

Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales

Universidad Nacional de La Plata



Informe de Trabajo Final de Grado

Modalidad Investigación Científica

Título:

**CULTIVOS DE COBERTURA Y APLICACIÓN DE DIFERENTES TIPOS DE COMPOST
EN UN BARBECHO LARGO. DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES Y EFICIENCIA DEL
USO DEL AGUA PARA EL CULTIVO SUCESOR**

Alumno: Aguinaga, Pablo Andrés.

N° de Legajo: 25228/5

DNI: 32395639

Dirección correo electrónico: pabloaguinaga01@gmail.com

Director: Dra. Ing. Agr. Silvina Golik

Co-director: Ing. Agr. Axel Voisin

Fecha de entrega: 9 de diciembre del 2019

INDICE

1. AGRADECIMIENTOS	3
2. RESUMEN	4
3. INTRODUCCIÓN	5
3.1 Antecedentes	5
3.2 Zona de influencia del trabajo.....	7
3.3 Inclusión de cultivos de cobertura en los sistemas agrícolas	9
3.4 Utilización de compost en los sistemas agrícolas	11
3.5 Hipótesis	13
3.6 Objetivo general	13
3.7 Objetivos específicos.....	13
4. MATERIALES Y MÉTODOS	15
4.1 Sitio experimental.....	15
4.2 Tratamientos y diseño experimental	16
4.3 Evaluaciones	18
4.4 Procesamiento de datos.....	19
5. RESULTADOS	20
5.1 Condiciones climáticas durante el periodo de ensayo	20
5.2 Producción de MS y acumulación de N en el cultivo de cobertura.....	21
5.3 Contenidos de Nt y P extractable, en el suelo, al inicio y final de barbecho	22
5.4 Contenidos hídricos y agua útil al inicio y final del barbecho. Uso consuntivo y costo hídrico	25
6. DISCUSIÓN	30

6.1 Producción de materia seca aérea total y acumulación de N en la biomasa aérea del CC.....	30
6.2 Dinámica de nutrientes en el suelo, al inicio y final del barbecho, post tratamiento: P extractable (ppm) y Nt (%).....	33
6.3 Dinámica hídrica: contenidos hídricos, agua útil, uso consuntivo y costo hídrico	38
7. CONCLUSIONES	42
8. BIBLIOGRAFIA	43
9. ANEXOS:	51
9.1 Características climáticas de la localidad de La Plata.....	51
9.2 Información complementaria de los diferentes cultivos y del manejo de los mismos	53

1. AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quisiera agradecer a mi familia y compañera por haber sido los puntales en esta etapa de la vida con su infinito cariño y tolerancia. También a mis compañeros y amigos con los cuales hemos vivido momentos hermosos a lo largo de toda la carrera que sin lugar a dudas jamás olvidaremos. Y por último, pero no menos importante, a toda la comunidad de la FCAYF de la UNLP, la cual hace que un estudiante se sienta cómodo día a día sin importar cuál sea su realidad ni su historia, y en especial a los excelentes docentes, en particular a mi director y co-director de trabajo final, Silvina Golik y Axel Voisin.

2. RESUMEN

El proceso de agriculturización, junto con la mayor participación del monocultivo son factores del proceso de degradación de la fertilidad física-química de los suelos. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de los cultivos de cobertura (CC); y de diferentes tipos de compost en algunos nutrientes del suelo y el agua útil disponible para el cultivo sucesor en un barbecho largo. El ensayo se realizó sobre un suelo *Argiudol vértico* y dos secuencias agrícolas (S): S1: trigo/soja 2° – soja 1° – soja 1° y la S2: cebada/soja 2da - maíz - soja 1. En 2018, se realizaron tres tipos de barbechos, entre la cosecha de soja 2° y la siembra de soja 1° (S1); maíz para la S2. Se aplicaron diferentes tipos de compost [cama de pollo (CCP), caballo+conejo (CCC) y residuos sólidos urbanos (CRSU)], barbecho químico o tradicional (T); e inclusión de CC (*Avena sp* con *Vicia sp*). Sobre el CC se determinó la producción de materia seca (MS) y la acumulación de N en la biomasa aérea (N) expresada en kg ha^{-1} . Al inicio y final de cada barbecho se determinó en el suelo contenido de fósforo extractable (P) en ppm, N total (Nt) en %; humedad inicial (Hi), humedad final (Hf), agua útil inicial (AUi), y el agua útil al final (AUf). Se determinó el uso consuntivo (UC) del cultivo de cobertura, 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 del CC. La producción de MS fue en promedio $2200 \text{ kg MS ha}^{-1}$ y la acumulación de N osciló entre $30\text{-}50 \text{ kg ha}^{-1}$. No se observaron diferencias entre secuencias. El P extractable presentó una diferencia a favor del CCC de 19,23 ppm respecto al inicio y a las demás alternativas de barbechos. El Nt de los compost no se diferenció del CC y T. El AUf presentó un leve aumento comparado con el AUi. El AUf no se diferenció entre los distintos tratamientos. El CC presentó un costo hídrico (CH) insignificante y su UC no presentó diferencia significativa con el T. Lo que implica que para las condiciones del presente ensayo los CC no implicaron un riesgo hídrico para el cultivo sucesor.

3. INTRODUCCIÓN

3.1 Antecedentes

La intensificación agrícola, registrada en las últimas décadas en la Argentina, y la notable expansión de la soja produjo una paulatina y constante disminución de la fertilidad edáfica de los suelos pampeanos (Andrade, 2017). El avance de la frontera agrícola produjo la sustitución de sistemas mixtos en zonas con baja aptitud agrícola, por cultivos anuales, desplazando la ganadería hacia zonas marginales (Rabinovich & Torres, 2004). Según Strada & Vila (2016), en Argentina el cultivo de soja (*Glycine max* L.) remonta a los años 70 con el creciente proceso de “sojización” en el marco de “agriculturización” del agro, frente a un retroceso de la ganadería, pero ya desde fines de los años 60, el INTA había desarrollado un programa de mejoramiento de distintas variedades de soja que se implementó en Pergamino y Marcos Juárez.

La soja es la oleaginosa más cultivada del mundo debido a su mayor rentabilidad económica comparada con el girasol (*Helianthus annuus* L.); y por su alto valor proteico, tanto para la alimentación humana y animal, como también para la industrialización por su contenido en aceite (FAO, 2011). Los datos aportados por Strada & Villa (2016) remarcan que la producción de soja crece más aceleradamente que la producción de maíz (*Zea mays* L.), trigo (*Triticum aestivum* L.) y girasol desde finales de los años '90, debido principalmente a factores como los incrementos en los precios internacionales de los commodities y la introducción de un nuevo paquete tecnológico que incluía la siembra directa y el uso de semillas transgénicas.

El modelo de agricultura extensiva homogénea y continua, determinada por el monocultivo, principalmente de soja, ha generado impactos negativos sobre la fertilidad física y química de los suelos. Sumado a esto, la aún vigente agriculturización con rendimientos e índices de extracción de nutrientes que crecieron casi linealmente, con escasa rotación de cultivos y la falta de reposición de nutrientes definen la deficiencia en la fertilidad edáfica (Viglizzo & Jobbágy, 2010). El cultivo de soja requiere 80 kg de nitrógeno (N), 8 kg de fósforo (P) y 7 kg de azufre (S) por tonelada (t) de grano producida,

entre otros. Tanto los requerimientos como los índices de cosecha de nutrientes (IC), es decir, la relación entre contenido en granos y los requerimientos totales de los nutrientes mencionados son elevados para el cultivo de soja (Ciampiti & García, 2007). La exportación de nutrientes es alto para N y P e intermedio para S (Díaz Zorita, 2003), debido a la elevada re-movilización de nutrientes desde estructuras vegetativas al grano que caracteriza a dicho cultivo (Baigorri, 1999). Sin embargo, esto no significa que los requerimientos totales de un cultivo de soja sean siempre altos, sino que están determinados por el rendimiento, entre otros factores. La gran capacidad de particionar N a los granos, hace que el retorno de este elemento al suelo, a través de los residuos post cosecha, sea insignificante (Baigorria, 1999).

Cronológicamente, en las últimas décadas el primer elemento que comenzó a manifestar deficiencias en forma generalizada fue el N, al cual le siguió el P, entre otros (Echeverría & García, 2005). Hernán Echeverría de INTA Balcarce sostiene que “en la región pampeana los suelos están sufriendo un proceso de degradación importante, sobre todo de la fracción más activa y dinámica constituida por la materia orgánica”. A través de distintos trabajos realizados por el INTA, se llegó a la conclusión que desde la década del 70 hasta la fecha se han registrado caídas muy notables de materia orgánica, que varían de acuerdo a la zona entre un 30 a un 50%. La materia orgánica del suelo está relacionada directamente con las propiedades biológicas, químicas y físicas del mismo (Martínez *et al*, 2008).

En este sentido, se debería pensar en una agricultura sustentable que intente proporcionar rendimientos sostenibles a largo plazo, a través de la gestión de tecnologías ecológicamente racionales, considerando a un sistema de producción sustentable como aquel donde la calidad o eficiencia de los recursos utilizados no disminuye con el transcurso del tiempo (Monteith, 1990). También, Sarandón (2002) plantea que un modelo agrícola se considerará 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.

Está demostrado que para el desarrollo agrícola sostenible, es necesario el uso de sistemas conservacionistas y desarrollar una visión sistémica del agro-ecosistema. Un cambio ideológico en la manera de producir, es decir, dejar de pensar en una visión cortoplacista y productivista, sería el puntapié inicial de un proceso continuo hacia una agricultura sustentable. Luego, será necesario desarrollar metodologías y prácticas agrícolas que puedan sustituir o alternar el uso masivo de tecnologías de insumos por las de proceso, que sea beneficioso para el medio ambiente (Rabinovich & Torres, 2004).

Una de estas prácticas conservacionistas fue la siembra directa, una técnica que reemplazó a los sistemas tradicionales de labranza produciendo una conservación del suelo ante los procesos de erosión, al dejar mayor proporción de residuos en superficie y/o por la no remoción del mismo. Sin embargo, la siembra directa no resulta suficiente si no es acompañado con rotaciones que permitan incluir al suelo abundantes cantidades de biomasa, ya sea con cultivos de cosecha o cultivos de cobertura (Rubio, 2011).

3.2 Zona de influencia del trabajo

El área de influencia de la FCAYF de la UNLP es amplia, abarcando varios partidos (La Plata, Magdalena, etc.), donde la superficie sembrada con soja aumento de 350 a 6.520 ha en el período 2002-2016 (Ministerio de Agricultura de la Provincia de Buenos Aires). Dentro de esta matriz productiva, donde el cultivo de soja ha ganado importancia en la rotación, sería viable y eficaz poder incorporar cultivos de cobertura y aplicación de diferentes tipos de compost que hagan más sustentable la incorporación de dicho cultivo a la rotación, y mitigar el impacto negativo del monocultivo.

La ciudad de La Plata presenta una intensa actividad hípica llevada a cabo en el Hipódromo de la ciudad, como así también diversos establecimientos dedicados a la equitación y el cuerpo de infantería y caballería que producen a diario una gran cantidad de residuos (estiércol equino más restos de cama de viruta y/o paja de trigo). También se encuentran diversos establecimientos avícolas a los alrededores de la ciudad con una elevada producción de cama de pollo o gallinaza. Según CEAMSE durante el año 2016 se

acumularon 276.456 t de residuos sólidos urbanos, lo que equivale a 757 t diarias. Aproximadamente entre el 45 y 50 % de esos residuos corresponden a la fracción orgánica, constituida principalmente por restos alimenticios y residuos de poda y jardín (González, 2010). Por lo tanto se producen unas 370 t diarias de residuos orgánicos, o sea, 175 t potenciales de compost por día. Anualmente representaría más de 63 mil t. Parece poco pero si esto se agregaría continuamente, año tras año los cambios se irían logrando paulatinamente, lo que justificaría su consideración como una herramienta de fertilización en nuestra zona.

Por lo tanto, el empleo de materia orgánica en un modelo, a futuro, de agricultura sostenible a gran escala resurge como una opción de producción, además de que este sistema englobaría y daría una solución integrada a distintas problemáticas tales como la disminución de la fertilidad de los suelos, el efecto de su degradación y contaminación por una mala praxis agrícola debido a un empleo excesivo de agroquímicos y productos fitosanitarios, entre otros problemas. Por otra parte, el incremento en la producción de residuos orgánicos en nuestras sociedades como consecuencia de la actividad económica revela que la aplicación de estos en los suelos y en la agricultura podría ser una de las principales alternativas para la problemática de la falta de materia orgánica, además de su tratamiento como la gestión eficaz de los mismos, obteniendo así una solución conjunta para dos problemas (Tortosa, 2009).

Para que las consecuencias negativas que se han registrado en otras zonas no se sigan acrecentando en el partido, se requieren resultados experimentales locales, sobre suelos que comparten características, que permitan la inclusión de rotaciones de cultivo e incorporar residuos compostados, con un manejo más racional en los esquemas productivos. La introducción de cultivos de cobertura y la aplicación de diferente tipos de compost como una nueva alternativa tecnológica en los sistemas de producción persiguen el objetivo de lograr un uso eficiente de los recursos y permitir un aumento de la productividad del agro ecosistema con fin de cambiar el “enfoque productivo” y minimizar

los impactos negativos que presenta el sistema productivo actual, como así también ofrecer alternativas más sustentables de incorporar la soja.

De continuar esta forma de producción (mercantilista y cortoplacista); y de no mediar cambios sustanciales en el sistema de producción o en su manejo, sería esperable que en un plazo relativamente corto, otros macro y micro-nutrientes puedan surgir como limitantes para la óptima productividad, agravando más aún la degradación química y física del suelo.

3.3 Inclusión de cultivos de cobertura en los sistemas agrícolas

Una alternativa para incrementar la eficiencia de prácticas convencionales como el barbecho y reducir el consumo y uso de insumos costosos (fertilizantes químicos, herbicidas, etc.) está dada por el uso de cultivos de coberturas (CC), que si bien no reemplazan los beneficios de una rotación agrícola diversificada, podrían contribuir a mejorar la sustentabilidad del sistema productivo reduciendo la duración del barbecho y mejorando la eficiencia del uso de los recursos (nutrientes, radiación y agua) en el sistema suelo-cultivo (Baigorria & Cazorla, 2010; Basanta *et al.*, 2012; Villamil *et al.*, 2006). 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 – 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). Los CC son sembrados entre dos cultivos de cosecha y no son incorporados al suelo a diferencia de los abonos verdes, ni pastoreados, a diferencia de los verdes ni cosechados.

Varios trabajos evidencian los beneficios de la incorporación de leguminosas y gramíneas como CC en la matriz productiva. En nuestro país, existen varios estudios sobre la tasa de descomposición de los residuos de CC con la consiguiente liberación de

C, N y P; reduciendo los requerimientos de fertilizantes (Ruffo & Parson, 2004; Sa Pereira *et al.*, 2012; Vanzolini *et al.*, 2013). A través de la mineralización de los tejidos del CC se reciclan los nutrientes en el sistema, a diferentes tasas, éstos son liberados al suelo quedando disponibles para el cultivo siguiente (Fernández *et al.*, 2012; Pegoraro *et al.*, 2013; Restovich *et al.*, 2011; Scianca *et al.*, 2013). En diferentes ensayos realizados en la Región Pampeana se ha demostrado que la incorporación de especies leguminosas aportan nitrógeno por medio de los procesos de fijación biológica de nitrógeno (FBN) mejorando el balance de nutrientes, entre otros beneficios (Alvarez & Rimski-korsakov, 2016, Rochestar & People, 2005).

También es importante la función de los CC en la retención del nitrógeno con la consecuente disminución de las pérdidas por lixiviación (Rimski-Korsakov *et al.*, 2013). Según Rimski-Korsakov *et al* (2013) en su ensayo sobre un Argiudol vértico, la inclusión de un cultivo de cobertura (raigrás anual) permitió recuperar nitratos residuales susceptibles a ser lixiviados. La suma de la fracción retenida en planta más los nitratos remanentes en suelo, muestra que en el tratamiento con CC se acumuló significativamente ($p < 0,001$) más N que si el suelo quedaba descubierto durante el barbecho (130 vs. 51 kg N ha⁻¹). Strock *et al* (2004), encontraron resultados similares en su estudio realizado al norte de Corn Belt (EE.UU), sobre un suelo franco-arcilloso bien drenado. La incorporación de un CC luego de la cosecha de maíz reduce un 11-13% la lixiviación de nitratos residuales comparado con un barbecho sin cobertura. Así, el CC disminuye la cantidad de nitratos residuales susceptibles de ser lixiviados principalmente durante los barbechos demasiado prolongados (Kessavalou & Walters, 1999).

Dependiendo de su manejo es posible sincronizar y mejorar 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 & Quiroga, 2012).

Otros beneficios de los CC radican en que una mayor cobertura de biomasa aérea en superficie permite disminuir la amplitud térmica del suelo, que se traduce en menos

pérdida de agua por evaporación, mejorando la eficiencia del uso del agua (EUA) hasta a veces llegar a aumentar la disponibilidad para el cultivo sucesor en función a la época de secado (Basanta *et al.*, 2016; Lardone *et al.*, 2014; Sa Pereira *et al.*, 2012; Scianca, 2010). Según Baigorria y Cazorla (2010), la EUA es variable y se encuentra condicionada por el contexto climático durante el ciclo de crecimiento del CC. Además ayudan a mejorar el balance de carbono orgánico del suelo (COS) (Basanta & Alvarez, 2015). También, genera protección contra el impacto de las gotas de lluvia al 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 (Kruger & Quiroga, 2012).

3.4 Utilización de compost en los sistemas agrícolas

Otra alternativa para mejorar la fertilidad del suelo y restituir los nutrientes extraídos por los cultivos que pueden condicionar la sostenibilidad de los sistemas de producción es la aplicación de residuos orgánicos generados en las mismas explotaciones agrícolas y ganaderas o en zonas urbanas. En las sociedades modernas las actividades de consumo, el crecimiento demográfico y el desarrollo industrial, determinan un aumento incesante en la generación de residuos, pudiendo clasificarse los mismos en orgánicos e inorgánicos y destacando los primeros por su elevado volumen de producción y su capacidad para generar impacto ambiental. Existen tres grandes sectores productores de residuos orgánicos: el sector primario que genera residuos agrícolas, ganaderos y forestales, el sector industrial (sector secundario) y por último los sectores urbanos (sector terciario) (Tortosa, 2009). La gran variedad de residuos que producen estos sectores, presentan un contenido elevado en materia orgánica con posibilidad de compostar, potencialmente utilizable como enmienda, o también denominado, abono orgánico.

La aplicación de compost puede producir en el suelo los efectos que llevan a un incremento en la materia orgánica una vez establecido el balance mineralización y humificación, en función de factores tales como la madurez del compost, tipo de suelo, contenido de materia orgánica original del suelo, pH, temperatura, humedad, aireación y presencia de cultivos. El incremento de las poblaciones microbianas del suelo es consecuencia de la gran variedad de microorganismos que pueden estar presentes en un compost, así como el aporte de sustrato carbonado foráneo (Alvariño, 2003). La adición de compost produce generalmente una mejora de las propiedades físicas y químicas del suelo (infiltración, estabilidad estructural, densidad aparente, etc), un incremento del pH del suelo y un aumento de la conductividad eléctrica; esto último es un factor a tener en cuenta ya que puede generar complicaciones en la germinación o sobre el cultivo (Álvarez *et al.*, 2016). 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 para el cultivo sucesor (De Batista & Arias, 2010; Lauric *et al.*, 2010; Re & Ferrer, 2015).

Es importante destacar que los compost poseen parte de los nutrientes en forma inmediatamente disponible y otra fracción debe ser mineralizada para liberarlos (Figueroa Barrera *et al.*, 2012; Sosa, 2015). Los compost de origen vegetal poseen menor contenido de nitrógeno y fósforo. A su vez, el de cama de pollo suele tener mayor contenido de fósforo (Álvarez & Rimski-Korsakov, 2016). El efecto sobre el nitrógeno dependerá, de las relaciones C/N y lignina-celulosa, entre otras de las características del compost. En tal sentido, se han atribuido al compost derivado de residuos sólidos urbanos un importante efecto residual en lo que a nitrógeno se refiere. Dependiendo del material que se utilice para el compostaje los valores de nitrógeno varían de 0,3 a 1,5 % (3 a 15 g por kg de compost), los de fósforo de 0,1 a 1 % y para potasio 0,3 a 1 % (Román *et al.*, 2013). Estos materiales también contienen cantidades apreciables de micronutrientes que estarán a disposición de los cultivos, en razón de lo cual, han sido considerados como correctores de deficiencias de estos elementos en el suelo (Alvariño, 2003).

La utilización de residuos debe ser tomada como una estrategia a largo plazo donde se preserva el medio ambiente y se conserva la fertilidad del suelo. Son una alternativa viable para reutilizarlos dentro del sistema, disminuir su exportación, y evitar una fuente de contaminación, solucionando así el destino final de los mismos. Además de que este sistema englobaría y daría una solución integrada a distintas problemáticas tales como la disminución de la fertilidad de los suelos, el efecto de su degradación y contaminación por una mala praxis agrícola debido a un empleo excesivo de agroquímicos y productos fitosanitarios, entre otros problemas. Por otra parte, el incremento en la producción de residuos orgánicos en nuestras sociedades como consecuencia de la actividad económica revela que la aplicación de estos en los suelos y en la agricultura podría ser una de las principales alternativas para la problemática de la falta de materia orgánica, además de su tratamiento, como la gestión eficaz de los mismos, obteniendo así una solución conjunta para dos problemas (Tortosa, 2009).

3.5 Hipótesis

1. Los barbechos con cultivos de cobertura o aplicación de distintos tipos de compost como alternativas del barbecho químico, aumentan la cantidad de N total y P disponibles.
2. Los barbechos con cultivos de cobertura o aplicación de distintos tipos de compost como alternativas del barbecho químico, modifican el agua útil disponible para el cultivo sucesor.

3.6 Objetivo general

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

3.7 Objetivos específicos

- Analizar el efecto de las diferentes estrategias de manejo del barbecho interpretando los valores de nitrógeno total (Nt, %) y fósforo extractable (P, ppm).

- Analizar el efecto de las diferentes estrategias de manejo del barbecho sobre la humedad volumétrica y agua útil.
- Analizar el uso consuntivo y costo hídrico de los cultivos de cobertura.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Sitio experimental

El ensayo se llevó a cabo en la Estación Experimental Julio Hirschhorn (34° 52' LS, 57° 58' LO), localizada en Los Hornos, partido de La Plata, perteneciente a la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, de la Universidad Nacional de La Plata.

El suelo donde se realizó el ensayo pertenece a la serie Centeno, descrito por Lanfranco & Carrizo (1988, sin editar) clasificado taxonómica como: Argiudol vértico, Familia arcillosa fina illítica térmica. Se determinó Carbono Orgánico (CO), Materia Orgánica (MO), P extractable Bray- Kurtz, Nitrógeno Total (Nt) al inicio del ensayo, densidad aparente (Da), capacidad de campo (CaC) y punto de marchites permanente (PMP) (Tabla 1).

Tabla 1: Composición química y datos físicos del suelo al inicio del ensayo.

Nutrientes	Unidad	Valor
CO	(%)	1,75
MO	(%)	3,02
P Bray	(ppm)	8,2
Nt	(%)	0,164
Da	(g /cm ³)	1,2
CaC (60 cm Prof)	(mm)	278
PMP (60 cm Prof)	(mm)	115

Se analizaron las condiciones climáticas respecto a lluvias y temperatura del año 2018 y las históricas, entre el año 1966 y 2018, con los datos aportados por el boletín Agro-meteorológico de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Estación Experimental Ing. Agr. J. Hirschhorn (Pardi, 2018). En el anexo 1 se dispone de información complementaria respecto a las características climáticas de la zona.

4.2 Tratamientos y diseño experimental

El diseño experimental fue en bloques al azar con tres repeticiones y parcelas divididas (21 m²), correspondiendo la parcela principal a las secuencias y la subparcelas a los tratamientos de barbecho.

En el año 2017 se inició el ensayo con dos secuencias de cultivos en siembra directa (S1): trigo/soja 2° – soja 1° – soja 1° y (S2): cebada/soja 2° – maíz – soja 1°. En el anexo 2 se dispone de información complementaria de la secuencia de cultivos.

En el año 2018 entre la cosecha de soja 2° (S1 y S2) y la siembra de soja 1° (S1) y maíz (S2), se realizaron 5 tratamientos de barbechos: 1) Testigo (T) considerado como el manejo habitualmente realizado por los productores de la zona (con barbecho químico y aplicación de fertilizante fosforado y nitrogenado sobre los cultivos para grano) (Tabla 2); 2) Agregado de compost de cama de pollos parrilleros (CCP); 3) compost cama de caballos con guano de conejo (CCC); 4) compost residuos sólidos urbanos (CRSU) y 5) inclusión de cultivos de cobertura (CC).

Tabla 2: Testigo: fertilizantes y barbecho químico.

Secuencia	Cultivo antecesor	Cultivo sucesor	Aplicación	Tratamiento	
				Tipo	Dosis (lts/kg ha ⁻¹)
S1	Trigo	Soja de Segunda	Fertilizante	Nitrogenada	100
				Fosforado	80
S2	Cebada		Herbicida	Glifosato (48%)	2

Los CC fueron sembrados el 14 Junio posterior a la cosecha de soja de segunda, sin la remoción del suelo y de forma manual. Fueron secados el 4 Octubre a través de la aplicación de herbicida Glifosato a una dosis de 2 l ha⁻¹, cumpliendo un periodo total de crecimiento de 113 días. La aplicación del herbicida se realizó para todos los tratamientos y en ambas secuencias. En el CC se incluyó una leguminosa sin inocular (*Vicia* sp) y una

gramínea (*Avena* sp). Se utilizó una densidad de 70 kg ha⁻¹ de Avena (A) y 40 kg ha⁻¹ de Vicia (Vs) a una distancia entre línea de 30 cm (Tabla 3).

Los compost se aplicaron el 3 de agosto del 2018. Debido al tamaño de las parcelas 3 m de ancho y 7 m de largo, se aplicó en forma manual. De acuerdo a los datos existentes en la bibliografía (Biolur, 2013; Golabi *et al.*, 2004; Sarwar *et al.*, 2007), considerando tipo de suelo, para cultivos extensivos y tipo de compost se utilizó una dosis húmeda de 20 t ha⁻¹, lo que implicó 2 kg m⁻².

Tabla 3: Fecha de siembra del cultivo de cobertura (CC) y aplicación de compost para cada uno de los tratamientos [compost de cama de pollo (CCP), compost de residuos sólidos urbanos (CRSU), compost de cama de caballo y conejo (CCC) y testigo (T)].

Tratamiento de barbecho	Fecha de siembra del CC	Aplicación de compost	Densidad/Dosis seca
CCP	-	03/08/2018	10 t ha ⁻¹
CRSU	-		10 t ha ⁻¹
CCC	-		8 t ha ⁻¹
CC	14/06/2018	-	70 kg ha ⁻¹ Avena + 40 kg ha ⁻¹ Vicia
T	-	-	-

Antes de la aplicación de las enmiendas se analizó para cada tipo de compost: humedad, pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, cenizas, nitrógeno total y fósforo total (Tabla 4).

Tabla 4: característica de los compost: Compost de cama de pollo (CCP), compost de residuos sólidos urbanos (CRSU) y compost de cama de caballo y conejo (CCC).

PARÁMETRO	UNIDAD	COMPOST		
		CCP	CRSU	CCC

HUMEDAD	%	58	49	76
PH (pasta 1:1)	-	8,6	7,3	6,7
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	dS m ⁻¹	16,2	10,5	5,6
MATERIA ORGÁNICA	%	50	44	58
CENIZAS	%	50	56	42
NITRÓGENO TOTAL	%	2,5	1,9	2,6
P total	%	1,3	0,4	1,2

4.3 Evaluaciones

Para los CC, al momento de secado, se evaluó la producción de materia seca aérea total (MS). La misma se realizó mediante corte de las plantas en una superficie de 1 m² al ras del suelo en los surcos centrales de las parcelas. Luego se colocaron las muestras en estufa con ventilación forzada a 60°C hasta obtener peso constante; el peso obtenido finalmente se expresó como producción de MS en kg ha⁻¹. También se determinó la concentración de N en la biomasa aérea por medio de una digestión húmeda y destilación Kjeldahl que posteriormente se multiplicó por la materia seca para obtener la acumulación de N expresado en kg ha⁻¹.

Se determinó 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 suelo, a una profundidad de 0-20 cm al inicio y final del barbecho.

En cada uno de los tratamientos de barbecho se determinó, a distintas profundidades (0-20, 20-40 y 40 a 60 cm), contenido hídrico antes y después de cada estrategia de barbecho (Hi y Hf, respectivamente), por el método gravimétrico. El valor de humedad gravimétrica (HG) se afectó por la profundidad (Prof) de muestreo y densidad aparente del suelo (DA), la cual se determinó utilizando el método del cilindro, volumen

54,3 cm³ (Burke & Bouma, 1986), obteniendo el valor de humedad volumétrica (HV) total o lámina de agua total para cada momento de muestreo. A partir de ello se realizó el cálculo de agua útil inicial (AUi) y final (AUf), considerando el punto de marchitez permanente (PMP) determinado por el método olla de Richard (Richard, 1948).

$$\text{Ecuación [Ec. 1]} \quad HV = HG \times Prof \times DA.$$

$$\text{[Ec. 2]} \quad AU = HV - PMP$$

Se determinó el uso consuntivo (UC) del CC, mediante la suma del contenido hídrico del suelo al momento de la siembra, las precipitaciones (Pp) 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: $UC \text{ (mm)} = (AUi + Pp - AUf)$ [Ec. 3]. Se determinó el costo hídrico (CH) de incluir CC comparándolos con el testigo. El mismo se calculó como el agua AUf del barbecho menos AUf del CC al momento de secado: $CH \text{ (mm)} = AUf \text{ del T} - AUf \text{ del CC}$ [Ec 4].

4.4 Procesamiento de datos

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 (Di Rienzo *et al.*, 2016). Se analizaron los factores principales y sus interacciones para todas las variables consideradas.

5. RESULTADOS

5.1 Condiciones climáticas durante el periodo de ensayo

Las precipitaciones durante el período de barbecho (Junio a Octubre) fueron de 296,8 mm (Tabla 5). Los meses de enero, marzo, y mayo superaron las precipitaciones históricas, lo que retrasó la cosecha de soja de segunda y la posterior siembra del CC. Los meses con menores precipitaciones durante el período de barbecho fueron junio, agosto y octubre; comparados con los promedios históricos. La temperatura media mensual resultó inferior a la histórica para los meses de junio, julio, agosto y octubre, presentando sólo para el mes de septiembre una temperatura media superior a la histórica durante el período de barbecho (Figura 1).

Tabla 5: Precipitaciones mensuales y promedios históricos de 1966-2018.

Meses	Temperatura media (°C)	Temperatura media histórica (°C)	Precipitaciones (mm)	Precipitaciones Promedio histórico (mm)
Enero	23	23,8	111,4	105,7
Febrero	23	22,6	19,8	108,9
Marzo	20	20,5	112,6	108,2
Abril	20	15,9	77	85
Mayo	15	13,6	166,6	80,2
Junio	9	10,6	27,2	54,4
Julio	9	10,2	105,8	64
Agosto	10	11,5	45	61,5
Septiembre	15	13	123,4	89,8
Octubre	16	16,5	20,4	96,4
Noviembre	20	19,2	118,8	98,4
Diciembre	21	22,3	226,6	78,9

Total
acumulado

1154,6	1031,4
--------	--------

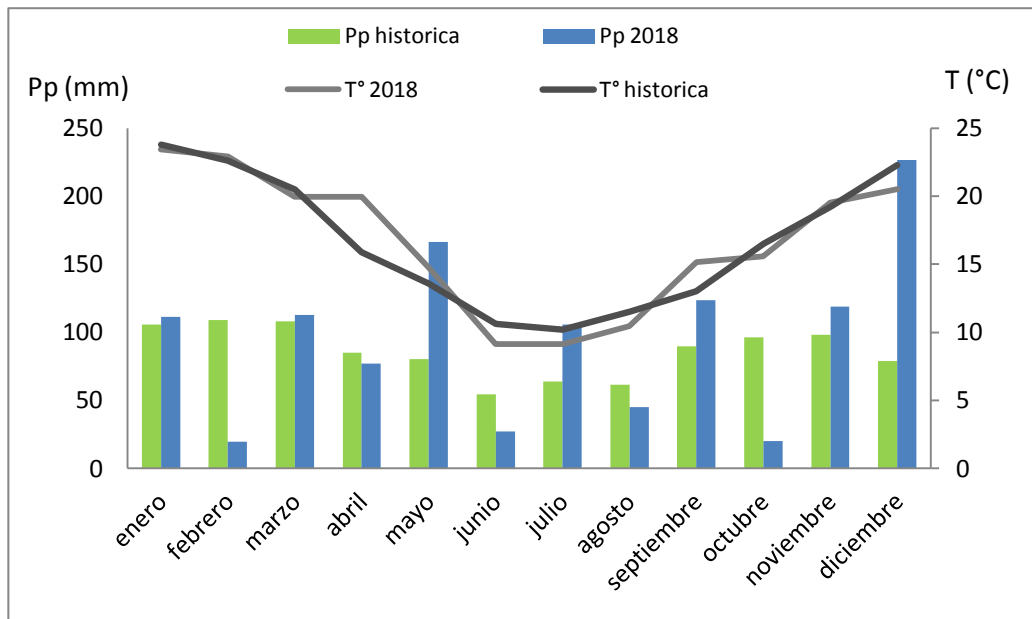


Figura 1: Datos de precipitaciones del 2018 e histórico 1966-2018, Estación Experimental J. Hirschhorn, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (UNLP).

5.2 Producción de MS y acumulación de N en el cultivo de cobertura

Los valores de MS variaron entre 1600 y 2500 kg ha⁻¹. No existieron diferencias significativas entre secuencias, siendo la producción de MS muy similares. Para N en la biomasa aérea los valores oscilaron entre 30-50 kg N ha⁻¹. No hubo diferencias significativas. La S2 fue la de mayor concentración de N con un valor de 45,90 kg N ha⁻¹.

La relación entre MS y N se observa en la figura 2. Los valores fluctuaron entre 19,2 kg N por t de MS y 20,5 kg N por t MS producida, para S1 y S2, respectivamente.

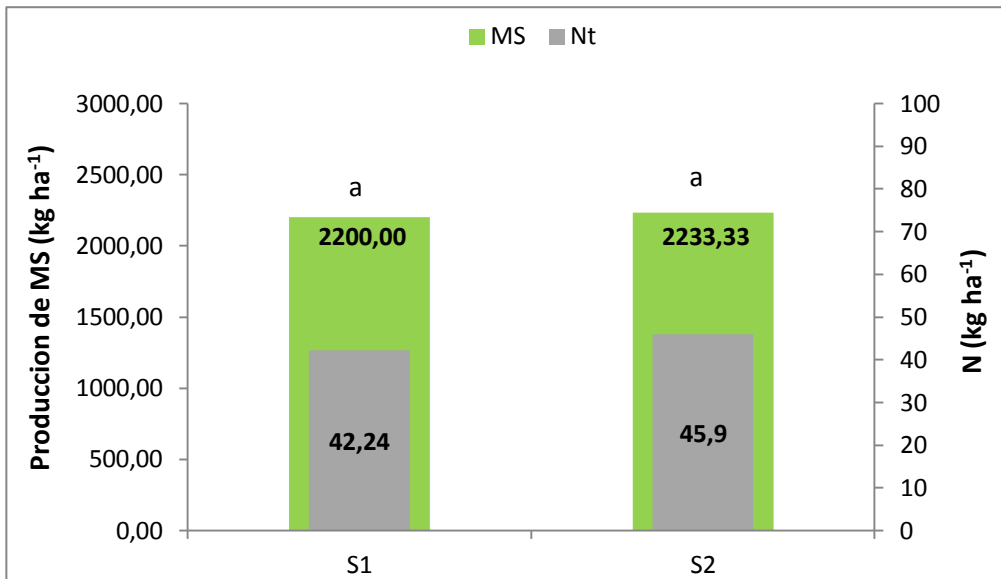


Figura 2: Relación entre MS y N en kg ha⁻¹ para ambas secuencias. Medias seguidas por la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($P < 0,05$).

5.3 Contenidos de Nt y P extractable, en el suelo, al inicio y final de barbecho

No se encontró interacción significativa entre secuencia y tratamiento en ninguno de los nutrientes analizados.

El contenido de P extractable (ppm), previo a los tratamientos de barbecho no se diferenció significativamente entre secuencias. La mayor concentración de P en términos absoluto se registró en la S2 (Figura 3), con un valor de 8,62 ppm. Luego de los tratamientos, al final de barbecho, tampoco hubo diferencias significativas entre las secuencias (Figura 3). Pero si se observó un aumento en la concentración de P extractable para ambas secuencias respecto al inicio de barbecho. Para los tratamientos de barbecho, se encontraron diferencias significativas. En los barbechos, el mayor valor fue para el compost de caballo y conejo (CCC) que se diferenció estadísticamente respecto (T), (CC), (CRSU) y (CCP) (Figura 4). A su vez, CRSU y CCP, no se diferenciaron significativamente entre sí, pero si se diferenciaron respecto al T y CC, que no presentaron diferencias significativas entre sí en la concentración de fósforo (figura 4).

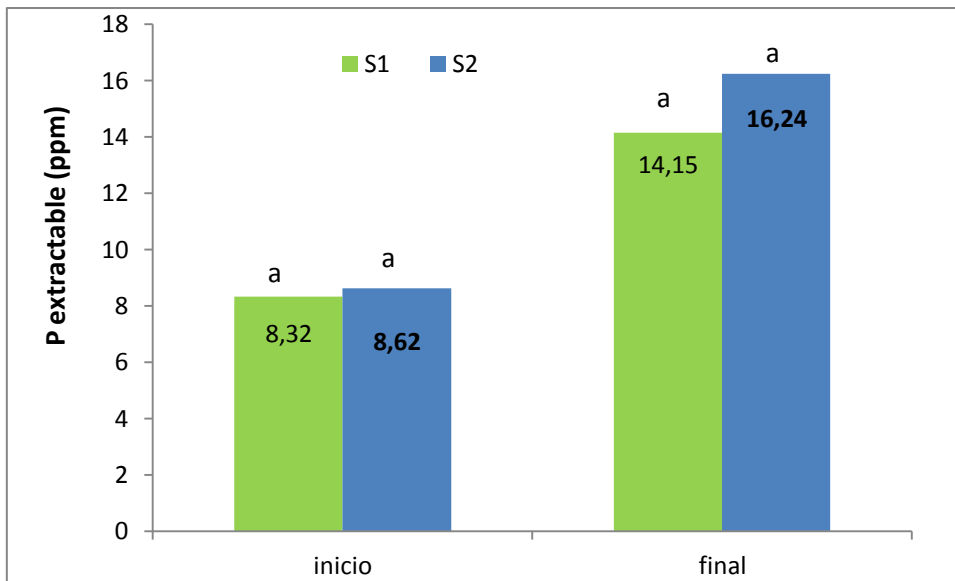


Figura 3: Contenido de P (ppm) al inicio y final de barbecho, para 2 secuencias de cultivos: S1: trigo/soja 2° – soja 1° – soja 1° y S2: cebada/soja 2° – maíz – soja 1°. Medias seguidas por la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($P < 0,05$).

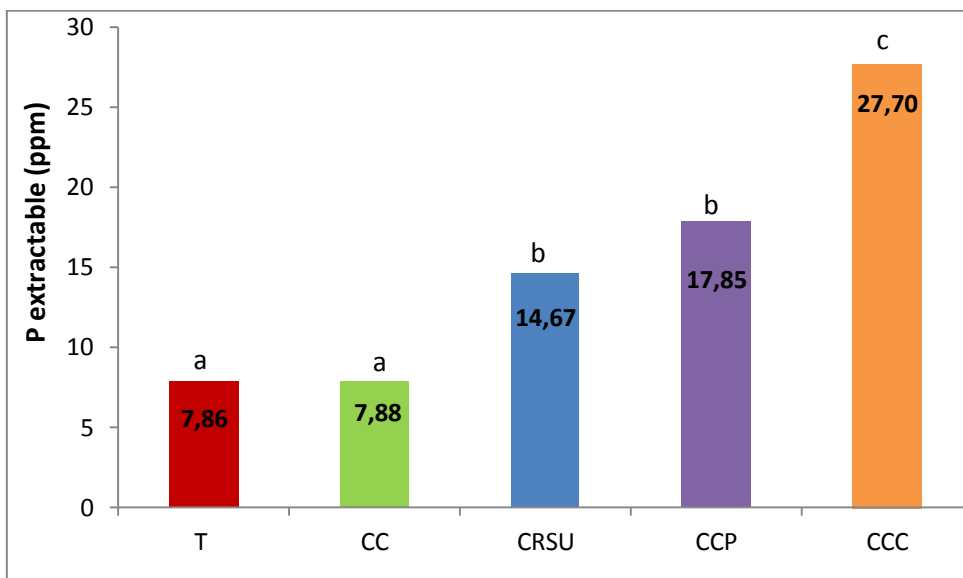


Figura 4: Contenido de P Bray- Kurtz (ppm) al final de barbecho post tratamiento, sobre: testigo (T), cultivo de cobertura (CC), compost de residuos sólidos urbanos (CRSU), compost cama de pollo (CCP) y compost de caballo y conejo (CCC). Medias seguidas por la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($P < 0,05$).

En cuanto al Nt (%), previo a los tratamientos de barbechos no se diferenció significativamente entre secuencia. La mayor concentración de Nt se registró en la S1

(Figura 5), con un valor de 0,160%. Luego de los tratamientos, al final de barbecho, tampoco hubo diferencias significativas entre secuencias (Figura 5). Se observó un aumento en la concentración de Nt para ambas secuencias respecto al inicio de barbecho. Para los tratamientos de barbecho, no se encontraron diferencias significativas (Figura 6). El tratamiento CCP registró la mayor concentración de Nt (%) respecto a los demás tratamientos. Mientras que el tratamiento CC junto con el T presentaron la concentración más baja.

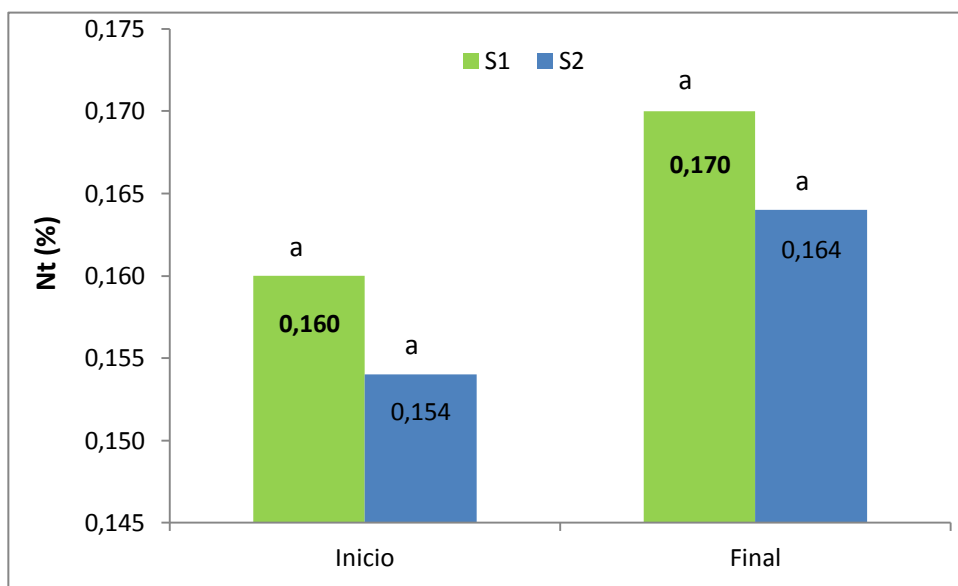


Figura 5: Contenido de N (%) al inicio y final de barbecho, para dos secuencias de cultivos: S1: trigo/soja 2° – soja 1° – soja 1° y S2: cebada/soja 2° – maíz – soja 1°. Medias seguidas por la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

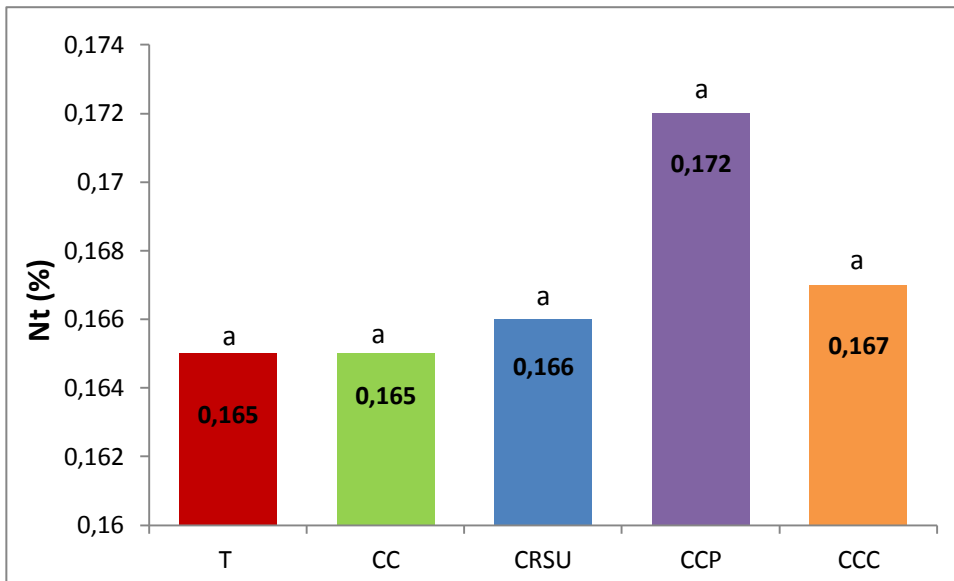


Figura 6: Contenido de Nt (%) al final de barbecho post tratamiento, sobre: testigo (T), cultivo de cobertura (CC), compost de residuos sólidos urbanos (CRSU), compost cama de pollo (CCP) y compost de caballo y conejo (CCC). Medias seguidas por la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($P < 0,05$).

5.4 Contenidos hídricos y agua útil al inicio y final del barbecho. Uso consuntivo y costo hídrico

El contenido hídrico inicial (H_i , mm) no presentó diferencias significativas para las secuencias (Figura 7), la S2 presentó el mayor valor. El contenido hídrico final tampoco presentó diferencias significativas para las secuencias (figura 7), su mayor valor fue en S2.

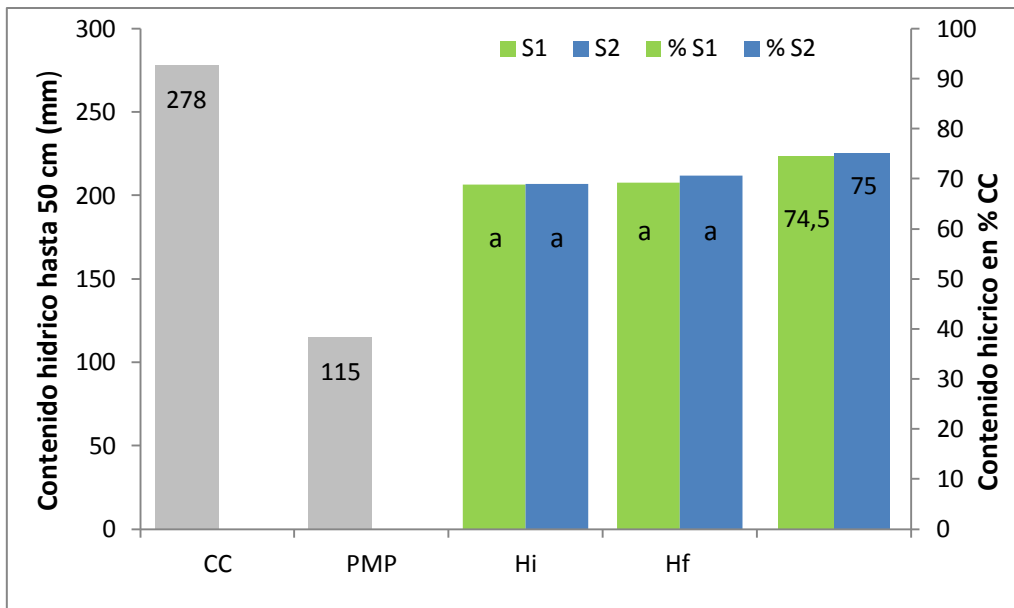


Figura 7: Contenido hídrico inicial y final, expresada en mm y en % de la CC, para las dos secuencia de cultivo: S1: trigo/soja 2° – soja 1° – soja 1° y S2: cebada/soja 2° – maíz – soja 1°. Medias seguidas por la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

Respecto a los tratamientos de barbechos, no se observó diferencias significativas en la humedad inicial ni en la final (Hf, mm). La Hf resultó menor en el tratamiento CC y mayor en los otros tratamientos: CCP, CCC, CRSU y T (Figura 8). El tratamiento que mayor Hf presentó fue el de CCP.

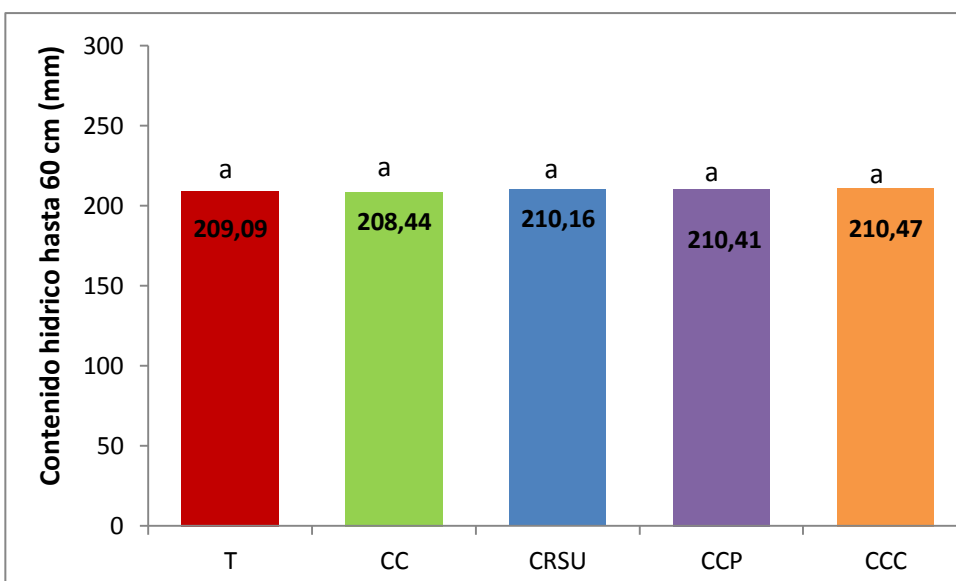


Figura 8: Contenido hídrico final (mm) en el suelo post tratamiento sobre: testigo (T), cultivo de cobertura (CC), compost de residuos sólidos urbanos (CRSU), compost cama de pollo (CCP) y compost de caballo y conejo (CCC). Medias seguidas por la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($P < 0,05$).

El agua útil inicial (AUi), previo a los tratamientos de barbechos, no presentó diferencias significativas para las secuencias (Figura 9). Para el agua útil final (AUf) al momento de secado del CC, post tratamientos de barbecho, tampoco presentaron diferencias significativas para las secuencias (figura 9).

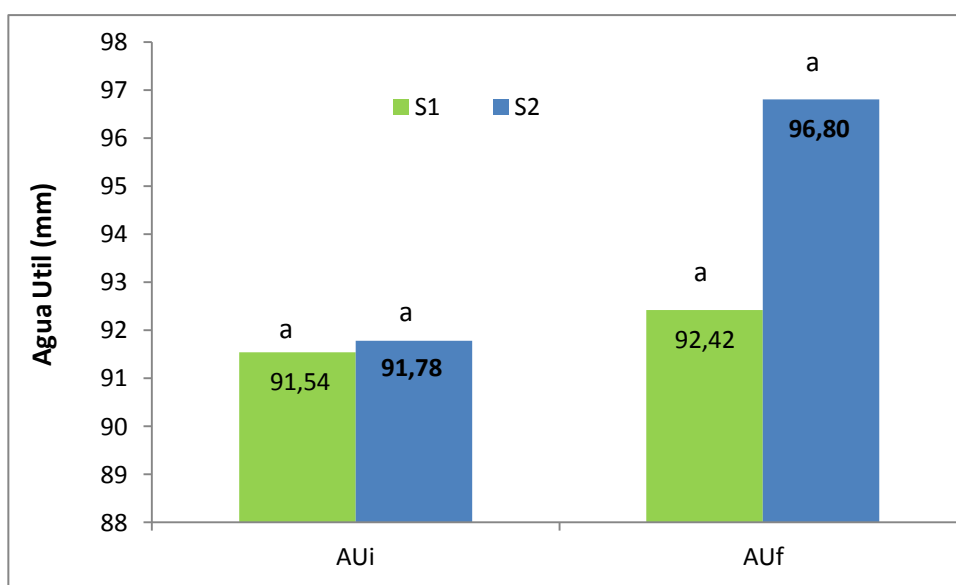


Figura 9: Agua útil inicial y agua útil final, para dos secuencias de cultivos: S1: trigo/soja 2° – soja 1° – soja 1° y S2: cebada/soja 2° – maíz – soja 1°. Medias seguidas por la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

Respecto a los tratamientos de barbecho, no existieron diferencias significativas (Figura 10) en el AUf. No obstante, resultó mayor en el tratamiento CCC respecto a los demás. Los tratamientos de menor contenido de agua útil fueron CC y T; mientras que los demás tratamientos presentaron valores intermedios. El tratamiento CC tuvo un consumo mayor de agua y dejó el perfil más seco para la implantación de cultivo sucesor comparado con el tratamiento T, sin embargo, este tratamiento presentó pérdida de humedad por evaporación directa del suelo sin producción de biomasa al inicio de

barbecho y luego una pérdida de evapotranspiración cuando desarrollaron malezas (Tabla 6).

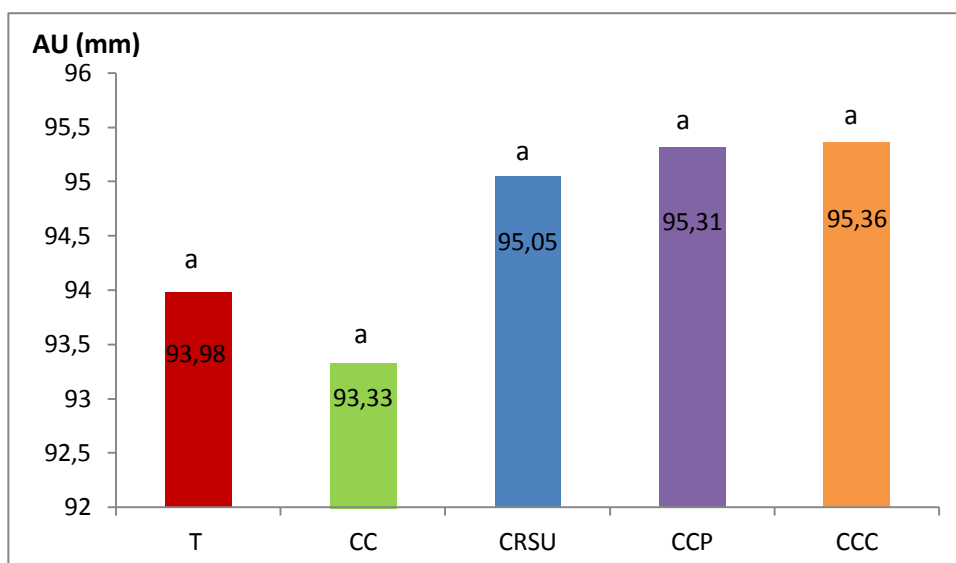


Figura 10: Contenido de agua útil final del barbecho post tratamiento, sobre: testigo (T), cultivo de cobertura (CC), compost de residuos sólidos urbanos (CRSU), compost cama de pollo (CCP) y compost de caballo y conejo (CCC). Medias seguidas por la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($P < 0,05$).

Tabla 6: Contenido de agua útil inicial (AUi) y final (AUf) en (mm) hasta los 60 cm profundidad, post tratamiento; ambas secuencias y uso consuntivo (UC) en (mm).

Secuencia	Tratamiento	AUi (mm)	AUf (mm)	Pp (mm)	UC (mm)	CH (mm)
1	T	91,54	93,98	296,8	294,36	0,65
	CC		93,33		295,01	
Secuencia	Tratamiento	Aui (mm)	Auf (mm)	Pp (mm)	UC (mm)	CH (mm)
2	T	91,78	93,98	296,8	294,6	0,65
	CC		93,33		295,25	

Respecto al costo hídrico (CH), comparado con el testigo, es insignificante, por ende, la inclusión del CC no se diferenció del testigo. El UC no presentó diferencias entre

tratamiento, ni entre secuencia; debido a un crecimiento de malezas en el tratamiento T que no fueron cuantificadas ni medidas (Figura 11).

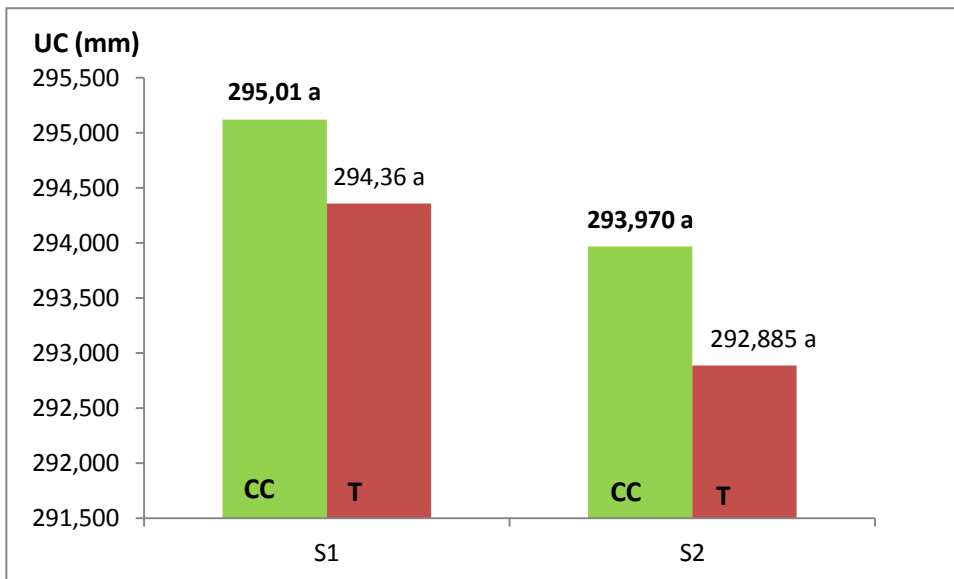


Figura 11: Uso consuntivo (UC) en mm para los tratamientos T y CC en ambas secuencias. Medias seguidas por la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

No hubo interacción significativa secuencia por tratamiento para ninguna de las variables consideradas.

6. DISCUSIÓN

6.1 Producción de materia seca aérea total y acumulación de N en la biomasa aérea del CC

La producción de materia seca total al momento de secado se vio influenciada por el exceso de precipitaciones que retrasaron la fecha de siembra del CC, lo que produjo un acortamiento en el periodo de crecimiento de dicho cultivo. La S2 fue la de mayor producción de MS (2233,33 kg MS ha⁻¹). Estos valores de productividad se asocian con la concentración de Nt (%) y P extractable (ppm) del suelo que presentaba la S2 (0,154 % y 8,62 ppm), respecto a la S1, aunque no se observaron diferencias significativas para Nt y P extractable en el suelo del ensayo.

Según Caviglia *et al* (2013) la producción de materia seca total de un CC depende de la especie, la fertilización utilizada, del suelo, de las precipitaciones y de la fecha de secado. En este sentido, Baigorria y Cazorla (2010) observaron diferencias significativas en la producción de MS de los CC evaluados, entre especies y con fertilización, la consociación entre A + Vs produjo mayor MS con fertilización (5044 kg MS ha⁻¹) que sin fertilizar (3704 kg MS ha⁻¹). Y de todas las especies usadas en el ensayo, el Triticale con fertilización fue el que mayor producción de MS generó (5568 kg MS ha⁻¹), respecto al Centeno (3570 kg MS ha⁻¹) y Vs (1223 kg MS ha⁻¹). En nuestro ensayo no se fertilizó pero se observó una relación entre la concentración inicial de P (ppm) y Nt (%) que presentaba el suelo para las distintas secuencias, mostrando mayor producción en la secuencia que estaba mejor provisto de Nt y P extractable.

Durante el período de crecimiento del CC (Junio-4 Octubre) las precipitaciones totales fueron de 296,8 mm, de los cuales en tres meses la precipitación no superó el promedio histórico de la serie 1966-2018. La producción de materia seca depende del agua disponible al inicio de barbecho y de la capacidad de almacenamiento del suelo. Scianca (2010) encontró que el contenido de agua total al inicio de barbecho explicó el 57 % de la variabilidad de la producción de MS, mientras que el contenido de agua total en el

suelo a la siembra (contenido hídrico final) más las precipitaciones durante el ciclo de desarrollo de los CC, explicó el 89 % de dicha variabilidad para el cultivo de raigrás, avena y centeno. De esta forma, la producción de MS se incrementó con la oferta hídrica del suelo y las precipitaciones. En este sentido, el Hi fue de 206 mm promedio entre secuencias, lo que representa el 74% de la capacidad de campo; y las precipitaciones fueron menores que los promedios históricos para los meses de junio (27,2 mm), agosto (45 mm) y octubre (20 mm), lo que determinó una escasa producción de materia seca.

El período de crecimiento del cultivo de cobertura se puede manejar tanto desde el punto de vista de la siembra, adelantando o retrasando la misma; como así también, alterando la fecha de secado. En el ensayo el período de crecimiento fue de 113 días. Capurro *et al* (2010) encontraron diferencias significativas en la producción de MS (A+Vs) evaluando distintas fechas de secado. Los períodos de crecimiento del CC fueron entre 125 y 169 días. El CC tuvo un incremento del 127 y 233% en la producción de MS (11.536 kg MS ha⁻¹) al retrasar la fecha de secado (4/11), en referencia al primer momento de supresión evaluado (3464 kg MS ha⁻¹) (21/9). Esta mayor productividad la asoció a la mayor tasa de crecimiento del CC y a la mayor cantidad de precipitación ocurrida durante el ciclo de crecimiento (353 mm) comparada con la primera fecha de supresión (222 mm).

Según la recopilación bibliográfica, la acumulación de N en la biomasa aérea del CC es variable, y está fuertemente relacionada con la producción de materia seca. Capurro *et al* (2012) en un ensayo realizado sobre un argiudol típico serie Correa, con 16 años de agricultura continúa, con similares características en cuanto a precipitaciones y de densidad de siembra del CC Avena y Vicia, obtuvo una producción de materia seca de 2700 a 7800 kg MS ha⁻¹ y una acumulación de N de 70 a 90 kg ha⁻¹. La acumulación de N (kg ha⁻¹) en la biomasa del CC, en nuestro ensayo, osciló entre 30-50 kg ha⁻¹. Los valores obtenidos están por debajo de valores que muestran los trabajos recopilados (Capurro *et al.*, 2012), asociado esto a la escasa producción de materia seca lograda.

También se debe considerar que la Vicia, como otras leguminosas, tiene la capacidad de fijar N atmosférico mediante la simbiosis con bacterias del género

Rhizobium. Este proceso es muy eficiente en suelos con ciertas deficiencias del nutriente. La actividad de fijación simbiótica está regulada por la disponibilidad de N inorgánico en el suelo y la inoculación, entre otros aspectos. Según Rochester y Peoples (2005), de la acumulación total de N en la biomasa de vicia, el 75 al 90% deriva de la fijación biológica de N. Por ello, es importante asegurar la presencia de la bacteria en siembras de vicia mediante la inoculación de la semilla. En el ensayo, el contenido de Nt (%) del suelo fue considerado entre valores medios, esto se vió exacerbado muy probablemente por la ausencia de inoculación.

La acumulación de N en la biomasa del CC es un puente en la dinámica del nutriente para el cultivo sucesor dentro de los barbechos largos que se dan en la región pampeana. El N capturado en la biomasa se libera en función a la tasa de mineralización/descomposición de la MS que depende fundamentalmente de las condiciones climáticas, principalmente temperatura y humedad, edáficas como textura y materia orgánica y de la relación C:N que tenga dicho rastrojo. Por su alta concentración de N y baja relación C:N que tienen los CC de Vicia o su consociación con gramíneas, el aumento en la proporción de vicia disminuye el potencial de inmovilización de N durante la descomposición de los residuos, proceso que se observa, frecuentemente, con residuos de gramíneas; entonces los residuos se pueden descomponer rápidamente en el suelo, liberar el N y dejarlo disponible para el cultivo siguiente (Sá Pereira *et al.* 2012). Los mismos autores evaluaron la concentración de Nt en kg ha^{-1} , en los primeros 60 cm de suelo, a la siembra de Maíz, y reportaron valores de $148,4 \text{ kg ha}^{-1}$ de N disponible con antecesor Vicia comparado con el testigo sin CC ($50,5 \text{ kg ha}^{-1}$). También, Ruffo y Parsons (2004) determinaron que la inclusión de leguminosas reduce los requerimientos de fertilizantes nitrogenados e incrementa el rendimiento potencial del cultivo sucesor. Estos autores compararon la respuesta del maíz a la fertilización nitrogenada con una leguminosa como CC antecesor y el testigo sin CC. Observaron que el rendimiento de maíz era superior en el lote que tuvo como antecesor al CC, a bajas dosis de fertilizantes, pero con altas dosis esta diferencia desaparece. Asocia esta diferencia en bajas dosis, al

aporte de N que realiza el CC denominándose “Efecto de rotación”. Luego estimaron el aporte de N del CC al maíz, calculando el Valor de Reemplazo de Fertilizante (dosis de fertilizante a la cual el maíz que proviene del barbecho sin CC iguala en rendimiento al que tiene como antecesor un CC y sin fertilizar). Estos valores oscilan entre 60 y 100 kg N ha⁻¹. Comparando estos valores con los obtenidos en el ensayo (30-50 kg N ha⁻¹) se puede inferir que el CC forma una fuente de reserva de N del cual se irá mineralizando y estará disponible para el cultivo sucesor, permitiendo disminuir el uso de fertilizantes de síntesis química.

6.2 Dinámica de nutrientes en el suelo, al inicio y final del barbecho, post tratamiento: P extractable (ppm) y Nt (%)

Según ciclo biogeoquímico del fósforo (P), el origen del nutriente proviene de la roca madre; que por el proceso de meteorización libera fosfato disponible para ser absorbidos por las plantas. También por agregado de fertilizantes de síntesis química u abonos orgánicos se puede incrementar la concentración del P en el suelo. El P se encuentra en el suelo en forma orgánica e inorgánica. A su vez, dentro del componente inorgánico puede encontrarse en solución (una fracción muy pequeña), adsorbido a los coloides del suelo, precipitado con calcio, hierro o aluminio, o en los minerales primarios (Rubio & Álvarez, 2012).

La aplicación de diferentes tipos de compost y la inclusión de CC alteran la dinámica del nutriente en el suelo, es decir, las formas orgánicas e inorgánicas en la solución del suelo. El contenido de P extractable (ppm), previo a los tratamientos de barbechos no se diferenció significativamente entre secuencias. La mayor concentración de P se registró en la S2 (8,62 ppm). Luego de los tratamientos, al final de barbecho, tampoco se diferenciaron significativamente las secuencias. Se observó una tendencia al aumento en la concentración de P extractable respecto al inicio de barbecho. En las dos secuencias evaluadas el aumento de P respecto al inicio osciló entre 5,83 ppm a 7,62 ppm de P, llegando a un valor máximo de 16,24 ppm de P para la S2.

Dentro de los diferentes compost aplicados en el barbecho, el CCP (1,3 % P total) y CCC (1,2 %) son los que mayor concentración de fósforo presentaron comparado con el CRSU (0,4 %). A su vez, las dosis usadas para CCP y CRSU fueron de 10 t MS ha⁻¹ y 8 t MS ha⁻¹ para CCC. En función a la concentración y dosis aplicada, se estima que se aporta en bruto una cantidad de 130 kg ha⁻¹ de P total (CCP), 40 kg ha⁻¹ (CRSU) y 120 kg ha⁻¹ de P total para CCC. Haciendo un promedio entre los tres tratamientos, podemos decir que se aplicaron 96,6 kg ha⁻¹ de P total. Teniendo en cuenta el aumento en la concentración de fósforo en el suelo para los tratamientos con compost (14,67-17,85 y 27,70 ppm), en promedio, fue de 20 ppm de fósforo total. La diferencia entre el inicio y post tratamiento indican que hubo un aumento en la concentración de fósforo total de 11,53 ppm en el suelo. Según las diferentes referencias bibliográficas, se observa que para elevar 1 ppm de fósforo extractable en el suelo se necesitan 6 kg P₂O₅; el incremento observado sería equivalente a la utilización de más de 70 kg ha⁻¹ de Fosfato Di-amónico (DAP). Por eso, se encontraron diferencias significativas para los diferentes tratamientos. Si bien el CCC se aplicó a una dosis menor respecto al CRSU Y CCP, este presenta una concentración de P total similar al CCP pero con mayor contenido de MO que los demás. Por esta condición se diferencia del resto de los tratamientos en cuanto a la concentración de P en el suelo.

Los resultados obtenidos en el ensayo implican una mejora en la concentración de P del suelo debido a la aplicación de diferentes tipos de compost. Estos resultados son concordantes con los obtenidos en la Estación Experimental Agropecuaria de Concepción del Uruguay del INTA (EEA INTA); correspondiente al trabajo realizado por Re y Ferrer (2015), dicho trabajo se basó en la utilización de cama de pollo (CCP) como fertilizante de pasturas y verdeos; y un fertilizante de origen químico (Hiperfosfato) en Vertisoles de Entre Ríos (concentración de P inicial 2,8 ppm). La dosis usada y composición química del CCP fueron similares al ensayo (10 t ha⁻¹) y P total (1,24-2,5 %), los resultados del ensayo mostraron un aumento en la productividad de la pastura y verdeos (kg MS ha⁻¹) del 90% en lotes donde se aplicó CCP comparado con el fertilizante químico que registró

aumentos del 40%. Respecto a la concentración de P en el suelo, luego de la aplicación del CCP se produce un aumento de la disponibilidad de P en un rango de 5 a 45 ppm dependiendo de la época del año, mientras que para los lotes donde se aplicó el fertilizante hiperfosfato la disponibilidad se mantuvo constante a lo largo del año en valores no superiores a las 5 ppm del nutriente considerado. También, De Batista y Arias (2010), en dos ensayo diferentes, evaluaron la aplicación de distintas dosis de cama de pollo (CP) (P total 2,02%) y su efecto en la disponibilidad de nutrientes, trabajando sobre suelos Vertisoles (concentración inicial de P disponible 2,6 ppm). En el primer ensayo, todas las dosis CP (3-6-12 t ha⁻¹) provocaron un aumento en la disponibilidad de fósforo desde 9,6 ppm (menor dosis CP) y 28,7 ppm (dosis mayor CP). El segundo ensayo, el suelo presentaba una concentración inicial de P disponible 5,3 ppm. En el mismo compararon diferentes dosis de CP con un fertilizante de origen químico (Fosfato Di-amónico y Urea) y evaluaron la disponibilidad de fósforo en el suelo previo a la siembra del cultivo sucesor. Las dosis de aplicación de CP fueron 3-6-9 t ha⁻¹, lo que por su concentración inicial y dosis de aplicación equivalen a 35-70-105 kg ha⁻¹ de fósforo. La dosis para el fertilizante químico fueron 100 kg ha⁻¹ fosfato di-amónico. La concentración de fósforo en las parcelas donde se aplicó CP (3-6-9 t) presentó valores de 9,3-13,4 y 16,2 ppm, mientras que las parcelas donde se aplicó el fertilizante químico su concentración fue de 6,1 ppm.

Los beneficios de utilizar compost como opción de fertilizantes químicos también fue demostrado por Lauric *et al* (2010) en un ensayo de fertilización orgánica con guano de pollo (1,86 % P total) a una dosis de 1200 kg ha⁻¹; donde evaluó el efecto sobre el rendimiento del cultivo de trigo y la fertilidad del suelo en la campaña 2009-2010. Se observó mayores diferencias del elemento con la fertilización orgánica (26-36 ppm) respecto al bloque testigo (19-14 ppm) (sin guano), con valores de 7 y 22 ppm a las profundidades de 0-5 y 0-15 cm, respectivamente. Según la dosis y concentración inicial de P total, se aplicó 22,3 kg de fósforo proveniente del guano y el contenido de este elemento en el suelo se elevó 22 ppm. Para elevar a la misma cantidad, con un fertilizante

químico habría que agregar aproximadamente 44 Kg de fósforo como elemento. Esto resulta de suponer que, para aumentar 1 ppm fósforo en 15 cm de suelo, con una densidad aparente de 1.3 t m^{-3} , se debe aplicar aproximadamente 2 kg de fósforo.

En cuanto al Nitrógeno del suelo, comparado con el ciclo del fósforo, es un nutriente que varía mucho en el sistema suelo-planta-atmósfera. Su dinámica dentro del sistema se ve influenciada por las altas pérdidas que se dan por diversas vías (lixiviación, volatilización, desnitrificación, etc).

Para el período de estudio se observó que previo a los tratamientos de barbechos no se diferenció significativamente entre secuencia. La mayor concentración de Nt se registró en la secuencia 1 con un valor de 0,160%. Luego de los tratamientos, al final de barbecho, tampoco se observaron diferencias significativas entre las secuencia. Se observa una tendencia al aumento en la concentración de Nt para ambas secuencias (S1: 0,170% y S2: 0,164% Nt) respecto al inicio de barbecho. Esto puede deberse a que el cultivo antecesor al barbecho para ambas secuencia fue soja, lo que permitió tener una mayor disponibilidad de nitrógeno al inicio del experimento.

Para los tratamientos, no se encontraron diferencias significativas. El tratamiento CCP registra la mayor concentración de Nt (0,172 %) respecto a los demás tratamientos, mientras que el tratamiento CC junto con el T presentan la concentración más baja (0,165 %), los demás tratamientos presentaron valores intermedios. 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. En este sentido, Sa Pereyra *et al* (2012), evaluaron diferentes parámetros de calidad de la biomasa de distintos CC (relación C:N y Lignina:N) y como los mismo influyen en la disponibilidad de N y C en el suelo para el cultivo sucesor. Cuanta mayor concentración de Nt tenga la biomasa aérea del CC mayor sería el aporte de Nt al suelo debido a una mineralización más rápida. Considerando la concentración de nitrógeno que presenta la

biomasa del CC ($30\text{-}50 \text{ kg ha}^{-1}$), se puede estimar que dicha concentración una vez mineralizado el residuo pasaría a formar parte del suelo. Esta sería la razón de porque el tratamiento CC y T presentan los valores más bajo de Nt en el suelo, es decir, dicho N está capturado en la biomasa del CC, mientras que en el T, estaría capturado por las malezas que crecieron en dicho periodo. Esta disminución en el contenido de N al final, post tratamiento con CC, puede ser considerada una desventaja desde el punto de vista de la nutrición del cultivo sucesor, pero es una ventaja según Rimski-Korsakov *et al.*, (2004) si se tiene en cuenta la probabilidad de lluvias intensas que laven nitratos por debajo de la zona de absorción de las raíces.

En el caso de los compost, el aporte de Nt al suelo va a depender de la concentración inicial y la dosis de aplicación, entre otras variables. El CCC es el que mayor concentración de Nt y MO presenta (2,6 % y 58 %), pero se aplicaron 2 t ha^{-1} menos respecto a CCP y CRSU. El tratamiento CCP realiza un aporte de Nt en función a la dosis y concentración inicial, equivalente a 250 kg ha^{-1} . Mientras que los tratamientos de CCC y CRSU aportan 208 kg ha^{-1} y 190 kg ha^{-1} de Nt, respectivamente. Estos valores de Nt que presenta el suelo respecto al tratamiento con compost y los tratamientos con CC y T, se relacionan con el aporte que realiza cada tratamiento y la tasa de mineralización de ese nitrógeno aportado.

Siguiendo con las ventajas que presenta la incorporación de compost a los sistemas productivos respecto a la concentración de Nt, el INTA Manfredi publicó un ensayo realizado por Sosa (2015), sobre un suelo Haplustol Típico, donde aplicaron diferentes dosis ($0\text{-}5\text{-}10$ y 15 t ha^{-1}) de guano de gallina sobre el cultivo de maíz y evaluaron propiedades químicas del suelo y rendimiento del cultivo. Los resultados muestran diferencia significativa (Duncan al 5% de probabilidad) en el rendimiento de maíz entre el testigo (12000 kg ha^{-1}) y el tratamiento con compost (13000 kg ha^{-1}). Luego de los 6 meses de aplicado el compost, se produce un aumento en el Nt del suelo comparado con el testigo. Concluyen que la aplicación de estiércol tiene impactos positivos sobre la rentabilidad en el corto plazo, por el aumento en el rendimiento, pero también en el largo

plazo. Esto último, a causa del incremento en la cantidad de N mineralizado para los próximos cultivos (por mayor Nt) y sus efectos sobre la fertilidad potencial del lote.

6.3 Dinámica hídrica: contenidos hídricos, agua útil, uso consuntivo y costo hídrico

Uno de los parámetros evaluados fue el contenido hídrico. No se registraron variaciones en los contenidos de agua total (0-60 cm) al inicio de barbecho para ambas secuencias estudiadas. Dichos valores rondaron en los 206 mm. Para el final de barbecho tampoco se observó diferencias significativas entre las secuencias, siendo el contenido hídrico final mayor en la S2 (211 mm).

Entre tratamientos se observó como el CC registra el menor contenido hídrico, dejando el suelo con menor humedad, aunque no existen diferencias significativas ($P < 0,05$). El testigo y los demás tratamiento iniciaron el barbecho con un contenido hídrico promedio de 206 mm, lo que representa el 74% de la capacidad máxima de retención del suelo (278 mm). Al finalizar el barbecho, se observó un leve aumento en el contenido hídrico final que representa una diferencia comparada con el inicio de barbecho de 1-2% (75-76% de la capacidad máxima de retención). Siendo el tratamiento CCP el que mayor humedad final presentó (210 mm). Para todos los tratamientos la eficiencia de almacenamiento promedio fue de 41% [$H_f \% (H_i + P_p)$], es decir, el 60% de las P_p ocurridas durante el periodo de barbecho y la humedad inicial se perdieron del sistema (escurrimiento, infiltración profunda, evaporación directa del suelo). No obstante, hay que considerar que las precipitaciones durante el período evaluado fueron de 298,6 mm, las que sumadas al contenido hídrico inicial de agua (206 mm) dan una lámina total de 504 mm. Es evidente que la mayor parte del agua no pudo ser almacenada en los primeros 60 cm del perfil.

Seguramente este leve aumento, al final del barbecho, en el contenido hídrico se debe a las precipitaciones que se registraron en el período de barbecho, que superaron la capacidad máxima de retención del suelo, originando un exceso que pudo mantener la humedad del suelo en valores cercanos a la capacidad de campo y transformar parte del

agua almacenada en biomasa aérea por parte del CC. Estos datos coinciden con los registrados por Sá Pereira *et al.* (2012) quienes trabajando con suelos Argiudoles típicos de la zona de Coronel Suárez (Buenos Aires) no encontraron diferencias significativas en los contenidos hídricos del suelo entre los CC y el testigo al momento de sembrar la soja. Dichos autores también atribuyen los resultados a las precipitaciones registradas en la primavera que resultaron suficientes para recargar el perfil.

El agua útil inicial (AUi), previo a los tratamientos de barbechos, no presentó diferencias significativas para las secuencias. El agua útil final (AUf) al momento de secado del CC, post tratamiento, tampoco arrojó diferencias significativas para las secuencias. Para ambas secuencias se observa una tendencia al aumento del agua útil (mm) luego de los tratamientos de barbecho, relacionado a las precipitaciones durante el periodo de barbecho que excedieron la capacidad máxima de retención de agua.

Respecto a los tratamientos, no existen diferencias significativas. El AUf resultó mayor en el tratamiento CCC. Los de menor contenido de agua útil fueron los tratamientos CC y T; mientras que los demás tratamientos tienen valores intermedios. Los cultivos de cobertura, si bien consumieron parte del agua acumulada, no agotaron el perfil, quedando reservas del 57% del agua útil máxima (278 CCa – 115 PMP= 163 mm), para el cultivo sucesor. El tratamiento T presenta pérdida de humedad por evaporación directa del suelo sin producción de biomasa o por evapotranspiración si consideramos las malezas existentes en la parcela. Tal como se observó previamente, las precipitaciones durante el periodo de barbecho resultaron suficientes para recargar el perfil del suelo. Esto indicaría que el CC no tuvo un efecto negativo para el cultivo sucesor. El costo hídrico (0,65 mm), comparado con el testigo, es insignificante; por ende, la inclusión del CC no se diferencia del testigo.

Según la región y el tiempo que existe entre el secado y la siembra del próximo cultivo, la bibliografía indica que puede haber mayor humedad en el suelo acumulada a causa del cultivo de cobertura. Para Basanta *et al* (2016) los cultivos de cobertura tienen como 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. O contrariamente, según Baigorria y Cazorla (2010), puede tener un costo hídrico por la transpiración del cultivo en crecimiento que luego genera una menor disponibilidad de agua que varía entre 30-40 mm y 40-80 mm para leguminosas y gramíneas respectivamente, dependiendo de las precipitaciones durante el ciclo de crecimiento de los mismos. Caso que no se visualizó en los resultados obtenidos en este estudio.

El UC no presenta diferencias entre secuencia, ni entre tratamiento T y CC; seguramente debido a un crecimiento de malezas en el tratamiento T y a las precipitaciones. En el barbecho para el tratamiento T se produjo una pérdida considerable de agua del perfil por evaporación, escurrimiento o percolación profunda; sin producción de MS. En cambio, con la implantación de un CC se logra una fijación considerable de carbono (producción de MS) junto con el agua que de otra manera se perdería durante el barbecho. Los valores de UC fluctuaron entre 292 y 295 mm. Teniendo en cuenta la producción de MS del CC, se puede calcular la eficiencia en el uso del agua (EUA). Dicha EUA oscila entre 7,45 y 7,60 kg MS ha⁻¹ mm⁻¹. Valores algo superiores encontró Scianca (2010) trabajando sobre un suelo Argiudol típico y utilizando diferentes CC, los UC variaron en función de la fecha de secado entre 55 y 208 mm para el año 2005 y entre 98 y 299 mm para el año 2006. Mientras que la EUA halló valores de entre 37 y 54 kg MS ha⁻¹ mm⁻¹, mientras que en un Hapludol thapto árgico las EUA oscilaron entre 9 y 30 kg MS ha⁻¹ mm⁻¹.

En resumen, el costo hídrico y el uso consuntivo dependen del agua disponible al inicio y las precipitaciones durante el desarrollo de los cultivos de cobertura. Se puede considerar que dichas variables no afectaron negativamente la dinámica del agua en el perfil del suelo para el cultivo sucesor debido a que el AU_i representaba para las condiciones del ensayo el 56 % del agua útil máxima (163 mm) y las precipitaciones durante el periodo de barbecho fueron superiores a la capacidad de almacenamiento lo

que permitió la recarga del perfil y terminar al momento de secado del CC con un AUF 93,33 mm (57 % agua útil máxima).

7. CONCLUSIONES

Los barbechos con cultivos de cobertura y la aplicación de distintos tipos de compost como alternativa del barbecho químico tienen un efecto positivo en la eficiencia del uso de los recursos. Se observa como al final del periodo de barbechos, post tratamiento, los compost aumentaron la concentración de fósforo en el suelo, comparados con el CC y el T. En cambio, para el Nt del suelo solo se observó una leve tendencia al aumento cuando se utilizó compost, sin ser estadísticamente significativo.

Los barbechos con compost y cultivos de cobertura no modificaron el agua útil disponible al final del barbecho. Para las condiciones climáticas y tipo de suelo de la zona estudiada, la inclusión de CC no implicó un costo hídrico significativo comparado con el testigo. Por los resultados obtenidos en el ensayo, en función a las condiciones climáticas y tipo de suelo, se puede afirmar que el cultivo de cobertura es una herramienta a incorporar en las rotaciones agrícolas cuando los contenidos de agua a la siembra sean superiores al 50% y las precipitaciones durante el periodo de barbecho superen la capacidad máxima de almacenamiento del suelo, sin que provoquen déficit de agua para el cultivo sucesor.

8. BIBLIOGRAFIA

- **Alvariño, C.R. 2003.** *Residuos orgánicos de origen urbano e industrial que se incorporan al suelo como alternativa económica en la agricultura.* Revista CENIC Ciencias Químicas, Vol. 36, No. 1.
- **Álvarez C. & Scianca, C. 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.
- **Álvarez R., Steinbach, H.S., Álvarez, C.R. 2016.** *Manejo de la fertilidad en producción orgánica.* En: Fertilidad de Suelos y Fertilización en la Región Pampeana. Editorial Facultad de Agronomía Universidad Nacional de Buenos Aires.
- **Álvarez, C & Rimski-Korsakov, H. 2016.** *Manejo de la fertilidad del suelo en planteos orgánicos.* Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. 167 pp.
- **Andrade, F. 2017.** *Los desafíos de la agricultura argentina. Satisfacer las futuras demandas y reducir el impacto ambiental.* Edicion INTA. 124pp
- **Baigorri, H. 1999.** *Requerimientos nutricionales del cultivo de soja.* Jornadas de Actualización Técnica para Profesionales, Fertilización de Soja. Bolsa de Comercio de Rosario, Argentina. p: 4-7.
- **Baigorria, T & Cazorla, C. 2010.** *Eficiencia del uso del agua por especies utilizadas como cultivos de cobertura.* EEA INTA Marcos Juárez. Jornadas de cultivos de cobertura.
- **Basanta, M., Giubergia, J.P., Lovera, E., Alvarez, C., Martellotto, E., Curto, E., Viglianco, A. 2008.** *Manejo del barbecho invernal y su influencia en la disponibilidad hídrica para el cultivo estival en un Haplustol de la Región Central de Córdoba.* XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 13-16 mayo, San Luis, Argentina. Disponible en DVD.
- **Basanta, M., Alvarez, C., Giubergia, J.P., Lovera, E. 2012.** *Cultivos de cobertura en sistemas de agricultura continúa 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. & Alvarez, C. 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., Perrone J., Giordano E. 2016.** *Evaluación de especies de cultivos de cobertura.* En INTA Rafaela. Resultados 2015. En: Información Técnica de trigo y otros cultivos de invierno, campaña 2016. Publicación Miscelanea N° 131. INTA EEA Rafaela, Santa Fe, Argentina. pp. 75-82.

- **Bertolla A., Baigorria, T., Gómez, D., Cazorla, C., Cagliero, M., Lardone, A., Bojanich, M & Aimetta, B. 2013.** *Bases para el manejo de vicia como 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

- **Capurro, J., Dickie, M.J., Ninfi, D., Zazzarini, A., Tosi, E., Gonzalez, M.E. 2012.** *Gramíneas y leguminosas como cultivos de cobertura para soja.* Actas del XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 16 al 20 de agosto de 2012. Mar del Plata, Argentina.

- **Capurro, J.; Surjack, J.; Dickie, M. J.; Andriani, J.; González, M. 2010.** *Cultivos de cobertura: evaluación de diferentes momentos de supresión del crecimiento.* EEA INTA Oliveros, Para Mejorar la Producción N°45, 2010: 69-72.

- **Caviglia, O.P & Andrade. F.H. 2010.** *Sustainable Intensification of Agriculture in the Argentinean Pampas. Capture and Use Efficiency of Environmental Resources.* The Americas Journal of Plant Science and Biotechnology 3 (Special Issue 1): 1-8.

- **Caviglia O. P., Novelli L., Gregorutti V. C., Van Opstal N. V., y Melchiori R. J. 2013.** *Cultivos de cobertura invernales: una alternativa de intensificación sustentable en el centro-oeste de Entre Ríos.* En C. Alvarez, A. Quiroga, D. Santos, & M. Bodrero .

Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción. EEA INTA Anguil, La Pampa. pp 148-157.

- **CEAMSE. 2016.** *Estadísticas residuos sólidos urbanos dispuestos* – año 2016 completo. Disponible en: <http://www.ceamse.gov.ar/wp-content/uploads/2017/04/WEB-2016-COMPLETO-Final-1-1.pdf>. Ultimo acceso: mayo 2018.

- **Ciampiti, I & García, F. 2007.** *Requerimientos nutricionales de macronutrientes y nutrientes secundarios*. I. cereales, oleaginosas e industriales. Informe agropecuario N° 37. Archivo agronómico N°11. IPNI cono sur.

- **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. Gange, JM (Ed.). Libro digital. ISBN 978-987-521-772-0. INTA Concepción del Uruguay, Entre Ríos, Argentina. pp. 70-75.

- **Díaz Zorita, M. 2003.** *Nuevas estrategias en el manejo de la soja*. Fertilización en soja en Argentina. *Simposio internacional sobre soja. XI Congreso Nacional de AAPRESID*. Tomo 2. pp: 113-127.

- **Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2016.** *Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina*. URL <http://www.infostat.com.ar>

- **Echeverría, H & García, F. 2005.** *Fertilidad de suelos y Fertilidad de cultivos*. Edición INTA. 525pp.

- **FAO. 2011.** *Resumen del mercado de semillas oleaginosas*. Disponible en: http://www.fao.org/fileadmin/templates/est/COMM_MARKETS_MONITORING/Oilcrops/Documents/FO_June_2011_Spanish.pdf. Ultimo acceso: Noviembre 2019.

- **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.

- **Figueroa-Barrera, A., Álvarez-Herrera, J.G., Forero, A.F., Salamanca, C & Pinzón, L.P. 2012.** *Determinación del nitrógeno potencialmente mineralizable y la tasa de mineralización de nitrógeno en materiales orgánicos.* Disponible en: <https://revistas.unicordoba.edu.co/index.php/temasagrarios/article/view/694>. Último acceso: Octubre 2019.
- **Gonzales, L. 2010.** *Residuos sólidos urbanos Argentina. Tratamiento y disposición final. Situación actual y alternativas futuras.* Cámara Argentina de la construcción. 63 pp.
- **Lauric, A., Marinissen, A & Loewy, T. 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 Último acceso: Septiembre 2019.
- **Lanfranco, J.W. & Carrizo. 1988.** Cartas de suelo de la Estación Experimental Julio Hirschhon. Sin editar.
- **Lardone, A., Scianca, C., Barraco, M., Miranda, W., Álvarez, C., Quiroga, A & Babinec, F. 2014.** *Momento de secado de especies de cultivos de cobertura.* Presentado en: XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo y II Reunión Nacional “Materia Orgánica y Sustancias Húmicas”. Bahía Blanca, Argentina.
- **Martínez, E., Fuentes, J.P & Acevedo, E. 2008.** *Carbono orgánico y propiedades del suelo.* Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal, 8(1), 68-96.
- **Monteith, J.L. 1990.** *Can sustainability be quantified? Indian J. Dryland Agric. Res. Dev.* 5:1-5.
- **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.
- **Rabinovich, J.E & Torres, F. 2004.** *Caracterización de los síndromes de la sostenibilidad del desarrollo: El caso de Argentina.* CEPAL/ Naciones Unidas, Santiago de Chile. 97 pp.

- **Re, A.E & Ferrer, J.L. 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. Gange, JM (Ed.). Libro digital. ISBN 978-987-521-772-0. INTA Concepción del Uruguay, Entre Ríos, Argentina. pp. 62-69.
- **Richard L. A.** 1948. Porous plate apparatus for measuring moisture retention and transmission by soil. *Soil Science* 66:105-110.
- **Rimski-Korsakov, H., Rubio, G., Lavado, R.S. 2004.** *Potential losses of nitrate by leaching in soils of the pampas Argentina.* *Agricultural Water Management* 65: 83-94.
- **Rimski-Korsakov, H., Zubillaga, M.S., Landriscini, M.R & Lavado, R.S. 2013.** *Utilización de un cultivo de cobertura luego de maíz, para recuperar nitratos residuales susceptibles de lixiviarse.* En C. Alvarez, A. Quiroga, D. Santos, & M. Bodrero .En *Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción.* EEA INTA Anguil, La Pampa. Pp 69-75.
- **Rochester, I., Peoples, M. 2005.** *Growing vetches (Vicia villosa Roth) in irrigated cotton systems: inputs of fixed N, N fertilizer savings and cotton productivity.* *Plant and Soil* 271:251-264.
- **Rubio, G. 2011.** *Los sistemas de producción actuales en la Región Pampeana: Una visión desde el sector científico.* Simposio Fertilidad IPNI.
- **Rubio, G & Álvarez, CR. 2012.** *El fósforo desde el punto de vista agrícola.* En: *Fertilidad de los suelos: caracterización y manejo en la región pampeana.* R Álvarez, G Rubio, CR Álvarez, RS Lavado (Eds). EFA, UBA: 351-380.
- **Ruffo, M. 2003.** *Factibilidad de inclusión de cultivos de cobertura en argentina.* ACTAS XI CONGRESO DE AAPRESID: 171-176.
- **Ruffo, M & Parsons, A. 2004.** *Cultivos de Cobertura en Sistemas Agrícolas.* *Informaciones Agronómicas del Cono SUR.* IPNI. N° 21.
- **Restovich, S.B., Andriulo A.E & Améndola, C. 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.

- **Restovich, S & Andriulo, A. 2012.** *Cultivos de cobertura en la rotación soja-maíz: biomasa aérea, captura de nitrógeno, consumo de agua y efecto sobre el rendimiento en grano.* En C. Alvarez, A. Quiroga, D. Santos, & M. Bodrero .En Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción. EEA INTA Anguil, La Pampa. Pp 29-35.
- **Sá Pereira, E., Galantini, J.A., Quiroga, A. 2012.** *Análisis de calidad de cultivos de cobertura de invierno bajo siembra directa.* Actas del XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 16 al 20 de agosto de 2012. Mar del Plata, Argentina.
- **Sá Pereira, E.; Quiroga, A.; Galantini, J. 2012.** *Posibilidades de utilización de gramíneas y leguminosas invernales como cultivos de cobertura.* En C. Alvarez, A. Quiroga, D. Santos, & M. Bodrero .En Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción. EEA INTA Anguil, La Pampa. Pp 76-82.
- **Sarandón, S.J. 2002.** *El desarrollo y uso de indicadores para evaluar la sustentabilidad de los agroecosistemas.* pp: 393-414. En: Agroecología. El camino hacia una agricultura sustentable. SJ Sarandón (Editor). Ediciones Científicas Americanas. Argentina.
- **Scianca C. 2010.** *Cultivo de cobertura en Molisoles de la región pampeana: Aporte de carbono e influencia sobre propiedades edáficas y dinámica de malezas.* Tesis Magíster en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca. 80 Pág.
- **Scianca C., Varela M. F., Barraco M., Álvarez C., y Quiroga A. 2013.** *Cultivos de cobertura en un Hapludol Thapto Árgico de La Pampa arenosa: análisis de cinco campañas.* En C. Alvarez, A. Quiroga, D. Santos, & M. Bodrero. Contribuciones de los cultivos de coberturas a la sostenibilidad de los sistemas de producción. pp105-116. La Pampa: Ediciones INTA.
- **SIIA-MAGYP. 2017.** *Sistema Integrado de Información Agropecuaria.* Ministerio de Agroindustria. Disponible en: <https://datos.agroindustria.gob.ar/>. Último acceso: Mayo 2018.

- **Sosa, N. 2015.** *Reposición de nutrientes con la utilización de residuos pecuarios.* En INTA EEA Manfredi, Córdoba, Argentina. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_aprovechamiento_de_residuos_pecuarios.pdf.
Ultimo acceso: Septiembre 2019.
- **Strada, J. & Vila, I.A. 2016.** *La producción de soja en Argentina: causas e impactos de su expansión. La revista del CCC* [en línea]. Julio / Diciembre 2015, N° 23. Actualizado: 2016-01-25 [citado 2017-05-19]. Disponible en Internet: <http://www.centrocultural.coop/revista/articulo/550/>. ISSN 1851-3263.
- **Strock, J., Porter, P., Russelle, M. 2004.** *Cover cropping to reduce nitrate loss through subsurface drainage in the northern U.S. Corn Belt.* En: *Journal of Environmental Quality* 33, pp. 1010-1016.
- **Tortosa, G. 2009.** *Materia orgánica en agricultura y los residuos orgánicos.* Disponible en: <http://www.compostandociencia.com/2009/10/fuentes-de-materia-organica-en-html/>. Último acceso: Mayo 2018.
- **Vanzolini, J.I., Renzi, J.P., Martínez, J.M., Reinoso, O. 2010.** *Efecto de la fecha de siembra sobre la producción de materia seca y la acumulación de N en Vicia villosa Roth. Como cultivo de cobertura.* Actas del XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo., Rosario, Santa Fe.
- **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.
- **Viglizzo, E.F & Jobbágy, E.G. 2010.** *Expansión de la frontera agropecuaria en la Argentina y su impacto ecológico-ambiental.* Edición INTA. 106 pp.
- **Villamil, M.B., Bollero, G.A., Darmody, R.G., Simmons F.W & Bullock, D.G. 2006.** *No-Till corn/soybean systems including winter cover crops: Effects on soil properties.* *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70: 1936-1944.

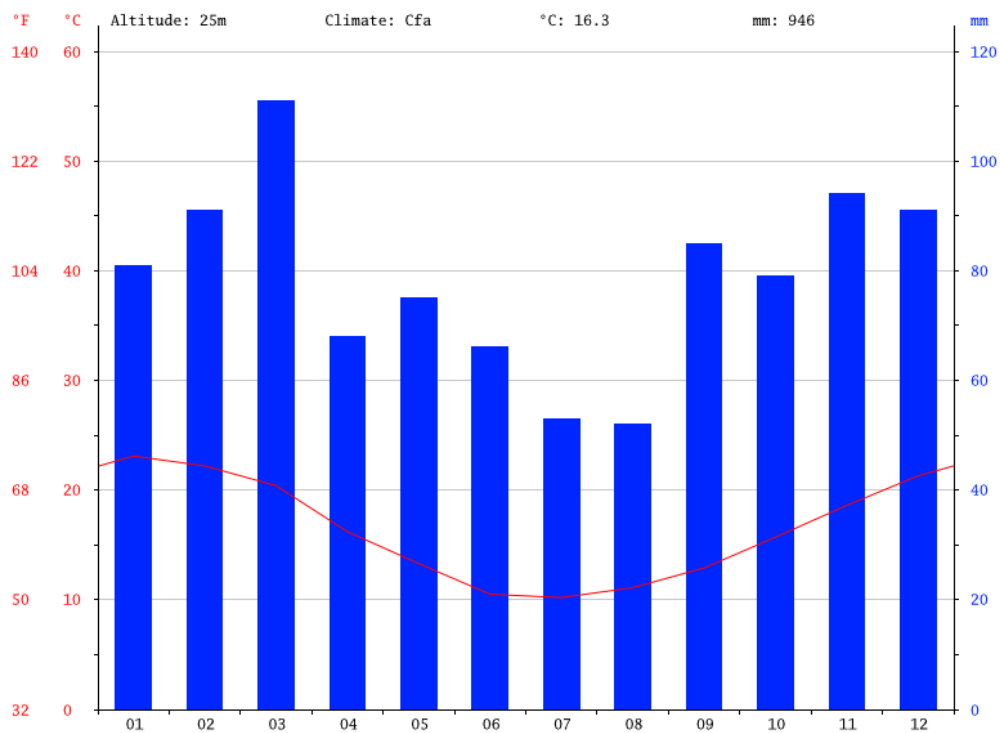
- **Kruger, H & Quiroga, A. 2012.** *La “interfase suelo-atmósfera” y su valor estratégico en regiones semiáridas.* En: Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción. De Álvarez, C., Quiroga, A., Santos, D., Bodrero, M. (Eds.). INTA EEA Anguil, La Pampa. pp. 5-6.
- **Pardi H. M. 2016.** Boletín Agrometeorológico Mensual. Facultad De Ciencias Agrarias Y Forestales Estación Experimental Ing. Agr. J.Hirschhorn.
- **Pegoraro, V., Boccolini, M., Ortiz, J., Lorenzon, C., Aimetta, B., Sbuscio Santos, D., Baigorria, T & Cazorla, C. 2013.** *Efecto de los cultivos de cobertura en los contenidos de las fracciones lábiles de carbono y nitrógeno, y su relación con el nitrógeno anaeróbico en suelos de texturas contrastantes.* Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_cc_suelosmjz13.pdf. Último acceso: Octubre 2019.
- **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.
- **Zadoks, J.C., Chang, T.T & Konzak, C.K. 1974.** *A decimal code for growth stages of cereals.* Weed Research. Vol.:14, pp: 415-421.

9. ANEXOS:

9.1 Características climáticas de la localidad de La Plata

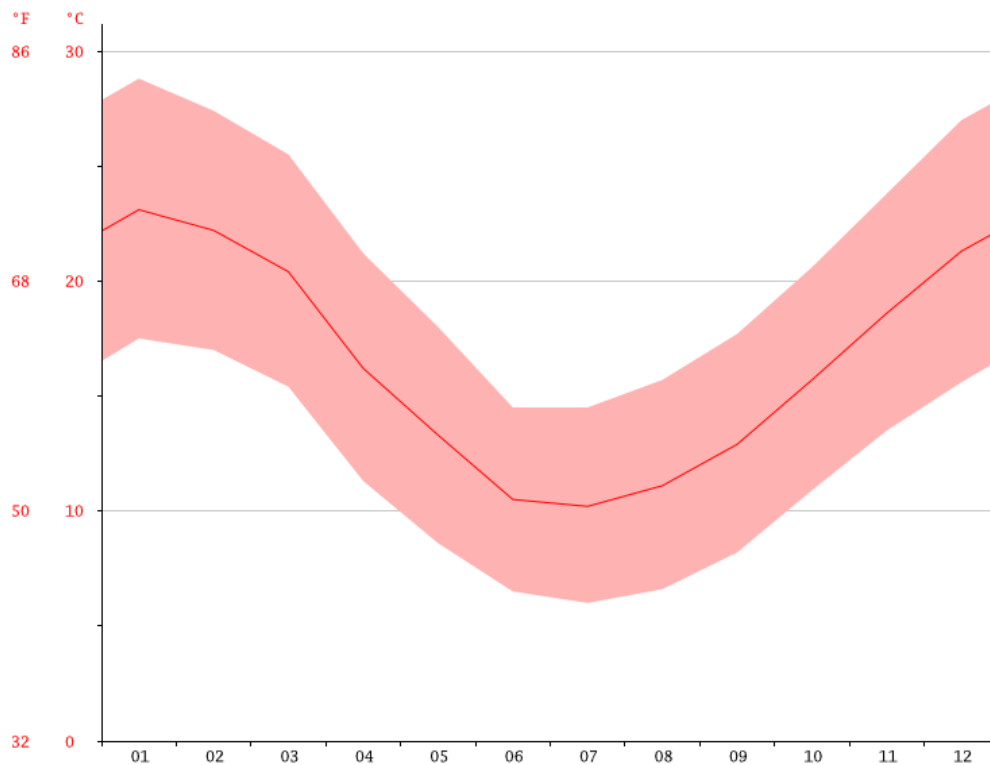
El clima es suave, y generalmente cálido y templado. La Plata tiene una cantidad significativa de lluvia durante el año, incluso para el mes más seco. La temperatura media anual en La Plata se encuentra a 16.3 °C. En un año, la precipitación es 946 mm.

CLIMOGRAMA LA PLATA



La precipitación es la más baja en agosto, con un promedio de 52 mm. Con un promedio de 111 mm, la mayor precipitación cae en marzo.

DIAGRAMA DE TEMPERATURA LA PLATA



A una temperatura media de 23.1 °C, enero es el mes más caluroso del año. Julio tiene la temperatura promedio más baja del año. Es 10.2 °C.

TABLA CLIMÁTICA // DATOS HISTÓRICOS DEL TIEMPO LA PLATA

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	23.1	22.2	20.4	16.2	13.3	10.5	10.2	11.1	12.9	15.7	18.6	21.3
Temperatura min. (°C)	17.5	17	15.4	11.3	8.6	6.5	6	6.6	8.2	10.9	13.5	15.6
Temperatura máx. (°C)	28.8	27.4	25.5	21.2	18	14.5	14.5	15.7	17.7	20.6	23.8	27
Precipitación (mm)	81	91	111	68	75	66	53	52	85	79	94	91

Entre los meses más secos y más húmedos, la diferencia en las precipitaciones es 59 mm. Durante el año, las temperaturas medias varían en 12.9 °C.

ANEXO 2:

9.2 Información complementaria de los diferentes cultivos y del manejo de los mismos

La siembra de todos los cultivos se realizó sin remoción del suelo y de forma manual, dejando el rastrojo en superficie. Dichas siembras se realizaron el 4 de julio 2017 para Trigo (ACA 315) y Cebada (Scarlett). La densidad lograda de planta fue de 280 pl ha⁻¹ para ambos cultivos. Se realizó una fertilización a la siembra con 80 kg ha⁻¹ de Fosfato Diamónico (DAP) y 100 kg ha⁻¹ de Urea el 23 de agosto en estado de macollaje (Zadoks *et al.*, 1974). Para control de maleza se aplicaron herbicidas 2-4D a dosis de 150 cc ha⁻¹ y Picloran 125 cc ha⁻¹. Los cultivos fueron cosechados el 11 de diciembre, de forma manual, con un rendimiento en grano de 5700 kg ha⁻¹ para trigo y 6400 kg ha⁻¹ para cebada.

Siguiendo la secuencia (S1 y S2), en todas las parcelas se realizó la siembra de soja de segunda (DM 4210) el 18 de diciembre con una densidad de 45 pl m². Durante todo el desarrollo del cultivo se efectuaron controles de malezas y plagas. El control de maleza se realizó con Glifosato 48% a una dosis de 2 lts ha⁻¹; las fechas de aplicación fueron el 27 de diciembre, se repitió el 22 de enero de 2018. Para plagas se utilizó una mezcla de Imidacloprid + Lambdacialotrina + Bifentrin con dosis de 40 cc ha⁻¹, aplicados el 22 de enero y 2 de febrero. La cosecha se realizó el 25 de abril, de forma manual. Los rendimientos para cada secuencia fueron: antecesor trigo la soja rindió 2300 kg ha⁻¹ y antecesor cebada la soja rindió 1900 kg ha⁻¹. El rendimiento promedio de ambas secuencia es de 2100 kg ha⁻¹.