

Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales.

Universidad Nacional de La Plata.



Trabajo final de carrera Ingeniería Agronómica.

**“Maíz y Soja: balance de carbono, eficiencia de uso del agua y efecto de diferentes barbechos sobre su productividad.”**

**Modalidad elegida:** A. Una investigación en cualquiera de los campos de las ciencias agrarias y forestales

**Área temática:** Rotaciones de cultivos, productividad y sustentabilidad

**Alumno:** Alessandrini Bettina

**Alumno:** Ojeda Benjamín

**Nº de Legajo:** 28561/0

**Nº de Legajo:** 28658/8

**DNI:** 41.891.139

**DNI:** 40.854.876

**Correo:** bettialessan@gmail.com

**Correo:** benjaminojeda6@gmail.com

**Teléfono:** 2346-509664

**Teléfono:** 2268510627

**Director:** Dra. Ing. Agr. Silvina Golik

## Índice

Resumen .....	3
Introducción .....	4
Hipótesis .....	8
Objetivos .....	9
Materiales y métodos.....	9
Resultados .....	12
Discusión .....	17
Conclusión .....	21
Bibliografía .....	22

## Resumen

Dado el avance del monocultivo de soja (*Glicine max* L.Merr.) en la Argentina y sus consecuencias negativas sobre el suelo, surge como alternativa, la inclusión en la rotación de gramíneas como maíz (*Zea mays* L.), junto con el incremento de la eficiencia de prácticas durante el barbecho como la implantación de cultivos de cobertura y la aplicación de compost. Los objetivos del trabajo fueron: 1) Evaluar el uso de compost de cama de pollo y cultivos de cobertura, y su comparación con un barbecho convencional, sobre la producción de maíz y de soja como cultivos sucesores. 2) Evaluar el balance de carbono, entre el mineralizado por el suelo y el aportado por los rastrojos de la soja y el maíz bajo los distintos barbechos y 3) Evaluar la eficiencia de uso del agua (EUA) para la soja y el maíz bajo los distintos barbechos. Los tratamientos de barbechos consistieron en: (a) testigo (con fertilización mineral media en el cultivo principal), b) aplicación de cama de pollo estabilizada, c) siembra de un cultivo de cobertura, d) siembra de un cultivo de cobertura y fertilización en el cultivo sucesor. Los barbechos alternativos, principalmente los cultivos de cobertura con fertilización y el compost, mejoraron la productividad del cultivo de soja, como asimismo su aporte y balance de carbono y EUA. En caso de maíz estas variables se mantuvieron estables. Sin embargo, el aporte de carbono, balance de carbono y EUA de esta gramínea resultaron mayores a los del cultivo de soja, por lo que resulta fundamental su integración en los sistemas agrícolas.

## Introducción

La evolución de los sistemas productivos en la Argentina ha registrado cambios hacia una agricultura continua, con el desplazamiento de la frontera agrícola hacia zonas tradicionalmente mixtas o ganaderas (Cruzate & Casas, 2009), convirtiéndose la soja en el principal cultivo, tanto en superficie implantada como en producción (Paruelo *et al.*, 2005). En la campaña 2003/2004 la producción de soja fue de 31,5 millones de toneladas en 14,5 millones de hectáreas, pasando a 46,2 millones de toneladas y 16,6 millones de hectáreas en la campaña 2020/2021 (Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca, 2021). Desde el año 1990 hasta la campaña 2015/2016, la superficie sembrada fue en aumento logrando alcanzar 20,5 millones de hectáreas, representando el 55% de la superficie total implantada y el pico máximo hasta la actualidad. Sin embargo, desde ese año hasta el momento, disminuyó hasta un 43% la superficie implantada con este cultivo (Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca, 2021).

Se trata de un complejo proceso de transformación espacial que se expresó fundamentalmente en el país a través de la difusión del cultivo de la soja entre los años 1990 y 2015 (Salizzi, 2018). Esto generó una progresiva disminución de la fertilidad física y química edáfica (Andriulo & Cordone, 1998; Lavado, 2006). En la actualidad se está tratando de revertir, de hecho, se ha pasado de una relación gramíneas-soja de 0,3 en el 2007, a 0,6 en el 2021 (Bassi, 2021). Entre las principales rotaciones pampeanas se encuentran trigo/soja 2da- soja de 1ra y trigo/soja 2da-maíz-soja de 1ra, bajo siembra directa (SD), que se caracterizan por largos períodos de barbecho otoño-invernal, con bajo aporte de carbono (C) al suelo ( $2-3 \text{ Megagramos C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) (Restovich *et al.*, 2005) y disminución de los contenidos de materia orgánica del suelo (MO) (Huggins *et al.*, 2007).

Si bien el cultivo de soja es el más rentable y de mayor retorno por capital invertido, a largo plazo este proceso no es la mejor alternativa ya que se contrapone con un desarrollo agropecuario sustentable (Pedrol *et al.*, 2008). Un modelo agrícola se considera sustentable cuando es económicamente viable, socialmente aceptable, suficientemente productivo, que conserve la base de recursos naturales y preserve la integridad del ambiente en el ámbito local, regional y global (Sarandón & Flores, 2014). Cuando se habla de sustentabilidad del ambiente se hace referencia a una

actividad que permite obtener producciones rentables sin comprometer la capacidad de producción del recurso involucrado y sin generar efectos negativos en otros componentes del ambiente. Como se ha visto, uno de los factores que más ha dinamizado la expansión de la soja en Argentina es la rápida adopción por parte de la gran mayoría de los productores de las semillas genéticamente modificadas y, en consecuencia, el uso del glifosato como herbicida (Branford, 2004; Otero, 2008; Paul & Steinbrecher, 2003). Además, la predominancia de la soja ha generado por parte de sus críticos dos cuestiones: el éxodo rural y la reducción del empleo. La soja, por su alto nivel de tecnificación y su tendencia a la concentración de tierras, ha acelerado el despoblamiento del campo y ha reducido el número de trabajadores empleados (Teubal, 2006).

En contraposición en cuanto al volumen y la calidad del rastrojo aportado, encontramos al maíz (*Zea mays* L.), cuya producción y superficie tuvo un fuerte incremento en los últimos años, pasando de 14,8 millones de toneladas y 3 millones de hectáreas a 60,5 millones de toneladas y 9,7 millones de hectáreas en la campaña 2020/2021, sobre todo con la incorporación de nuevos híbridos, superando a la soja en producción en el 2020 (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, 2021). Sumado a esto, el maíz fue incluido a los planteos productivos por su eficiencia en la generación de biomasa y cobertura del suelo por rastrojos, aumentando la eficiencia del uso del agua y disminuyendo el riesgo de estrés por su deficiencia, además de mejorar el balance de nutrientes y evitar pérdidas de suelo por erosión (Eyhérbide, 2015).

La soja es una oleaginosa que realiza una alta extracción de nutrientes, debido a sus altos requerimientos nutricionales para la producción de una tonelada de grano. Además, con su monocultivo o su alta frecuencia en los planteos de rotación, sumado a la baja relación C/N y bajo volumen de rastrojo, fue agravando cada vez más, el desbalance entre el C mineralizado aportado por el suelo y el humificado a través de los rastrojos del cultivo (Forján & Manso, 2016). Se sabe que la disminución de un 1% de materia orgánica significa perder entre 1200 – 1400 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno; 120 a 140 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo y 40 a 60 kg ha<sup>-1</sup> de azufre, son pérdidas ocultas, que en la gran mayoría de los casos no son tenidas en cuenta (Carta & Ventimiglia, 2005).

La producción sin reposición de los nutrientes conduce a una disminución considerable de la fertilidad de los suelos, afectando la futura sustentabilidad de los sistemas productivos. Una alternativa para atenuar los efectos de la degradación de los suelos de la Región Pampeana, además de intensificar la siembra de gramíneas en las secuencias de cultivos, puede ser el uso de residuos orgánicos compostados aplicados durante el barbecho. En los sistemas de agricultura continua de la Región Pampeana prevalecen los cultivos de verano (Caviglia & 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 y mayo y la siembra del próximo cultivo ocurre entre septiembre y diciembre, el período de barbecho se extiende entre 7 a 8 meses (Basanta *et al.*, 2008). La adición al suelo durante ese período, de residuos orgánicos compostados (ej: cama de pollos parrilleros) generados en las explotaciones avícolas o en zonas urbanas lindantes, pueden mejorar la fertilidad del mismo y restituir los elementos nutritivos extraídos por los cultivos. Así surge como una alternativa promisoría para los cultivos extensivos y logrando sustituir los fertilizantes de síntesis química o derivados de la explotación minera (Mendiguren *et al.*, 2012).

El compostaje se define como un proceso en el cual el residuo es sometido a una degradación bio-oxidativa bajo condiciones controladas, cuyo producto final es el compost. El material producido está constituido, en un elevado porcentaje, de materiales orgánicos estables, cuya identidad química original ha sido modificada hacia estructuras similares a aquellas que conforman el humus del suelo y, por lo tanto, tendrían funciones semejantes a las de la materia orgánica nativa (Alvariño, 2003). La aplicación del compost puede producir un incremento en la materia orgánica del suelo una vez establecido el balance de mineralización y humificación y a su vez, contribuye a una producción en términos de sustentabilidad, teniendo en cuenta la importancia en la reducción y/o sustitución de los fertilizantes inorgánicos (Alvariño, 2003; Gambaudo & Sosa, 2015).

La utilización de compost de cama de pollo es una alternativa valiosa para las cantidades crecientes generadas por una industria avícola en expansión, tanto en la Argentina como en el mundo. Su composición depende del lugar de origen y tipo de producción, las camas de pollos parrilleros o gallinas ponedoras, poseen en general

chips de madera, cáscara de arroz o girasol, que sirven como contenedor de los residuos generados por las aves. Por su alto contenido de C y nutrientes, contribuyen a proveer macro y microelementos al suelo, mejorando a su vez sus propiedades físicas, químicas y biológicas. El compost de cama de pollo principalmente realiza un aporte de P y N, contribuyendo parcialmente a equilibrar los balances de nutrientes; ya que, por una cuestión de costos y rentabilidad, generalmente con los fertilizantes químicos no se llega a equiparar la extracción que hacen los cultivos (Alladio *et al.*, 2016). En ese sentido, a nivel producción, se observa un aumento muy importante en el contenido de P en los suelos y si se repite controladamente la aplicación, se lograrán mejoras no sólo del nivel de materia orgánica del suelo, sino también de la fertilidad química y de la estructura de los suelos (Alladio *et al.*, 2016).

Esto hace pensar que el empleo de residuos orgánicos compostados en un modelo de agricultura sostenible permitiría dar una solución integrada a distintas problemáticas tales como la disminución de la fertilidad de los suelos, el efecto de su degradación, el aumento de los costos por la utilización de fertilizantes de síntesis química, entre otros problemas (Román *et al.*, 2013).

Por otra parte, frente al incremento en la producción de residuos orgánicos en nuestras sociedades como consecuencia de la actividad humana, su aplicación en la agricultura podría ser otra de las alternativas de solución conjunta para la problemática de la disminución de la materia orgánica de los suelos, y del tratamiento y gestión eficaz de los mismos. También, la aplicación de compost en los sistemas agrícolas, en cultivos extensivos, mejoran la productividad e intervienen en el balance de nutrientes mejorando las condiciones de fertilidad del suelo a largo plazo (De Battista & Arias, 2010; Lauric *et al.*, 2010; Re & Ferrer, 2015).

Otra alternativa es la utilización de cultivos de cobertura (CC) o servicios, conociéndose como una cobertura vegetal viva, que no se pastorea, no se cosecha, ni se entierra como abono verde; si no que puede rolarse y posteriormente secarse, o directamente aplicar un herbicida, dejándolo secar en superficie. Se introducen en las rotaciones de cultivos para proporcionar servicios beneficiosos para el agroecosistema, denominados servicios ecosistémicos (Piñeiro *et al.*, 2015). La inclusión de los CC en los actuales sistemas de producción es una variante para aumentar la biodiversidad y 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, aumentar la captura de carbono del sistema, mejorar la condición física del suelo y disminuir la presión de malezas (Caviglia *et al.*, 2008).

En un planteo agrícola se pueden alternar distintos CC dentro de una determinada rotación de cultivos, ya sea puros (una especie) o consociados (dos especies). Los mejores resultados se obtienen cuando se incluye una leguminosa como cultivo de cobertura previo a la siembra del maíz, y una gramínea cuando el sucesor es la soja (Ruffo & Parsons, 2004).

Es de destacar la práctica de consociación de distintas especies de forma de ocupar un nicho ecológico más amplio que permita así aprovechar de forma más completa los recursos y a su vez pueda cumplir distintos objetivos dentro del sistema productivo particular (Bertolotto & Marzetti, 2017). Además de los beneficios generales de los demás CC las leguminosas permiten la fijación de N atmosférico, el cual puede ser utilizado por el cultivo siguiente en la rotación, y aún a mayor plazo, reduciéndose así los niveles de fertilización nitrogenada necesarios (Bertolotto & Marzetti, 2017). Por su parte, las gramíneas invernales como coberturas previo al cultivo de soja permiten absorber los nitratos residuales del cultivo de maíz, aportando C e incrementando los niveles de cobertura del suelo (Bertolotto & Marzetti, 2017).

Los beneficios de esta práctica se incrementan cuando se siembra inmediatamente luego de la cosecha gruesa (abril/mayo). Se debe tener en consideración el momento de secado, sobre todo en las zonas áridas y semiáridas, dado que el cultivo de cobertura podría consumir toda el agua retenida en el perfil, viéndose perjudicado el cultivo de interés (Basanta, 2016).

Como se mencionó anteriormente, una de las ventajas principales es neutralizar el efecto de las malezas sin la necesidad de aplicar herbicidas, evitando así los costos de la intervención y la posibilidad de una futura tolerancia o resistencia por el uso repetido de determinados productos (Belluccini, 2012). De este modo, la incorporación de cultivos de cobertura resulta ser una alternativa interesante al enfoque actual, contribuyendo a una producción más sustentable (Bertolotto & Marzetti, 2017).

## Hipótesis

1. Los barbechos alternativos (con residuos orgánicos o cultivos de cobertura) mejoran la productividad de los cultivos sucesores, aumentando el aporte de carbono al suelo y la eficiencia de uso del agua.
2. Gramíneas y leguminosas se diferencian en el aporte de carbono al suelo y en la eficiencia de uso del agua, por lo que resulta fundamental su integración en las rotaciones de los sistemas agrícolas sustentables.

## Objetivos

1. Evaluar el uso de compost de cama de pollo y cultivos de cobertura, y su comparación con un barbecho convencional, sobre la producción de maíz y de soja como cultivos sucesores.
2. Evaluar el balance de C, entre el mineralizado por el suelo y el aportado por los rastrojos de la soja y el maíz bajo los distintos barbechos
3. Evaluar la eficiencia de uso del agua para la soja y el maíz bajo los distintos barbechos.

## 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 han iniciado ensayos de secuencias de cultivos en el año 2011, bajo siembra directa. Sobre dos de las secuencias de cultivos planificadas: S1: trigo (*Triticum aestivum* L.) /soja de 2° - soja de 1°; S2: cebada (*Hordeum vulgare* L.) / soja 2° - maíz, se evaluaron cuatro condiciones de manejo durante el barbecho entre los cultivos de verano, soja de 2° - barbecho - soja de 1° y soja de 2° - barbecho - maíz, para S1 y S2, respectivamente, en la campaña 2016/17. Una primera condición consistió en el manejo habitualmente realizado por los productores de la zona (con fertilización mineral, en una dosis media) (Testigo). En este caso, para el maíz se aplicó SPTCa (Superfosfato Triple de Calcio) a razón de 80 kg ha<sup>-1</sup> y 100 kg ha<sup>-1</sup> de urea. La segunda condición pretendió ser un manejo alternativo mediante la aplicación de cama de pollo estabilizada (Compost). De acuerdo a los datos existentes en la bibliografía para el tipo de suelo de la zona, tipo de cultivo y de compost, lo recomendado sería utilizar

una dosis de alrededor de  $20 \text{ t ha}^{-1}$ , lo que implica  $2 \text{ kg m}^{-2}$  (Mendiguren *et al.*, 2012). Por lo que en el ensayo se aplicó, en dos momentos por cuestiones operativas, a razón de  $10 \text{ kg ha}^{-1}$  el día 7/6/16 y  $10 \text{ kg ha}^{-1}$  el día 15/7/16, en peso húmedo, para lograr alrededor de  $8 \text{ t ha}^{-1}$  en seco. Debido al tamaño reducido de las parcelas la aplicación del mismo se realizó en forma manual. La tercera condición implicó la siembra de un cultivo de cobertura (CC) el día 09/06/2016, con avena (*Avena sativa* L.) (avena  $50 \text{ kg ha}^{-1}$ ) y vicia (*Vicia sativa* L.) ( $20 \text{ kg ha}^{-1}$ ). El secado del mismo se realizó con Banvel  $200 \text{ cc ha}^{-1}$  más glifosato (48%)  $4 \text{ l ha}^{-1}$  el día 9/10/16. Y la cuarta condición implicó lo mismo que la tercera más la incorporación de N, P y S (para llegar a un nivel de reposición de nutrientes) con  $165 \text{ kg ha}^{-1}$  de SPTCa,  $11 \text{ kg ha}^{-1}$  de Sulfato de amonio y  $160 \text{ kg ha}^{-1}$  urea (CCF) en el maíz. Para el cultivo de soja se aplicaron  $75 \text{ kg ha}^{-1}$  de SPTCa.

El valor de los nutrientes necesarios para la reposición total de lo extraído por los cultivos se realizó mediante el cálculo de la extracción simplificada de los diferentes nutrientes, multiplicando los niveles de producción esperados por la concentración de los distintos nutrientes por tonelada de grano producido (de tablas existentes en la bibliografía) (Ciampitti & García, 2007; Osaki *et al.*, 1991).

El diseño experimental fue en bloques al azar con cuatro repeticiones y parcelas de  $2,8 \text{ m} \times 2,5 \text{ m}$ .

La siembra de maíz se realizó el día 25/11/16 con el cultivar AX894 y la soja el día 4/11/16 con el cultivar DM4216. Las densidades utilizadas fueron de  $32 \text{ kg ha}^{-1}$  y  $122,5 \text{ kg ha}^{-1}$  para el maíz y la soja, respectivamente. En ambos casos no hubo remoción del suelo, dejando el rastrojo en superficie, prácticas usuales en la zona. En la madurez de cosecha de cada cultivo, para el maíz el día 7/04/17, y para soja el 31/3/17, se cortaron las plantas a ras del suelo de una superficie de  $1 \text{ m}^2$  en el caso de la soja y 4 plantas por parcela en el maíz. Se registró el peso seco total, el rendimiento (luego de la trilla) y los componentes del rendimiento, granos  $\text{m}^{-2}$  y peso de mil granos (PMG).

A partir de los datos obtenidos previamente por los integrantes del Proyecto de incentivos A288 (cabe aclarar que debido al COVID y el ASPO 2019 los alumnos no pudimos concurrir a la Estación Experimental de la Facultad, y por este motivo el trabajo no se realizó con los datos del año 2019, utilizando los de la cosecha del año 2017), se analizaron estadísticamente los datos de biomasa, rendimiento y

componentes del rendimiento correspondientes a la soja 1° y maíz de las secuencias S1 y S2 de la campaña 2016/17. Se calculó el índice de cosecha como la relación entre el rendimiento y la producción total de materia seca para ambos cultivos. Se analizó el balance de carbono, entre el mineralizado por el suelo previo a la instalación de los distintos tratamientos de barbecho y el humificado a partir de rastrojos de soja y maíz, de los cultivos de cobertura y del aportado por el compost. Para el **cálculo del C humificado**, se consideró, que el aporte de C a partir de los rastrojos de los cultivos de cosecha y del cultivo de cobertura fue de un 46% de su biomasa, según lo citado por Álvarez & Steinbach (2010) y Richmond & Rillo (2009). Dicho aporte fue multiplicado por el coeficiente medio de humificación correspondiente a cada cultivo, obtenido de la bibliografía para situaciones edafoclimáticas semejantes a las del ensayo: 0,36 para maíz y 0,38 para soja (Álvarez & Steinbach 2010; Richmond & Rillo 2009). Cabe aclarar que, al aporte de biomasa de los rastrojos aéreos, se le agregó un 20%, generalmente tomado por la bibliografía como aporte de biomasa del sistema radicular en descomposición (Álvarez 2006; Richmond & Rillo 2009). Para el compost se consideró directamente que el aporte de C fue de un 40 % del total aplicado en peso seco, según lo citado por Adani *et al.* (2009), Alladio *et al.* (2016), Chaker *et al.* (2019) y Lynch *et al.* (2006).

El **C mineralizado** se obtuvo a partir del carbono inicial del suelo, previo a los tratamientos de barbechos, multiplicado por la densidad del suelo y la profundidad analizada del mismo para llevarlo a kg ha<sup>-1</sup>, y su posterior multiplicación por el coeficiente de mineralización (0,04) (Richmond & Rillo 2009). La materia orgánica inicial fue de 2,9 %, la densidad aparente de 1,18 g cm<sup>-3</sup> y la profundidad analizada 20 cm. Esta MO contiene 56 % de C (Álvarez & Steinbach, 2010; Richmond & Rillo, 2009), por lo que el contenido de C inicial fue de aproximadamente 38326 kg ha<sup>-1</sup>. Varias investigaciones reportan entre 3 y 5 % de mineralización anual bajo sistemas de labranza cero (Alvarez & Steinbach, 2010; Richmond & Rillo, 2009), por lo tanto, considerando un valor de 4 %, se mineralizarían 1579 kg ha<sup>-1</sup> de C.

También se estimó la eficiencia de uso del agua (EUA) según la siguiente fórmula:  $EUA [kg\ ha^{-1}\ mm^{-1}] = R / Pp$ , donde R se refiere al rendimiento en granos y Pp son las precipitaciones. Para esto se consideraron las lluvias desde el secado del cultivo de cobertura hasta la finalización de los ciclos de soja y maíz.

En base a los datos de precipitaciones y temperaturas medias mensuales del 2016-2017 e histórico 1964-2014, de la Estación Experimental J. Hirschhorn, se realizó la caracterización climática durante el ciclo de los cultivos.

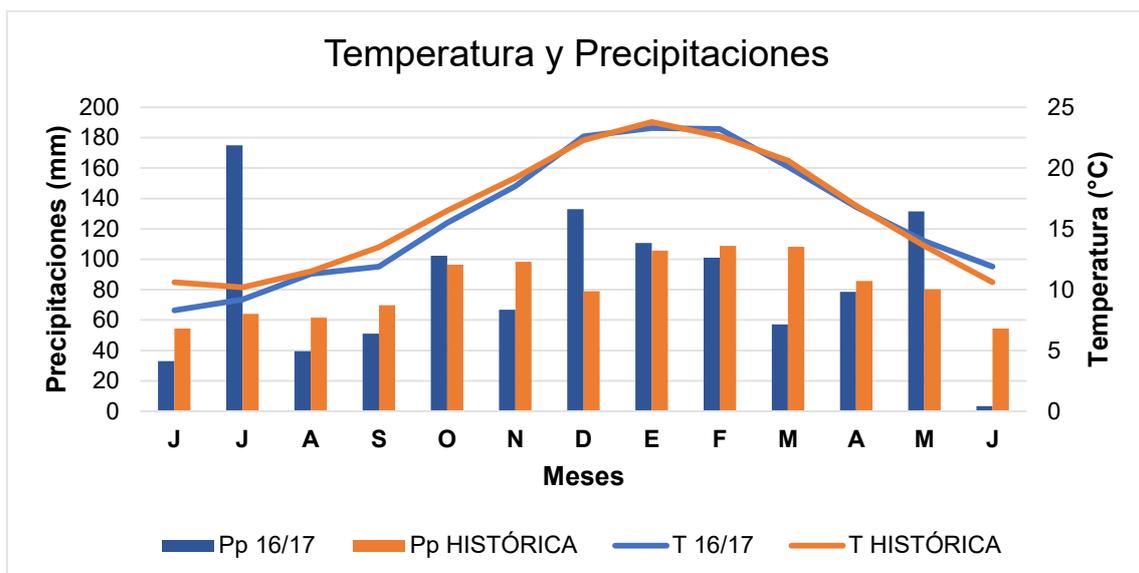
Con los datos obtenidos se realizó un análisis de la varianza y la comparación de medias por LSD ( $p < 0,05$ ). Se comprobaron los supuestos básicos del análisis de la varianza.

## Resultados

### 1) Caracterización Climática

Entre el mes de julio del 2016 y el mes de junio del 2017, las precipitaciones sumaron un total de 1050,5 mm, resultando ser mayores a las históricas con un total de 1012 mm. Aun así, en los meses de agosto, septiembre, noviembre, febrero, marzo, abril y junio las precipitaciones han sido inferiores a la media histórica. Por otro lado, para los meses de julio, octubre, diciembre, enero y mayo se presentaron excesos hídricos, con respecto a los registros históricos (Figura 1). Durante el barbecho las precipitaciones fueron de 401 mm, teniendo en cuenta que se inició en el mes de junio y ambos cultivos estivales fueron implantados en noviembre.

En cuanto a las temperaturas medias mensuales, resultaron similares a las de la media histórica, excepto en los meses de junio, julio, septiembre y octubre, donde se registraron temperaturas por debajo de las medias históricas mensuales (Figura 1).



**Figura 1.** Datos de precipitaciones del 2016 - 2017 e histórico 1964-2014, Estación Experimental J. Hirschhorn, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (UNLP).

## 2) Análisis de las secuencias

### i) Análisis de la biomasa, IC, rendimiento, componentes

#### SOJA

A partir de la comparación de medias por LSD ( $p < 0,05$ ), se observó que para la biomasa no se hallaron diferencias estadísticas significativas para los distintos barbechos. No obstante, hubo un aumento en las medias de los barbechos alternativos con respecto al testigo, siendo el que mayor biomasa arrojó el cultivo de cobertura con el agregado de fertilizante (CCF) (Tabla 1).

Respecto al rendimiento, no hubo diferencias significativas entre el testigo y el CC, pero hubo una tendencia a disminuir para este último. El barbecho con CCF, presentó diferencias significativas con respecto al testigo y CC, siendo la alternativa que mayor rendimiento obtuvo. El barbecho con compost no tuvo diferencias entre el testigo, el barbecho con CC y el barbecho CCF, quedando en una situación intermedia, observándose una tendencia hacia el aumento del rendimiento en relación con el testigo y CC (Tabla 1).

Para el índice de cosecha los tratamientos testigos y CCF se diferenciaron significativamente con respecto al CC que presentó el menor valor; quedando en una situación intermedia el barbecho alternativo con compost (Tabla 1).

Los granos  $m^{-2}$  tuvieron diferencias estadísticas significativas entre el CC y el barbecho con CCF. Los barbechos con compost y testigo mostraron valores intermedios entre el CC y el CCF (Tabla 1).

En referencia al peso de mil granos (PMG), no hubo diferencias estadísticas significativas entre el testigo y las tres alternativas, aunque hubo una leve tendencia a aumentar para el barbecho con CCF (Tabla 1).

**Tabla 1.** Valores medios para la biomasa, IC y el rendimiento y sus componentes para la soja de la secuencia S1, bajo cuatro barbechos diferentes.

Barbecho	Biomasa (kg ha <sup>-1</sup> )	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )	IC	Granos m <sup>-2</sup>	PMG (g)
Testigo	10791 a	4845 a	0,45 b	2424 ab	199 a

Compost	12635 a	5112 ab	0,4 ab	2572 ab	199 a
CC	11608 a	4340 a	0,38 a	2180 a	198 a
CCF	13078 a	5717 b	0,44 b	2772 b	206 a

Valores medios, para cada columna, seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de LSD ( $P < 0,05$ ). CC: cultivo de cobertura. CCF: cultivo de cobertura con fertilización en el cultivo sucesor.

## MAÍZ

Sobre los resultados de maíz a partir de la comparación de medias por LSD ( $p < 0,05$ ), se observó que para la mayoría de los indicadores no existió diferencia estadística significativa para los diferentes tratamientos o barbechos. Aun así, es importante observar que para el caso de la biomasa los mayores valores se hallaron para el compost y para rendimiento, el índice de cosecha, y granos  $m^{-2}$ , los barbechos con cultivo de cobertura, arrojaron los valores más altos, siendo el mayor con el CCF (Tabla 2).

Por otro lado, es importante destacar que el PMG, uno de los componentes del rendimiento, sí mostró diferencia significativa en sus valores. Pudiéndose dividir los resultados en tres grupos, donde el valor más bajo fue para el barbecho con CCF, seguido por el compost y el testigo y, por último, el mayor valor para el CC (Tabla 2).

**Tabla 2.** Valores medios para la biomasa, IC y el rendimiento y sus componentes para el maíz de la secuencia S2, bajo cuatro barbechos diferentes.

Barbecho	Biomasa ( $kg\ ha^{-1}$ )	Rendimiento ( $kg\ ha^{-1}$ )	IC	Granos $m^{-2}$	PMG (g)
Testigo	33850 a	10533 a	0,31 a	2462 a	420 b
Compost	37416 a	10417 a	0,28 a	2434 a	417 b
CC	34001 a	11514 a	0,37 a	2691 a	433 c
CCF	31305 a	12148 a	0,4 a	2839 a	397 a

Valores medios, para cada columna, seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de LSD ( $P < 0,05$ ). CC: cultivo de cobertura. CCF: cultivo de cobertura con fertilización en el cultivo sucesor.

## ii) Análisis del carbono humificado, balance de carbono y eficiencia del uso del agua

## SOJA

En la Tabla 3 se observa el análisis a partir de la comparación de medias por LSD ( $<0,05$ ) para el carbono mineralizado previo a los tratamientos de barbecho, el carbono humificado y el balance de carbono. Se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas para el carbono humificado y el balance de C entre el testigo, el compost y las alternativas con cultivo de cobertura.

Tanto para el carbono humificado como para el balance de carbono, el testigo fue el que menor valor arrojó, seguido de las alternativas con cultivo de cobertura, las cuales no tuvieron diferencias significativas entre ellas. El compost fue el barbecho que mayores valores presentó para ambos indicadores.

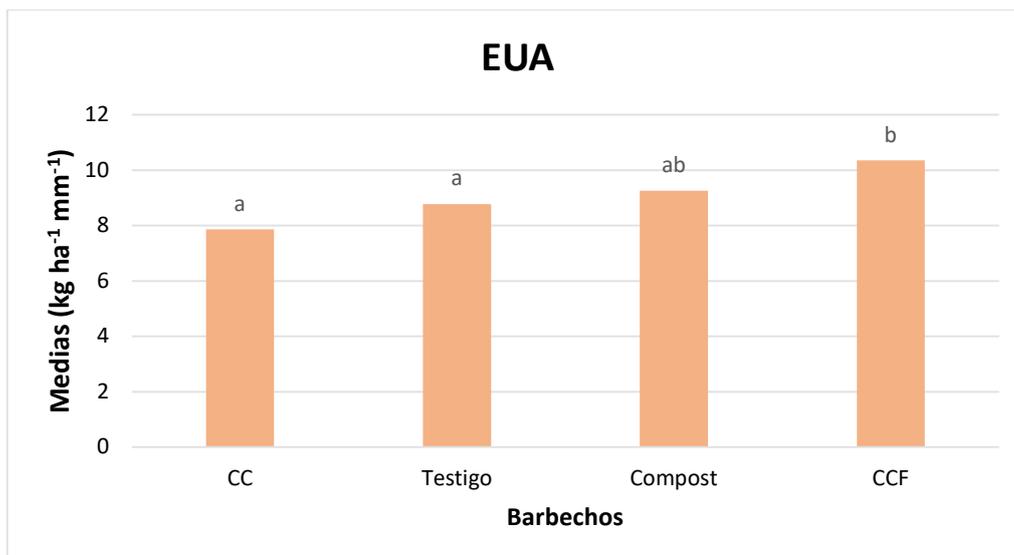
Cabe destacar que, en el balance de carbono, mientras que la alternativa tradicional (testigo) muestra valores negativos, los barbecho con CC y CCF tuvieron balances positivos, incrementándose aún más para el compost (Tabla 3).

**Tabla 3.** Valores medios de carbono mineralizado, carbono humificado y balance de carbono, para el cultivo de soja de la secuencia S1 bajo cuatro barbechos diferentes.

Barbecho	C mineralizado (kg ha <sup>-1</sup> )	C humificado (kg ha <sup>-1</sup> )	Balance C (kg ha <sup>-1</sup> )
Testigo	1579 a	1247 a	-332 a
Compost	1579 a	2907 c	1328 c
CC	1579 a	2101 b	522 b
CCF	1579 a	2158 b	578 b

Valores medios, para cada columna, seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de LSD ( $P < 0,05$ ). CC: cultivo de cobertura. CCF: cultivo de cobertura con fertilización en el cultivo sucesor.

La eficiencia de uso del agua, presentó diferencias estadísticas significativas entre los barbechos, siendo el testigo y el barbecho con CC, los de menor eficiencia, en contraposición con el barbecho con CCF, con la mayor eficiencia. El barbecho con aplicación de compost mostró valores intermedios entre las alternativas antes mencionadas y no se diferenció estadísticamente (Figura 2).



**Figura 2.** Eficiencia de uso del agua (EUA) para el cultivo de soja de la secuencia S1 bajo cuatro barbechos diferentes. Columnas con la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de LSD ( $P < 0,05$ ). CC: cultivo de cobertura. CCF: cultivo de cobertura con fertilización en el cultivo sucesor.

## MAÍZ

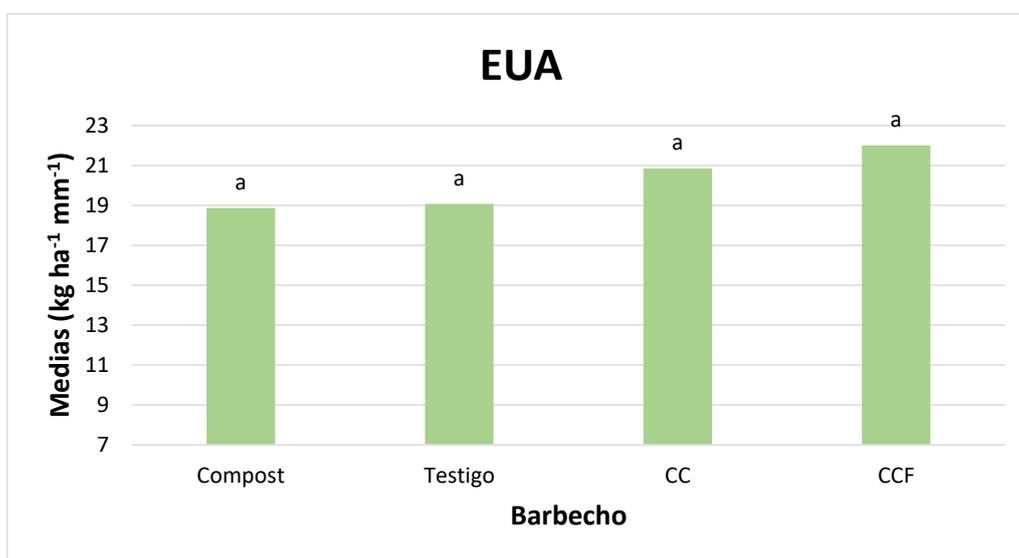
Con lo que respecta al análisis de resultados de maíz a partir de la comparación de medias por LSD ( $p < 0,05$ ), se observó que tanto para el carbono humificado como para el balance de carbono, no existieron diferencias estadísticamente significativas entre los distintos tipos de barbechos, siendo el balance de C positivo en todos los casos, a diferencia de lo que ocurrió con la soja (Tabla 4). No obstante, existió una tendencia a mejorar con respecto al testigo, siendo el barbecho con compost el que mejor valor presentó, para ambas alternativas.

**Tabla 4.** Valores medios de carbono mineralizado, carbono humificado y balance de carbono para el maíz de la secuencia S2 bajo cuatro barbechos diferentes.

Barbecho	C mineralizado (kg ha <sup>-1</sup> )	C humificado (kg ha <sup>-1</sup> )	Balance C (kg ha <sup>-1</sup> )
Testigo	1579 a	4633 a	3053 a
Compost	1579 a	6625 a	5045 a
CC	1579 a	5015 a	3435 a
CCF	1579 a	4388 a	2809 a

Valores medios, para cada columna, seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de LSD ( $P < 0,05$ ). CC: cultivo de cobertura. CCF: cultivo de cobertura con fertilización en el cultivo sucesor.

En cuanto a la eficiencia del uso del agua para los diferentes barbechos, si bien tampoco se evidenciaron diferencias significativas estadísticamente, se observó que tanto el testigo como el barbecho con compost arrojaron resultados muy similares; mientras que los dos tratamientos con cultivos de cobertura lograron superar esas medias, evidenciando valores superiores, sobre todo para el caso que posee fertilización en el cultivo sucesor (CCF) (Figura 3).



**Figura 3.** Eficiencia de uso del agua (EUA) para el maíz de la secuencia S2 bajo cuatro tratamientos de barbecho. Columnas con la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de LSD ( $P < 0,05$ ). CC: cultivo de cobertura. CCF: cultivo de cobertura con fertilización en el cultivo sucesor.

## Discusión

En relación con los resultados obtenidos se observa que, para ambos cultivos estivales, la biomasa no presentó diferencias estadísticamente significativas, para ninguno de los tratamientos. Particularmente en la soja, hubo una tendencia a aumentar en los tres barbechos alternativos en un 17%, 6 % y 21 % para el compost, CC y CCF, respectivamente, respecto al tratamiento testigo. En cambio,

para el maíz, el tratamiento que logró mostrar mayor diferencia fue aquel donde se aplicó compost, con un incremento del 11% respecto al testigo. Esto coincide con lo hallado por Golik *et al.* (2020).

Para el caso del índice de cosecha, en ambos cultivos, no existió diferencia significativa para los tratamientos de barbechos. No obstante, en la soja, el testigo y la alternativa con CCF presentaron una tendencia a mayor partición (en un 18 % y 16 % respecto al CC que presentó el menor valor) para los órganos reproductivos. En el maíz, esta tendencia no se observó.

Respecto al rendimiento, en la soja se observó una notable diferencia entre el testigo y CC, con referencia al CCF, siendo este último el que presentó el mayor rendimiento (un 18 % superior respecto al testigo); mientras que, para el maíz, si bien no hubo una diferencia significativa estadísticamente, también el mayor rendimiento tendió a ser para este último tratamiento (un 15 % superior respecto al testigo). Probablemente esto se asoció a que el cultivo de cobertura fue capaz de retener nutrientes, así como también reducir la evaporación del agua, mejorando la eficiencia de conservación y disponibilidad de estos recursos hacia el cultivo sucesor, tal como sostiene Caviglia *et al.* (2008). A su vez, el cultivo de cobertura incluyó una especie leguminosa, la cual posee la capacidad de fijar nitrógeno en el suelo, lo cual coincide con lo que afirman Bertolotto & Marzetti (2017). Sumado a esto, esta alternativa incluyó una dosis de fertilizante, por lo que los nutrientes totales disponibles para ambos cultivos estivales fueron mayores.

El incremento de los rendimientos para las diferentes alternativas se explicaría a partir de la disociación de los componentes que integran al mismo (granos  $m^{-2}$  y PMG). En soja, el mayor valor de granos  $m^{-2}$  se obtuvo bajo CCF (un 14 % mayor respecto al testigo). Para el caso del maíz y para este componente del rendimiento, si bien no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos, las alternativas con cultivos de cobertura (CC y principalmente CCF), lograron el mayor valor de granos  $m^{-2}$  (superiores en un 9 % y 15 % respecto al testigo, respectivamente). Para el otro componente del rendimiento (PMG), en soja no hubo diferencias estadísticas significativas entre el testigo y las tres alternativas, aunque existió una leve tendencia a aumentar en el tratamiento con CCF (un 4 % superior respecto al testigo). Para el caso del maíz, el menor valor se obtuvo con la

alternativa de CCF (5% menos respecto al testigo), seguido por el compost (0,5 % menos respecto al testigo) que fueron los tratamientos donde se lograron mayor número de granos  $m^{-2}$  y por lo tanto al aumentar la cantidad de destinos, la disponibilidad de fotoasimilados para el llenado de estos disminuyó coincidiendo con lo hallado por Andrade *et al.*, (1996).

En referencia al análisis del carbono humificado, las diferencias observadas se asocian al aporte adicional de biomasa de los cultivos de cobertura, que incrementan el valor del rastrojo total, y al carbono aportado por el compost. A su vez, el barbecho con este último fue el que mayor valor arrojó, demostrando el gran aporte de carbono que posee el compost de cama de pollo.

Para el balance de carbono de la soja, el testigo fue la única alternativa con valor negativo, evidenciando que el reemplazo de este tratamiento por la utilización de compost o cultivo de cobertura sin y con fertilización, mejoró el balance de carbono en un 398 %, 157 % y 174 %, respectivamente. Esto se correlaciona con lo expuesto por Caviglia *et al.*, (2008), el cual hace referencia que los cultivos de cobertura tienden a aumentar la captura del C por el sistema.

Como afirman Carta & Ventimiglia (2005), es importante destacar los costos ecológicos, que nunca son cuantificados, y siempre se analizan los resultados a corto plazo y sólo considerando lo “visible”, dejando escapar otras cuestiones importantes, como el aporte de carbono, que hacen a la rentabilidad y sustentabilidad del sistema. Tal como mencionan Forjan & Manso (2016), se evidencia cómo el bajo volumen de rastrojo aportado por la soja puede agravar cada vez más el balance de C, si se realiza monocultivo de la misma.

Para el caso del maíz, tanto el C humificado como su balance de C resultaron con valores muy superiores (en un 917 %, 380 %, 658 % y 485 % para el testigo, compost, CC y CCF, respectivamente, considerando el balance de C) a los de la soja, mostrando la importancia de incluir gramíneas en los ciclos agrícolas, tal lo hallado por Forján & Manso (2016). A su vez, si bien no se observaron diferencias significativas para las distintas alternativas de barbechos para el C humificado y el balance de C en maíz, se observó una tendencia a un incremento de estos para el barbecho con compost, respecto a las otras alternativas (un 65,22 %, 46,85 % y 79,63 % superior respecto al testigo, CC y CCF, respectivamente). Esto coincide con

lo que mencionan Alvariño (2003) y Gambaudo & Sosa (2015), quienes sostienen, además, que a partir de esta relación positiva se generarían efectos que incrementarían la materia orgánica del suelo.

El hecho de haber encontrado los mayores resultados de balance de carbono para el barbecho con compost, tanto en soja como en maíz, se condice con lo hallado por Adani *et al.* (2009), Alladio *et al.* (2016), Chaker *et al.* (2019) y Lynch *et al.* (2006), quienes afirmaron que este tipo de enmienda orgánica se caracteriza por su alto contenido de carbono además de otros nutrientes. Los beneficios de utilizar compost como alternativa de fertilizantes de síntesis química también fueron demostrados por Lauric *et al.* (2010), evaluando el efecto de una fertilización con compost de cama de pollo sobre el rendimiento del cultivo de trigo y la fertilidad del suelo.

Respecto a la EUA, para soja se presentaron diferencias significativas entre el testigo y CC, en comparación con el CCF (presentando este último tratamiento una EUA 20 % superior al tratamiento testigo). Esto se correlaciona con los mayores valores de biomasa obtenidos para el CCF, que fueron un 21 % mayor que en el resto de los tratamientos.

En cambio, para el maíz no hubo diferencia significativa entre los tratamientos de barbechos, sin embargo, para las dos alternativas con cultivos de cobertura se observó una tendencia a una mayor EUA (fue mayor en un 9,5 % y 13,16 %, respectivamente).

Si bien se debe tener en cuenta el contenido hídrico del suelo, la diferencia que se pudo evidenciar en las Figuras 2 y 3, es debida a que la introducción de un cultivo de servicio permite reducir las pérdidas de agua por evaporación, almacenándola para el cultivo sucesor, lo cual coincide con lo mencionado por Caviglia *et al.* (2008).

A su vez, la EUA fue más alta para el maíz que para la soja. En promedio para todos los tratamientos la EUA del maíz fue de 20,2 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> y la de la soja de 9,1 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, siendo por lo tanto la EUA del maíz un 122 % superior a la de la oleaginosa. Esto se debería, en gran parte, al costo energético de producir proteína, aceite o almidón, aunque también a la mayor eficiencia fotosintética de las gramíneas C4 como el maíz y a su estructura foliar que permite una distribución más

pareja de la radiación en el canopeo (Caviglia & Andrade, 2010; Hatfield & Dold, 2019; Taylor *et al.*, 2010).

El agua acumulada durante el barbecho afecta el crecimiento en los primeros estadios de los cultivos, y en muchos casos la disponibilidad de agua en el período crítico del cultivo (Hatfield & Dold, 2019). Según los datos climáticos, en el barbecho las precipitaciones fueron de 401 mm, observándose en el mes de julio una elevada precipitación con una amplia diferencia respecto a la histórica. Si bien no se consideró la evapotranspiración, se cree que el perfil del suelo llegó a acumular agua suficiente previo a la siembra de los cultivos estivales, especialmente cuando se incorporaron los cultivos de cobertura, lo que queda demostrado por los mayores valores de EUA bajo esta alternativa de barbecho.

Además, durante el ciclo de ambos cultivos, no se observó una disminución considerable de las precipitaciones respecto a la histórica, excepto en marzo, por lo que los períodos críticos no se vieron perjudicados por este factor elemental.

A su vez, la fertilización en cultivos de cosecha, estrechamente asociada a la SD, incrementa el rendimiento con una mayor EUA (Bono & Romano, 2007). Ello resultó evidente entre los distintos barbechos evaluados en nuestro trabajo, con mejores eficiencias principalmente bajo los tratamientos con compost y CCF, pudiendo estar asociado a los aportes de nutrientes que realizan ambos manejos.

## **Conclusión**

Los barbechos alternativos, principalmente los cultivos de cobertura con fertilización y el compost, mejoraron la productividad del cultivo de soja, como asimismo su aporte y balance de carbono y EUA. En caso de maíz estas variables se mantuvieron estables. Sin embargo, el aporte de carbono, balance de carbono y EUA de esta gramínea resultaron mayores a los del cultivo de soja, por lo que resulta fundamental su integración en los sistemas agrícolas.

Si bien sería necesario realizar un análisis económico, se evidencia que las alternativas de barbecho mencionadas permiten obtener rendimientos similares a un manejo convencional. Por un lado, el compost traería consigo, ventajas económicas

para aquellos productores dedicados a la actividad avícola, ya que podrían reutilizar la cama de pollo en reemplazo de los fertilizantes y a su vez mitigar los problemas ambientales que estos generan por su acumulación. Por parte de los CC estos permitirían reducir el uso de fertilizantes nitrogenados al incluir alguna leguminosa y a su vez reducir el uso de herbicidas y realizar un uso más eficiente del agua disponible.

## **Bibliografía**

**Adani, F., F. Tambone & P. Genevini.** 2009. Effect of compost application rate on carbon degradation and retention in soils. *Waste Management* 29: 174–179.

**Alladio, R. M., L. Errasquin, A. Saavedra & L. Pagnan.** 2016. Efecto del aporte de nutrientes del guano y compost de gallinas ponedoras sobre el rendimiento del cultivo de maíz. En: *Maíz. Actualización 2016*. INTA. EEA Marcos Juárez, 51-56 pp.

**Álvarez, R.** 2006. Balance de carbono en los suelos. INTA. EEA Rafaela. Información técnica de trigo. Campaña 2006 Publicación Miscelánea N° 105. 36-43 pp.

**Álvarez, R. & H.S. Steinbach.** 2010. Balance de carbono en agroecosistemas. En: *Fertilidad de suelos. Caracterización y manejo en la región pampeana*. C.R. Álvarez, R. Álvarez, R. Lavado, G. Rubio (Eds.). Editorial de la Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina. pp 203-216.

**Alvariño, CR.** 2003. Residuos orgánicos de origen urbano e industrial que se incorporan al suelo como alternativa económica en la agricultura. *Revista CENIC Ciencias Químicas* 36(1), 45-53.

**Andrade F., A. Cirilo, S. Uhart & M. Otegui.** 1996. *Ecofisiología del cultivo de maíz*. Editorial La Barrosa-Dekalb Press. 292 pp.

**Andriulo, A. & G. Cordone.** 1998. Impacto de labranzas y rotaciones sobre la materia orgánica de suelos de la Región Pampeana Húmeda. En: *Siembra Directa*. J.L.Panigatti, H. Marelli, D. Buschiazzi, R. Gil (Eds.). Hemisferio Sur. pp. 65-95.

**Basanta M., J. P. Giubergia, E. Lovera, C. Álvarez, 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., J. Perrone & E. Giordano.** 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 N° 131. 75-82 pp.

**Bassi, J.** 2021. Simposio de Fertilidad 2021. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=oGM7Kfjds8M>. Último acceso: febrero de 2022.

**Belluccini P.** 2012. Control de rama negra en el cultivo de soja. INTA. EEA Marcos Juárez. Disponible en: [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta\\_soja\\_ramanegra12.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_soja_ramanegra12.pdf). Último acceso: febrero de 2022.

**Bertolotto M. & M. Marzetti.** 2017. REM-Aapresid. Cultivos de cobertura. Disponible en: <file:///C:/Users/Lenovo/Desktop/Facultad/TESIS/Entregas/2da/Info/Cultivo%20de%20Cobertura/AAP-Original-Cultivos-de-cobertura.pdf>. Último acceso: febrero de 2022.

**Bono, A. & N. Romano.** 2007. Métodos de diagnóstico de fertilización. En: manual de fertilidad y evaluación de suelos. A. Quiroga & A. Bono (Eds.). Ed EEA INTA, Anguil, pp: 65-71. Disponible en: [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta\\_pt\\_89\\_manual\\_de\\_fertilidad\\_1\\_1\\_.pdf#page=85](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_pt_89_manual_de_fertilidad_1_1_.pdf#page=85). Último acceso: febrero de 2022.

**Branford, S.** 2004. Argentina's bitter harvest. *New Scientist*. 182 (2443): 40-43.

**Carta H. & L. Ventimiglia.** 2005. Pensando en la sustentabilidad del sistema productivo. INTA. EEA Pergamino. Unidad de Extensión y Experimentación Adaptativa 9 de Julio. 32 – 37 pp.

**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.

**Caviglia, O.P., N.V. Van Opstal, V.C. Gregorutti, R.J.M. Melchiori & E. Blanzaco.** 2008. El invierno: estación clave para la intensificación sustentable de la agricultura. Agricultura sustentable Serie Extensión N° 51.

**Chaker, R., K. Gargouri, H. B. Mbarek, S. Maktouf, A. Palese, G.Celani & J. Bouzid.** 2019. Carbon and nitrogen balances and CO<sub>2</sub> emission after exogenous organic matter application in arid soil. Carbon Management, 10(1): 23-36.

**Ciampitti, I.A. & F.O García.** 2007. Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. I. Cereales, oleaginosos e industriales. Archivo agronómico N°11. Informaciones Agronómicas del Cono Sur 33:13-16.

**Cruzate, G.A. & R. Casas.** 2009. Extracción de nutrientes en la Agricultura Argentina. Informaciones Agronómicas del Cono Sur. 44: 21-26.

**De Battista, J.J. & Arias, N.** 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. J.M. Gange (Ed.). Ediciones INTA. Concepción del Uruguay, Entre Ríos, Argentina. pp. 70-75.

**Eyhérabide,** 2015. Bases para el manejo del cultivo de maíz. INTA. EEA Pergamino. [https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta\\_bases\\_para\\_el\\_manejo\\_de\\_maiz\\_region\\_10\\_0-2\\_2.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_bases_para_el_manejo_de_maiz_region_10_0-2_2.pdf) Último acceso: febrero de 2022.

**Forján, H.J. & L. Manso.** 2016. La secuencia de cultivos. En: Rotaciones y secuencias de cultivos en la región mixta cerealera del centro sur bonaerense. 30 años de experiencias. H. Forján, & L. Manso (Eds.). Ediciones INTA. EEA Tres Arroyos. 25-34 pp.

**Gambaudo, S. & N. Sosa.** 2015. Residuos pecuarios: problema u oportunidad. INTA EEA Manfredi. Disponible en: <http://inta.gob.ar/documentos/residuos-pecuarios-problema-u-oportunidad/>. Último acceso: febrero de 2022

**Golik, S., A. Chamorro, R. Bezus, A. Pellegrini, B. Novillo & A. Voisin.** 2020. Uso de compost de cama de pollo y cultivos de cobertura previo a soja y maíz. En: Revista Nuestro Suelo, Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. G.A. Divito (Ed.). (4): 14. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Disponible en:

[http://www.suelos.org.ar/sitio/wp-content/uploads/2020/nuestro\\_suelo/Nuestro\\_Suelo4\\_AACS-Oct20.pdf](http://www.suelos.org.ar/sitio/wp-content/uploads/2020/nuestro_suelo/Nuestro_Suelo4_AACS-Oct20.pdf). Último acceso: febrero de 2022.

**Hatfield, J. L. & C. Dold.** 2019. Water-use efficiency: advances and challenges in a changing climate. *Frontiers in plant science*, 10:103.

**Huggins, D.R., R.R. Allmaras, C.E. Clapp, J.A. Lamb & G.W. Randall.** 2007. Corn-soybean sequence and tillage effects on soil carbon dynamics and storage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71: 145-154.

**Lauric, A., A. Marinissen, & T. Loewy.** 2010. Fertilización orgánica con guano de pollo sobre el rendimiento del cultivo de trigo y la fertilidad del suelo. Campaña 2009-2010. Disponible en: [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-1\\_hoja\\_informativa\\_fertilizacion\\_organica\\_trigo.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-1_hoja_informativa_fertilizacion_organica_trigo.pdf). Último acceso: febrero de 2022.

**Lavado, R.** 2006. La Región Pampeana: historia, característica y uso de sus suelos. En: *Materia orgánica: Valor agronómico y dinámica en suelos pampeanos*. R. Álvarez (Ed). Buenos Aires, Argentina. pp. 1-11.

**Lynch, D.H., R.P. Voroney & P.R. Warman.** 2006. Use of <sup>13</sup>C and <sup>15</sup>N natural abundance techniques to characterize carbon and nitrogen dynamics in composting and in compost-amended soils. *Soil Biology and Biochemistry* 38: 103-114.

**Mendiguren, U.M., L.I. Anuntzibai, X.L. Irazabal, H.M. Sarasua, A.E. Olabuenaga, A.A. Arrien & R. Ruiz de Arkaute Rivero.** 2012. Compostaje de estiércoles en agricultura ecológica. Disponible en: [https://www.biolor.eus/documentos/descargas/Guia\\_de\\_compostaje\\_final\\_cast.pdf](https://www.biolor.eus/documentos/descargas/Guia_de_compostaje_final_cast.pdf). Último acceso: febrero de 2022.

**Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca.** 2021. Datos de la serie del tiempo para soja. <https://datosestimaciones.magyp.gob.ar/reportes.php?reporte=Estimaciones> Último acceso: febrero de 2022.

**Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca.** 2021. Datos de la serie del tiempo para maíz. <https://datos.agroindustria.gob.ar/dataset/maiz-siembra-cosecha->

[rendimiento-produccion/archivo/c4696e28-4e54-464b-bc3b-19c608371231](http://rendimiento-produccion/archivo/c4696e28-4e54-464b-bc3b-19c608371231). Último acceso: febrero de 2022.

**Osaki, M., K. Morikawa, T. Shinano, M. Urayama & T. Tadano.** 1991. Productivity in high yield crops II. Comparison of N, P, K, Ca and Mg accumulation and distribution among high-yielding crops. *Soil Science Plant Nutrition* 37(3):445-454.

**Otero, G.** 2008. Food for the Few. Neoliberal Globalism and Biotechnology in Latin America. Austin: University of Texas Press. Disponible en: <https://ens9004-inf.d.mendoza.edu.ar/sitio/geografia-economica/upload/07-%20OTERO%20-%20LIBRO%20-%20Food%20for%20the%20few.pdf>. Último acceso: febrero de 2022.

**Paruelo, J.M., J.P. Guerschman & S.R. Verón.** 2005. Expansión agrícola y cambios en el uso del suelo. Disponible en: <https://www.agro.uba.ar/users/paruelo/Publicaciones/2005/Paruelo%20J.M,%20Guerschman%20J.P.%20y%20Vero&n%20S.R.%202005.%20Cambios%20en%20el%20patro&n%20espacial%20de%20uso%20de%20la%20tierra%20en%20Argentina.%20Ciencia%20Hoy.pdf>. Último acceso: febrero de 2022.

**Paul, H. & R. Steinbrecher.** 2003. Hungry Corporations. Transnational Biotech Companies Colonise the Food Chain. Londres: Zed Books. pp. 88-90. Disponible en: <https://books.google.com.ar/books?id=qKOuzSHnPssC&lpg=PP1&hl=es&pg=PR4#v=onepage&q&f=false>. Último acceso: febrero de 2022.

**Pedrol, H.M., J.M. Castellarín & F. Ferraguti.** 2008. Manejo de Cultivos. EEA Oliveros INTA. "Producción de rastrojo en cultivares de maíz con diferentes ofertas de agua y nitrógeno". Disponible en: <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-produccion-rastrojo-cultivares-maiz-diferentes-o.pdf>. Último acceso: febrero de 2022.

**Piñeiro, G., P. Pinto, S. Arana, J. Sawchik, J.I. Díaz, F. Gutiérrez & R. Zarza.** 2014. Cultivos de servicio: integrando la ecología con la producción agrícola. En: XXVI Reunión Argentina de Ecología. Comodoro Rivadavia, Chubut, Argentina.

**Re, A.E. & J.L Ferrer.** 2015. Utilización de cama de pollo como fertilizante de pasturas y verdeos en Vertisoles de Entre Ríos. En: Cama de pollo en Entre Ríos:

Aportes para su uso y manejo. J.M. Gange (Ed.). Ediciones INTA. EEA Concepción del Uruguay, Entre Ríos, Argentina. 62-69 pp. Disponible en: [https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta - cama de pollo en entre rios 0.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_-_cama_de_pollo_en_entre_rios_0.pdf) .

Último acceso: febrero de 2022.

**Restovich, S.B., M.C. Sasal, A.B. Irizar, F. Rimatori, M.L. Darder, & A.E. Andriulo.** 2005. Rotación con maíz vs monocultivo de soja: efecto sobre los stocks de carbono y nitrógeno edáficos. VIII Congreso Nacional de Maíz. Rosario, Santa Fe, Argentina. 208 pp.

**Richmond, P.F. & S.N. Rillo.** 2009. Caracterización de la dinámica de incorporación de residuos de cosecha al suelo en un sistema agrícola en siembra directa en el centro-oeste de Buenos Aires. Instituto Internacional de Nutrición de Plantas (IPNI). *Informaciones Agronómicas* 43: 22-26. Disponible en : [http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/C3F5BD0D15779BD3852579950075F015/\\$FILE/IA%2043.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/C3F5BD0D15779BD3852579950075F015/$FILE/IA%2043.pdf) .

Último acceso: febrero de 2022.

**Román P., M.M Martínez, A. Pantoja.** 2013. Manual de Compostaje del Agricultor. Disponible en: <https://www.fao.org/3/i3388s/l3388S.pdf> . Último acceso: febrero de 2022.

**Ruffo, M.L. & A.T. Parsons.** 2004. Cultivos de Cobertura en Sistemas Agrícolas. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* 21(1): 13-15.

**Salizzi, E.** 2018. Avance de la frontera agraria moderna y difusión de nuevos sistemas técnicos. *Revistas Científicas UBA*. Disponible en: <http://revistascientificas.filo.uba.ar/index.php/rtt/article/view/4940/4434> . Último

acceso: febrero de 2022.

**Sarandón, S.J. & C.C Flores.** 2014. La agroecología: el enfoque necesario para una agricultura sustentable. En: *Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables*. S. Sarandón, C Flores (Eds.). Editorial de la Universidad de La Plata. Argentina. pp 42-69. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/37280> . Último acceso 2021.

**Taylor, S. H., S. P. Hulme, M. Rees, B. S. Ripley, F. Ian Woodward & C. P. Osborne.** 2010. Ecophysiological traits in C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> grasses: a phylogenetically controlled screening experiment. *New Phytologist* 185(3): 780–791.

**Teubal, M.** 2006. Expansión del modelo sojero en la Argentina. De la producción de alimentos a las commodities. *Realidad Económica* 220: 71-94.