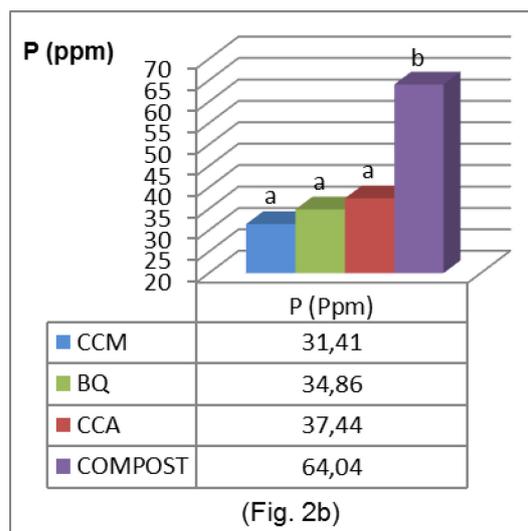
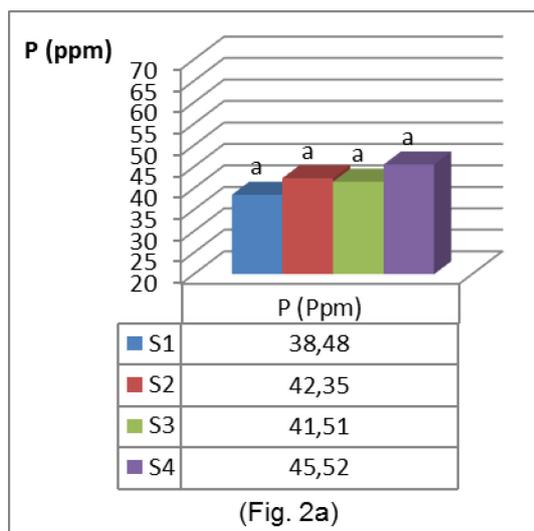
El contenido de P (ppm), % de Nt y % CO, previo a los tratamientos de barbechos no se diferenciaron significativamente entre secuencias, ni entre niveles de tecnología (Tabla 1). No se manifestó interacción.

Tabla 1. Contenido de Fósforo (P), Nitrógeno total (Nt) y carbono orgánico (CO), en el suelo previo a la realización de los barbechos para las secuencias: S1: T/S2°-M-S-T; S2: Ceb/S2°-M-S-T; S3: A/S2°-M-G-T; S4: Col/S2°-M-Sor-T y NTM: nivel tecnológico medio; NTA: nivel tecnológico alto.

Medias seguidas por la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

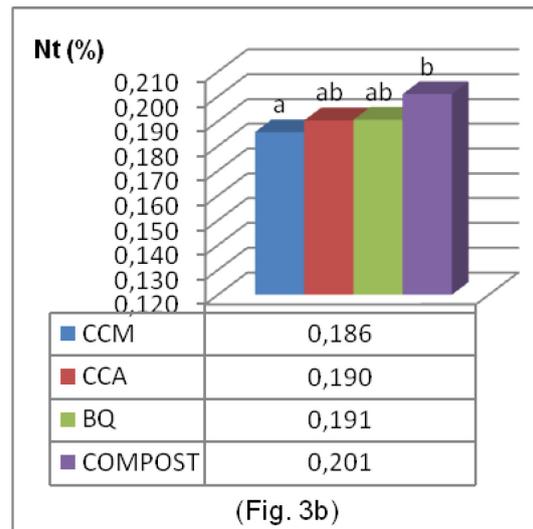
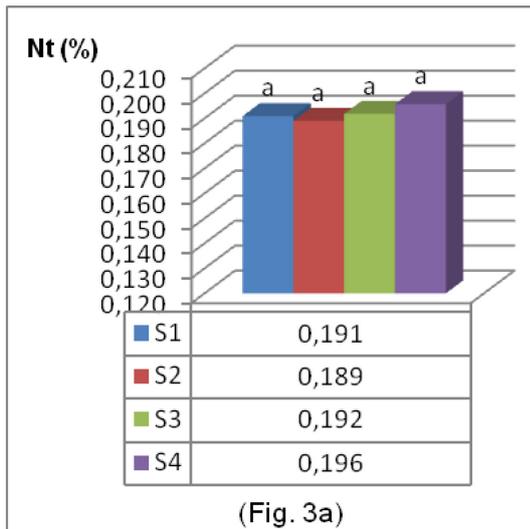
TRATAMIENTO	P (ppm)	Nt (%)	CO (%)
Secuencias			
S1	37,5 a	0,206 a	1,96 a
S2	38,3 a	0,220 a	1,98 a
S3	43,8 a	0,227 a	2,00 a
S4	40,0 a	0,220 a	2,03 a
Tecnología			
NTM	37,6 a	0,217 a	1,98 a
NTA	41,0 a	0,222 a	2,00 a

Para los análisis post barbechos, el contenido de P no presentó diferencias significativas para las secuencias, pero sí para los tratamientos de barbechos. En los barbechos el mayor valor fue para el compost que se diferenció estadísticamente respecto al barbecho químico (BQ), CCM y CCA (Figura 2b). Este resultado es concordante con lo hallado por Flores (2007) quien observó que el efecto más importante del agregado de cama de pollo fue sobre el contenido de fósforo disponible. Igual resultado encontraron De Battista & Arias (2010) quienes indican que el contenido de este nutriente fue el único parámetro afectado por el agregado de cama de pollo aumentando en forma proporcional a las dosis.



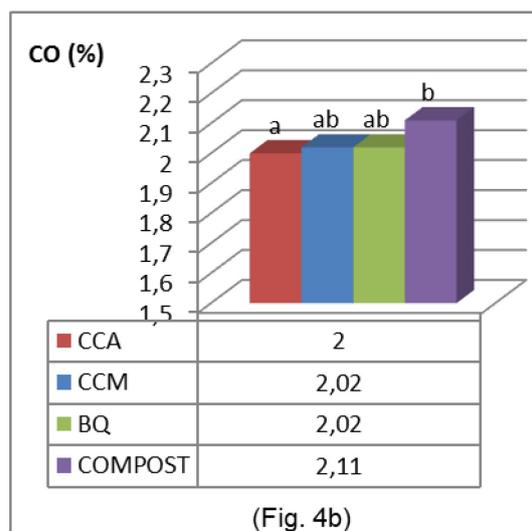
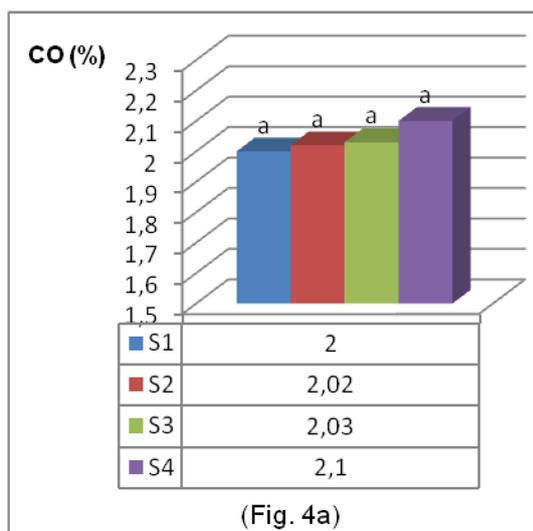
Figuras: 2a. Contenido de P (ppm) post barbecho, para cuatro secuencias de cultivos: S1: T/S2°-M-S-T; S2: Ceb/S2°-M-S-T; S3: A/S2°-M-G-T; S4: Col/S2°-M-Sor-T. 2b: Contenido de P (ppm) post barbecho, sobre: barbecho químico (BQ), compost, cultivo de cobertura con nivel tecnológico medio (CCM) y cultivo de cobertura con nivel tecnológico alto (CCA). Medias seguidas por la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($P < 0,05$).

El porcentaje de Nt no presentó diferencias significativas para las secuencias, pero si para los tratamientos de barbechos. En los barbechos el mayor valor fue para el compost que se diferenció estadísticamente respecto a CCM (Figura 3b). El barbecho químico y el CCA obtuvieron valores intermedios y no se diferenciaron estadísticamente ni con el compost, ni con el CCM. Estos resultados podrían estar relacionados por las apreciaciones de Vanzolini et al. (2013), quienes manifestaron que el aporte de N de los residuos de los CC al N del suelo puede ser un dato variable según las condiciones meteorológicas del año de experimentación, pudiendo verse afectado por la temperatura y la humedad de los meses previos al secado.



Figuras: 3a. Contenido de N (%) post barbecho, para cuatro secuencias de cultivos: S1: T/S2°-M-S-T; S2: Ceb/S2°-M-S-T; S3: A/S2°-M-G-T; S4: Col/S2°-M-Sor-T. 3b: Contenido de Nt (%) post barbecho, sobre barbecho químico (BQ), 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 ($p < 0,05$).

El porcentaje de CO, no presentó diferencias significativas para las secuencias, pero si para los tratamientos de barbecho. El mayor contenido de carbono se determinó con el compost, que se diferenció estadísticamente solo del CCA. Este resultado es análogo a lo encontrado por Gracia Fernández (2012) quien expone que los compostajes suelen ejercer acciones positivas principalmente porque mejoran el contenido de carbono orgánico del suelo. El barbecho químico y CCM obtuvieron valores intermedios, sin diferencias significativas con los demás tipos de barbechos (Figura 4b). Resultados similares encontraron Restovich et al. (2011) quienes señalaron que la rotación soja-maíz que incluyó avena-vicia como CC no se diferenció del testigo respecto al stock de CO. Duval et al., (2016) informaron aumentos en los contenidos superficiales de CO (0-20 cm) luego de seis años de aportes por los cultivos de cobertura.

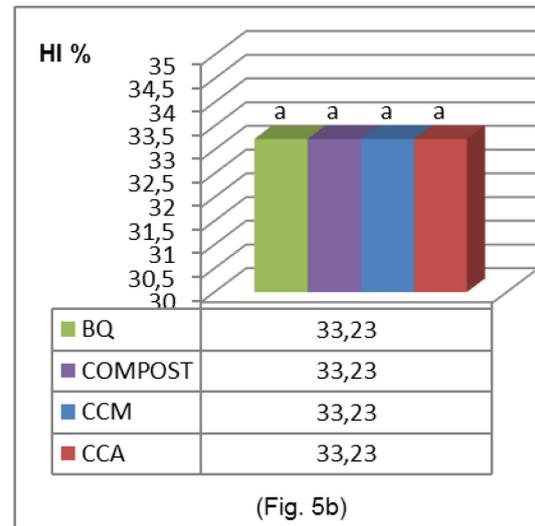
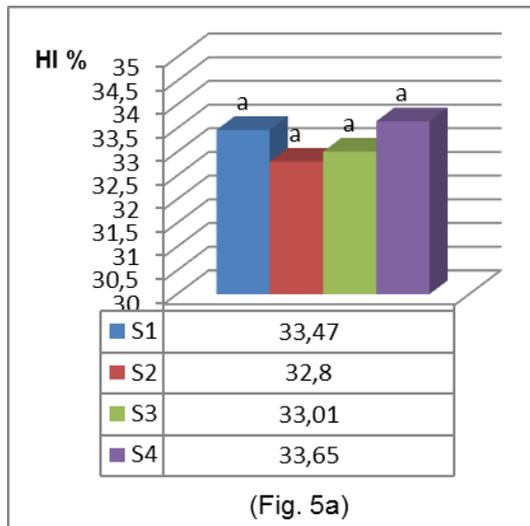


Figuras: 4a: contenido de CO (%) post barbecho, para cuatro secuencias de cultivos: S1: T/S2°-M-S-T; S2: Ceb/S2°-M-S-T; S3: A/S2°-M-G-T; S4: Col/S2°-M-Sor-T. 4b: Contenido de CO (%) post barbecho, bajo: barbecho químico (BQ), compost, cultivo de cobertura con nivel tecnológico medio (CCM) y cultivo de cobertura con nivel tecnológico alto (CCA). Medias seguidas por la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($P < 0,05$).

Los niveles de nitrógeno total, fósforo y de carbono orgánico aumentaron cuando se utilizó la aplicación de compost, con respecto a los valores de barbecho químico y los CC. Similares resultados fueron encontrados por Gracia Fernández (2012) cuando observó aumentos en los contenidos de nitrógeno, fósforo y carbono orgánico al aplicar dosis de 15 t ha⁻¹ y 25 t ha⁻¹ de compost al suelo.

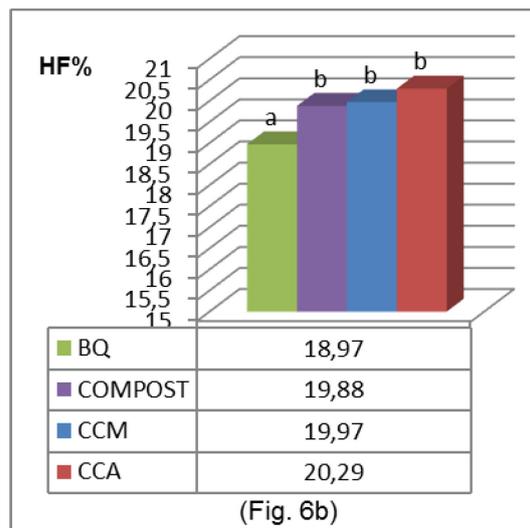
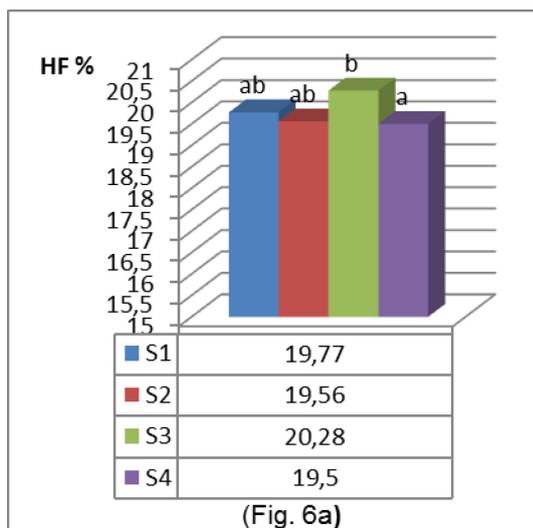
Contenido hídrico en el suelo para los tratamientos de barbechos.

No hubo interacciones para las variables consideradas. La humedad inicial no presentó diferencias significativas para las secuencias, ni para los tratamientos de barbechos. (Figura 5a y b).



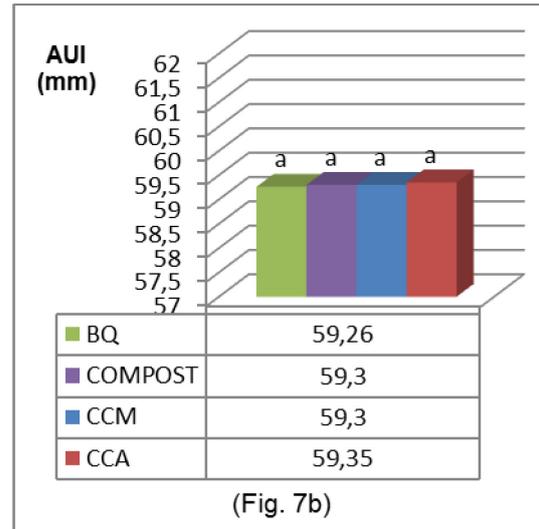
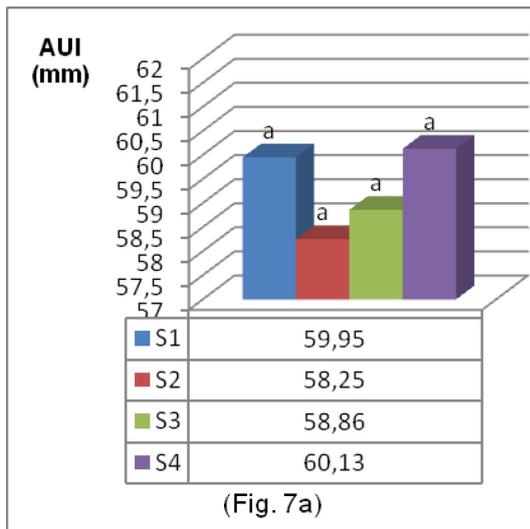
Figuras: 5a: Humedad inicial, bajo cuatro secuencias de cultivos: S1: T/S2°-M-S-T; S2: Ceb/S2°-M-S-T; S3: A/S2°-M-G-T; S4: Col/S2°-M-Sor-T. 5b: Humedad inicial bajo barbecho químico (BQ), compost, cultivo de cobertura con nivel tecnológico medio (CCM) y cultivo de cobertura con nivel tecnológico alto (CCA). Medias seguidas por la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($P < 0,05$).

La humedad final presentó diferencias significativas para las secuencias y los tratamientos de barbechos. Su mayor valor fue en S3 y su menor valor en S4, mostrando valores intermedios en S1 y S2 (Figura 6a). Respecto a los tratamientos de barbechos, la humedad final resultó menor en el barbecho químico (BQ) y mayor en los otros tratamientos: compost, CCM y CCA (Figura 6b).



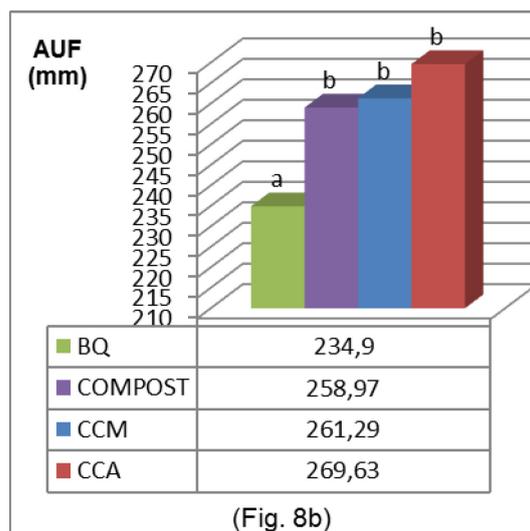
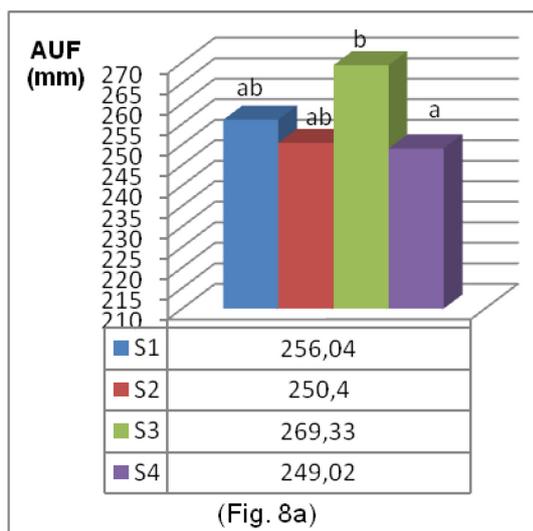
Figuras: 6a: Humedad final, en %, bajo cuatro secuencias de cultivos: S1: T/S2°-M-S-T; S2: Ceb/S2°-M-S-T; S3: A/S2°-M-G-T; S4: Col/S2°-M-Sor-T. 6b: Humedad final bajo barbecho químico (BQ), compost, cultivo de cobertura con nivel tecnológico medio (CCM) y cultivo de cobertura con nivel tecnológico alto (CCA). Medias seguidas por la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

El agua útil inicial (AUi), registrada al comienzo del barbecho, que surge de considerar la humedad gravimétrica, la densidad del suelo, el punto de marchitez permanente y la profundidad muestreada, no mostró diferencias significativas para las secuencias ni para los tratamientos de barbecho (Figura 7a y 7b).



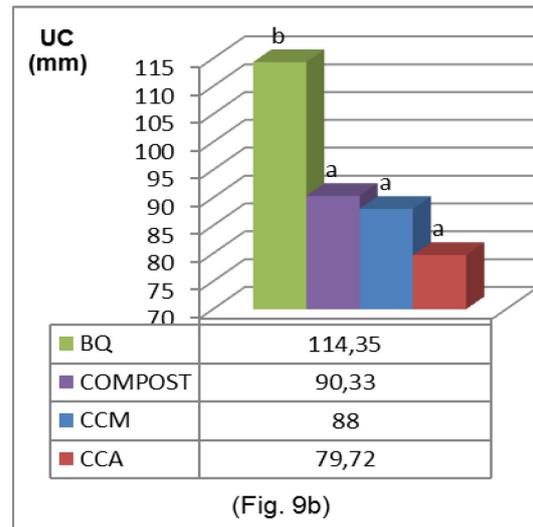
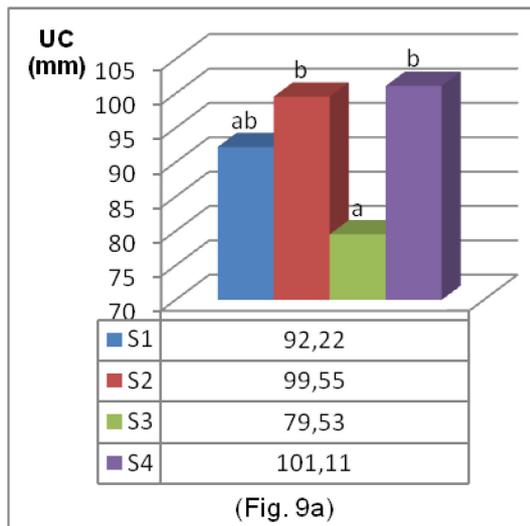
Figuras: 7a. Agua útil inicial, en mm, bajo cuatro secuencias de cultivos: S1: T/S2°-M-S-T; S2: Ceb/S2°-M-S-T; S3: A/S2°-M-G-T; S4: Col/S2°-M-Sor-T. 7b. Agua útil inicial bajo barbecho químico (BQ), compost, cultivo de cobertura con nivel tecnológico medio (CCM) y cultivo de cobertura con nivel tecnológico alto (CCA). Medias seguidas por la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($P < 0,05$).

Considerando las secuencias, el agua útil final (AUF) resultó significativamente mayor bajo S3 y menor en S4, presentando valores intermedios en S1 y S2 (Figura 8a). Considerando los tratamientos de barbecho: el agua útil final resultó significativamente menor en el barbecho químico (BQ) respecto a los otros tratamientos: compost, CCM y CCA (Figura 8b).



Figuras: 8a. Agua útil final, bajo cuatro secuencias de cultivos: S1: T/S2°-M-S-T; S2: Ceb/S2°-M-S-T; S3: A/S2°-M-G-T; S4: Col/S2°-M-Sor-T. 8b. Agua útil final (AUF), en mm, bajo barbecho químico (BQ), 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 ($p < 0,05$).

El uso consuntivo (UC), en la agricultura, es el agua que se evapora del suelo, el agua que transpiran las plantas y el agua que constituye el tejido de las plantas. Presentó diferencias significativas entre las secuencias, con mayores valores para las secuencias S2 y S4 y menor para S3 (Figura 9a). Considerando los tratamientos de barbecho: el uso consuntivo resultó significativamente mayor en el barbecho químico (BQ) respecto a los otros tratamientos: compost, CCM y CCA (Figura 9b).



Figuras: 9a. Uso consuntivo, en mm, bajo cuatro secuencias de cultivos: S1: T/S2^o-M-S-T; S2: Ceb/S2^o-M-S-T; S3: A/S2^o-M-G-T; S4: Col/S2^o-M-Sor-T. 9b. Uso consuntivo bajo 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 ($p < 0,05$).

Según la región y el tiempo que existe entre el secado y la siembra del próximo cultivo (lo cual difiere si es un barbecho corto, intermedio o largo), la bibliografía indica que puede haber mayor humedad en el suelo acumulada a causa del cultivo de cobertura. Los cultivos de cobertura tienen como objetivo 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 (Basanta *et al.*, 2016). En este trabajo se encontró, para las condiciones climáticas de la zona durante el barbecho, que el agua útil final resultó superior en los barbechos con CC y compost respecto al manejo tradicional (barbecho químico) mejorando el contenido de agua para el cultivo sucesor. Para otros autores (Alvarez & Scianca, 2006; Baigorria & Cazorla, 2010; Bertolla *et al.*, 2013) contrariamente, puede tener un costo hídrico por la transpiración del cultivo en crecimiento que luego genera menor disponibilidad de agua, caso que no se visualizó en los resultados obtenidos en este estudio.

Conclusiones

Para las condiciones del ensayo, los barbechos con compost realizan un aporte importante a la nutrición del suelo, aumentando los niveles de fósforo disponible, nitrógeno total (%) y carbono orgánico (%). Esto podría dar como resultado un menor uso de fertilizantes de síntesis química, disminuir costos e impacto ambiental.

El barbecho químico demuestra un efecto intermedio entre el cultivo de cobertura y la aplicación de compost sobre las propiedades químicas del suelo analizadas.

El nivel tecnológico no afecta las variables del suelo evaluadas.

Los barbechos con compost y cultivos de cobertura aumentan el agua útil disponible al final del barbecho, lo que significaría un beneficio para los cultivos sucesores.

Bibliografía

Álvarez C. & C. Scianca. 2006. Cultivos de cobertura en Molisoles de la Región Pampeana. Aporte de carbono e influencia sobre las propiedades edáficas. EEA INTA General Villegas: Jornada Profesional Agrícola 2006.Simposio de Fertilidad 2015. Rosario. pp. 22-27.

Baigorria T. & C. Cazorla. 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.

Basanta M., J. P. Giubergia, E. Lovera, C. Alvarez, E. Martellotto, E. Curto, A. Viglianco. 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 mayo, San Luis, Argentina. Disponible en DVD.

Basanta, M., M.L. Ghiotti, J. P, Giubergia, E. Lovera. 2010. Fracciones de carbono orgánico en un Haplustol bajo sistemas de agricultura continua en la región central de Córdoba. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario. Disponible en CD.

Basanta, M., Alvarez, C., Giubergia, J.P., Lovera, E. 2012. Cultivos de cobertura en sistemas de agricultura continua en la región central de Córdoba. En: Álvarez, C.; Quiroga, A.; Santos, D.; Bodrero, M. (Eds.) Contribuciones de los cultivos de coberturas a la sostenibilidad de los sistemas de producción. 1° ed. La Pampa: Ediciones INTA. pp. 50-57.

Basanta, M. & C Alvarez. 2015. Manejo sustentable de sistemas agrícolas en la región central de Córdoba: una experiencia de largo plazo en INTA EEA Manfredi. RIA. Vol. 41,n° 2. pp. 215-222.

Basanta, M., J. Perrone, E. Giordano. 2016. Evaluación de especies de cultivos de cobertura en INTA Rafaela. Resultados 2015. Información Técnica de trigo y otros cultivos de invierno. Campaña 2016. Publicación Miscelanea N° 131.

De Battista, J.J. & N. Arias. 2010. Utilización de la cama de pollo como fertilizante en cultivos anuales, en suelos Vertisoles de Entre Ríos. En: Cama de pollo en Entre Ríos: Aportes para su uso y manejo. Gange, JM (Ed.). Libro digital. ISBN 978-987-521-772-0. INTA Concepción del Uruguay, Entre Ríos, Argentina. pp. 70-75.

Bertolla A., T. Baigorria, D. Gómez, C. Cazorla, M. Cagliero, A. Lardone, M. Bojanich & B. Aimetta. 2013. Bases para el manejo de vicia como antecesor del cultivo de maíz. Contribuciones de los cultivos de coberturas a la sostenibilidad de los sistemas de producción. 1° ed. La Pampa: Ediciones INTA. pp. 16-21

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. & F. H. Andrade.** 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.
- Duval, M. E, J. E. Capurro, J. A. Galantini & J. M. Andriani.** 2015. Utilización de cultivos de cobertura en monocultivo de soja: efectos sobre el balance hídrico y orgánico. Cienc. suelo, vol.33, n.2. pp. 5-8
- Duval, M.E., J.A. Galantini, J.E. Capurro & J.M. Martínez.** 2016. Winter cover crops in soybean monoculture: Effects on soil organic carbon and its fractions. Soil Till. Res. 161, 95-105.
- 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. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP. 71pp.
- Fernández, R., A Quiroga, E. Noellemeyer.** 2012. Cultivo de cobertura como antecesor del cultivo de maíz en la Región semiárida pampeana. En: Álvarez, C.; Quiroga, A.; Santos, D.; Bodrero, M. (Eds.) Contribuciones de los cultivos de coberturas a la sostenibilidad de los sistemas de producción. 1° ed. La Pampa: Ediciones INTA. pp. 117-127.
- Flores C. C. & S. J. Sarandón.** 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.
- Flores, R.** 2007. Fertilización con diferentes dosis de cama de pollo. Efecto de dosis de CP en el rendimiento de maíz y en el contenido de P del suelo, campaña 2006/07 En: Cama de pollo en Entre Ríos: Aportes para su uso y manejo. Gange, JM (Ed.). Libro digital. ISBN 978-987-521-772-0. INTA Concepción del Uruguay, Entre Ríos, Argentina. pp. 61-69.
- Galarza, C., C. Cazorla, & F. Bonacci.** 2010. Influencia de los cultivos de cobertura en algunas propiedades físicas del suelo en sistemas agrícolas en siembra directa. Actas del XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario. En CD.
- Ghersa C. M.** 2005. El cultivo de soja como motor de cambio en el agro pampeano. Congreso Mundo Soja. 23-24 junio, Buenos Aires, Argentina. pp. 15-22.
- Golabi Mohammad H., M. J. Denney, C. Iyekar.** 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. Julio, Brisbane. Conserving Soil and Water for Society: Sharing Solutions Paper No. 234.

- 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. pp. 49-52.
- IRAM-SAGyP 29570-1.** 2010. Determinación de fósforo extraíble en suelos - Parte 1 – Método Bray Kurtz 1 modificado (Extracción con solución de fluoruro de amonio – ácido clorhídrico). Instituto Argentino de Normalización y Certificación.
- Kruger H. & A. Quiroga.** 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, La Pampa. pp. 5-6.
- Martínez, J.P., P.A. Barbieri, H. R. Sainz Rosas, H. E. Echeverría.** 2013. Inclusion of Cover Crops in Cropping Sequences with Soybean Predominance in the Southeast of the Humid Argentine Pampa. The Open Agriculture Journal, 7, (Suppl 1-M2): 3-10.
- 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 2016.
- Pardi H. M.** 2016. Boletín Agrometeorológico Mensual. Facultad De Ciencias Agrarias Y Forestales Estación Experimental Ing. Agr. J.Hirschhorn
- 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.
- Kessavalou A. & Walters D.T.** Cultivo de cobertura de centeno de invierno después de la soja bajo labranza de conservación: nitrato residual del suelo. En: <https://dl.sciencesocieties.org/publications/aj/abstracts/91/4/643>, consulta: octubre 2016
- PROMAR** 1991. Programa de Métodos Analíticos de Referencia. pH, Carbono, Materia orgánica, Nitrógeno total, Fósforo extraíble. Ed. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo, Comité de Química. Argentina.
- Restovich, SB; AE Andriulo & C Améndola.** 2011. Introducción de cultivos de cobertura en la rotación soja-maíz: efecto sobre algunas propiedades del suelo. Ciencia del suelo, vol. 29, no 1, pp. 61-73.
- Richard L. A.** 1948. Porous plate apparatus for measuring moisture retention and transmission by soil. Soil Science 66:105-110.
- Salvagiotti, F. A. Vernizzi, M. Bodrero, S. Bacigaluppo.** 2012. Cambios en el corto plazo en distintas fracciones de la materia orgánica en respuesta a la inclusión de cultivos de cobertura en secuencias basadas en soja. En: Álvarez, C.; Quiroga 88-91.
- Scianca, C., M.F. Varela, M. Barraco, C. Álvarez, & A. Quiroga.** 2013. En: Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción, eds. C. Álvarez et al. INTA EEA Anguil. pp. 105-116.

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 2017.

Vanzolini, J.I., J. Galantini & R. Agamennoni. 2013. Cultivos de cobertura de Vicia villosa Roth. en el valle bonaerense del Río Colorado. 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.). ISBN 978-987-679-177-9. INTA EEA Anguil, Argentina. Cap. 4. pp. 21-28.

Villamil, M.B., G.A. Bollero, R. G. Darmody, F.W. Simmons & D. G. Bullock. 2006. No-Till corn/soybean systems including winter cover crops: Effects on soil properties. Soil Sci. Soc. Am. J. 70: 1936-1944.