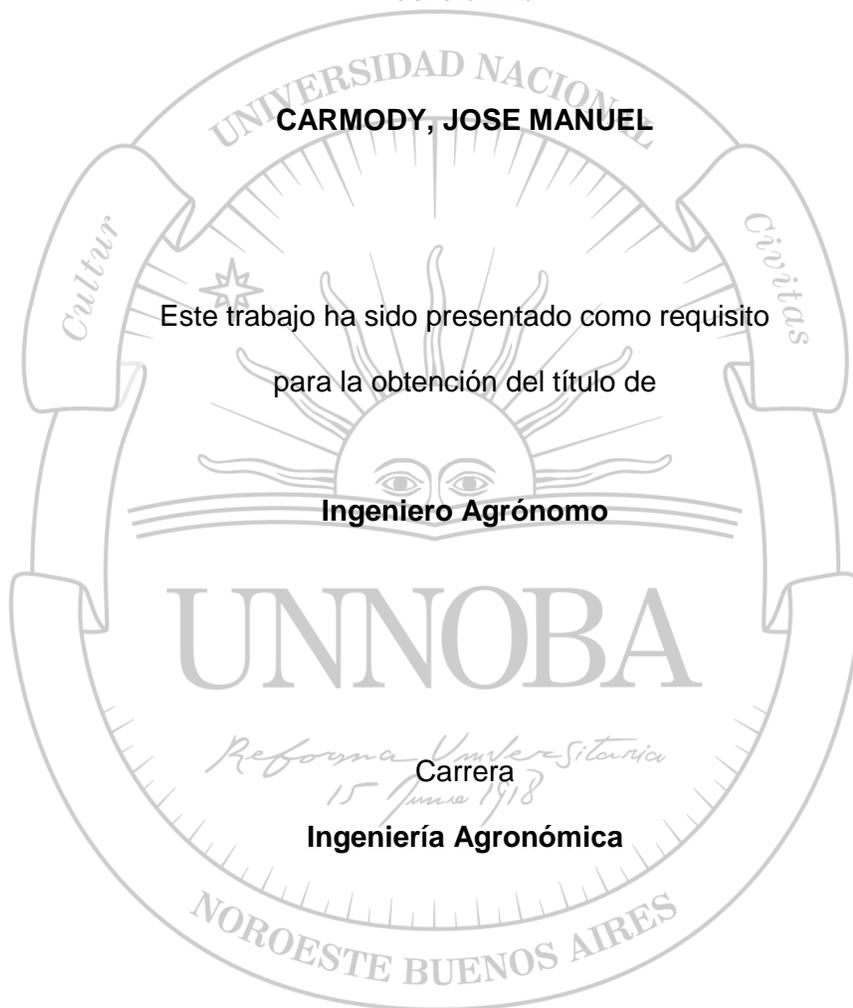


**INCLUSIÓN DE CULTIVOS DE COBERTURAS EN UNA ROTACIÓN AGRÍCOLA BAJO DOS
AMBIENTES CARACTERÍSTICOS DEL NOROESTE DE BUENOS AIRES**

Trabajo Final de Grado

del alumno



CARMODY, JOSE MANUEL

Este trabajo ha sido presentado como requisito
para la obtención del título de

Ingeniero Agrónomo

UNNOBA

*Reforma Universitaria
15 Junio 1918*

Carrera

Ingeniería Agronómica

NOROESTE BUENOS AIRES

Escuela de Ciencias Agrarias, Naturales y Ambientales.

Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires.

Pergamino,.....01/06/2021.....

INCLUSIÓN DE CULTIVOS DE COBERTURAS EN UNA ROTACIÓN AGRÍCOLA BAJO DOS AMBIENTES CARACTERÍSTICOS DEL NOROESTE DE BUENOS AIRES.

Trabajo Final de Grado

del alumno

CARMODY, JOSE MANUEL

Aprobada por el Tribunal Evaluador

(Nombre y Apellido)
Evaluador

(Nombre y Apellido)
Evaluador

(Nombre y Apellido)
Evaluador

Carlos Sosa

Ing. Agr. (MSc) Mirian Raquel Barraco

(Nombre y Apellido)
Co-Director

(Nombre y Apellido)
Director

**Escuela de Ciencias Agrarias, Naturales y Ambientales,
Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires**

Pergamino,.....

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar a Dios fuente de sabiduría y justicia.

A mi familia, por el apoyo incondicional en todo momento.

A Inés María y Maru.

A la educación pública, igualadora social de oportunidades y orgullo argentino a nivel mundial.

A la Ing. Agr. Ms. Sc. Mirian Barraco, directora de mi tesis, por el profesionalismo, el apoyo y el empuje en todo este tiempo.

Al Ing. Agr. MBA. Carlos Sosa por la predisposición en todo momento.

Por último, a los compañeros y amigos que me llevo de mi tiempo de estudiante.

ÍNDICE

1.	Resumen.....	5
2.	Introducción.....	6
3.	Objetivos.....	10
	3.1. Objetivo general.....	10
	3. 2. Objetivo específico.....	11
4.	Hipótesis.....	11
5.	Materiales y métodos.....	11
	5. 1. Sitio experimental.....	11
	5. 2. Tratamientos y diseño experimental.....	13
	5. 3. Análisis estadísticos.....	14
6.	Determinaciones.....	14
	6. 1. Producción de materia seca al momento de secado de los CC.....	14
	6. 2 Contenido de humedad gravimétrica en el suelo a 200 cm de profundidad.....	14
	6. 3. Uso consuntivo.....	15
	6. 4. Eficiencia de uso de agua del CC.....	15
	6. 5. Eficiencia de barbecho.....	16
7.	Resultados y discusión.....	16

7. 1. Producción de biomasa aérea del CC.....	16
7. 2. Uso consuntivo.....	17
7. 3. Eficiencia de uso de agua del CC.....	18
7. 4. Costo hídrico.....	19
7. 5. Agua en el suelo al momento del secado de los CC.....	20
7. 6. Agua en el suelo al momento de siembra del maíz.....	20
7. 7. Eficiencia de barbecho.....	22
8. Conclusiones.....	22
9. Referencias bibliográficas.....	23
10. Anexo.....	29

1. RESUMEN

El bajo aportes de residuos a los suelos que predomina en la Región Pampeana va en detrimento de un sistema sustentable que incluya diversidad, captura de carbono y promoción de actividad biológica, entre otras. Una alternativa agronómica es la inclusión de cultivos de cobertura (CC) logrando intensificar la rotación y mejorar la eficiencia de los sistemas agrícolas actuales. El siguiente trabajo tiene como objetivo evaluar el efecto de la inclusión de centeno como CC en ambientes característicos del noroeste de Buenos Aires. Se estableció un ensayo sobre un lote de producción con dos ambientes: “bajo” con un suelo Hapludol típico y “loma” con un suelo Hapludol éntico. El diseño experimental fue en bloques completamente aleatorizados ($n=3$). Se monitoreó la dinámica de agua en el suelo, la producción de biomasa del CC, la eficiencia en el uso del agua (EUA), el uso consuntivo (UC), el costo hídrico (CH) y las eficiencias de barbecho (EB). La producción de biomasa del CC fue de 8400 y de 4627 kg ha⁻¹ para bajo y loma respectivamente. El UC fue de 187,7 mm, con una EUA de 48,8 kg MS mm⁻¹ en el bajo y 24,8 kg MS mm⁻¹ en la loma y un CH de 53 mm. Con respecto a la disponibilidad de agua en el suelo al momento del secado de los CC se observó una diferencia significativa entre ambientes ($p<0,05$) y una tendencia a una menor disponibilidad con CC ($p=0,08$), mientras que al momento de la siembra de maíz se observó una interacción significativa entre ambientes y tratamientos de CC. Las lluvias en el barbecho posterior recuperaron los niveles de humedad en el suelo de la loma y parcialmente en el ambiente de bajo, por lo que dependiendo del año la inclusión del CC puede interferir con la implantación del cultivo siguiente en la rotación.

2. INTRODUCCIÓN

Hasta la década de 1990 el modelo productivo dominante del Noroeste de Buenos Aires era la ganadería extensiva en base a pasturas perennes en alternancia con agricultura. Entre los cultivos agrícolas predominaban las gramíneas invernales, tanto para verdeo como para cosecha. A partir de esta década se inicia un proceso de transformación con una disminución de la superficie con praderas y un aumento de cultivos estivales (Álvarez et al., 2006). El proceso de “agriculturización” que se dió en varias zonas de la región pampeana se ha caracterizado por un marcado incremento en el área sembrada de cultivos anuales, el corrimiento de la frontera agropecuaria, el dominio del cultivo de soja y de las tecnologías de insumos, y la no contemplación de externalidades en cuanto a aspectos ambientales y sociales (Andrade, 2017).

Este incremento de la superficie con cultivos de verano, principalmente soja, sumado a la disminución de frecuencia de cultivos de cereales de invierno y la intensificación en los planteos ganaderos (mayor superficie destinada a cultivos para silos y/o rollos) ha significado una disminución importante en los aportes de carbono (C) a los suelos, provocando pérdidas en la cobertura de los mismos, aun en sistemas bajo siembra directa (SD).

La pérdida de cobertura y C de los suelos puede afectar no solo a sistemas agrícolas con alta participación de soja, sino también a sistemas mixtos debido a un incremento en la frecuencia de cultivos para silaje o a la extracción de materia seca (MS), casi completa, mediante el “pastoreo mecánico”.

Para contribuir a la sustentabilidad de los sistemas productivos se requiere mejorar el balance de C a través de un mayor aporte de residuos a los suelos (Ruffo y Parsons, 2004). Las secuencias de cultivo que presentan una alta participación de soja, en general, aportan un menor volumen de residuos que las que incluyen gramíneas y además, éstos tienen una baja

relación C/nitrógeno (C/N). Bajo estas situaciones es posible que la conservación de los niveles de materia orgánica (MO) y el nivel de cobertura tienda a disminuir, pudiendo llevar en el largo plazo al empobrecimiento de los suelos, (Álvarez et al., 2006).

Para contrarrestar este efecto en secuencias agrícolas continuas se fomentó la inclusión de CC entre dos cultivos de cosecha. Estos cultivos no son pastoreados, incorporados, ni cosechados, quedando los residuos en superficie (Eiza et al., 2009). En general, en Argentina estos cultivos se siembran durante el invierno entre dos cultivos estivales de cosecha.

Entre los beneficios de esta práctica se encuentran: atenuar la pérdida de C de los suelos, prevenir la erosión, capturar nutrientes móviles (ej, nitratos, sulfatos) para reducir la pérdida por lixiviación y contribuir al control de malezas (Quiroga et al., 2009).

En relación con la MO varios estudios muestran que los CC inciden tanto sobre su cantidad como su calidad. Wander y Traina (1996) comprobaron que los contenidos de MO fueron significativamente mayores cuando se incorporaron CC a la rotación. Por su parte Ding et al. (2005) destacaron que la inclusión de los CC afectó positivamente y en mayor grado las fracciones livianas de la MO. En la región del noroeste bonaerense algunos estudios de largo plazo también muestran mejoras en los contenidos de MO por la inclusión de CC invernales en secuencias con alta participación de soja (Crespo et al., 2021; Girón et al., 2014)

Esta MO contribuye considerablemente en la formación de la estructura del suelo, aumenta la estabilidad, disminuye la susceptibilidad a la compactación y la densidad aparente máxima y mejora la macroporosidad, con lo cual facilita la entrada y movimiento del agua en el suelo y por ende la conductividad hidráulica (Galarza et al., 2010). A su vez, la presencia de raíces conduciría a una mayor estabilidad de los agregados a través de la secreción de sustancias agregantes y mediante el entramado de raíces (Varela et al., 2010).

Carfagno et al. (2008) concluyeron que para suelos Hapludoles y Haplustoles de la región semiárida pampeana el centeno se destaca para ser utilizado como CC por los mayores aportes de biomasa y mayores contenidos de humedad al momento de sembrar el cultivo posterior en la rotación, comparado con otras especies como avena y raigrás.

Un parámetro muy importante que se modifica al incluir CC en las secuencias agrícolas es la eficiencia en el uso del agua (EUA). Por ejemplo, Fernández et al., (2005) y Duarte (2002) trabajando sobre Haplustoles comprobaron que en años con precipitaciones normales durante barbechos largos y en suelos de baja capacidad de retención de agua (CRA), los CC aumentaron la EUA para capturar C, con respecto al testigo (sin CC). En el mismo sentido se mejora la eficiencia de barbecho (EB), fundamentalmente al disminuir las pérdidas por evaporación en el período previo al establecimiento de cultivos de verano. Pero se reconoce que el consumo hídrico de los CC durante el invierno podría interferir en la normal oferta de agua para el cultivo siguiente (Álvarez et al., 2006). Hay antecedentes que demostraron que el costo hídrico (CH) por haber establecido un CC varía entre 30 y 100 mm (Fernández et al., 2007). Rufo (2003) sostiene que la decisión de finalizar el crecimiento de los CC debe adaptarse a dos premisas fundamentales; (i) lograr una acumulación de biomasa que garantice cobertura y aportes de C y, (ii) ajustarse a las precipitaciones de la región con la finalidad de garantizar la recarga del perfil.

En el noroeste de Buenos Aires se presentan en los lotes consociaciones de suelos con diferente aptitud productiva, por lo que se requiere evaluar la inclusión de la práctica ajustado al sitio, ciclo de cultivo, cultivo sucesor, régimen de lluvias, entre otras variables. En dicha zona la textura de los suelos puede variar abruptamente aún a nivel de lote, conviviendo ambientes muy disímiles con características edafológicas muy marcadas donde la textura juega un papel predominante, pues de ella dependerá la capacidad de retención de agua (CRA).

Los CC pueden presentar como desventaja la interferencia por la utilización de agua que puede afectar la implantación del cultivo posterior o comprometer su rendimiento (Fernández y Quiroga 2007). Esto va a depender de la disponibilidad de agua al momento de la siembra y de las precipitaciones durante el ciclo del cultivo estival. Por ejemplo, un suelo Haplustol típico (CRA de 100 mm) es más dependiente de las precipitaciones para el normal desarrollo del cultivo estival, mientras que un Argiudol típico (CRA de 240 mm) cuenta con reservas mayores para afrontar periodos de sequía.

Las prácticas de manejo deberían concentrarse en establecer claramente fechas de siembra y culminación de los CC para adecuar de esta forma la producción de biomasa, el reciclado de nutrientes y la competencia con malezas manteniendo, al mismo tiempo, un balance favorable de agua en el suelo (Bollero, 2005).

Es necesario ajustar la tecnología aplicada a cada sistema, frente a distintas condiciones de sitio particulares (clima, suelo, manejo) e incorporarlo a los planteos de agricultura y/o ganadería por la contribución que los mismos pueden realizar a la EUA y de los nutrientes, control de los procesos degradativos y sustentabilidad de los sistemas de producción (Quiroga et al., 2008).

Hay numerosos trabajos que muestran que la selección de la especie y el momento de siembra o secado pueden afectar al cultivo siguiente sino son bien manejados. El peso relativo de estas variables difiere entre sitios con distintas características edafo-climáticas. Identificar los factores más importantes a nivel de sitio y establecer cierto orden jerárquico en los mismos resulta imprescindible para sentar las bases del manejo del agua y optimizar la producción (Quiroga et al. 2007), sobre todo en regiones subhúmedas y/o semiáridas.

3. OBJETIVOS

3. 1. Objetivo General

Evaluar el efecto de la inclusión de centeno como CC en ambientes característicos del noroeste de Buenos Aires.

3. 2. Objetivos Específicos

- i) Evaluar el aporte de MS de los CC en dos suelos de diferente aptitud productiva
- ii) Evaluar el efecto de la inclusión de un CC sobre la dinámica del agua durante el ciclo de los CC hasta la siembra del cultivo de maíz posterior.

4. HIPÓTESIS

- El aporte de MS del centeno será mayor en el ambiente de bajo que en el ambiente de loma debido a diferentes texturas de los suelos que condicionan su aptitud productiva.
- El tratamiento con CC presentará mejores eficiencias de barbecho (EB) y de uso de agua (EUA) que el testigo sin CC.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5. 1. Sitio experimental

El estudio se realizó en un campo del partido de Carlos Tejedor, provincia de Buenos Aires, sobre un lote de producción con dos ambientes diferentes: “bajo” con un suelo Hapludol típico de la serie Lincoln, de textura franco arenosa (66% de arena, 23% de limo, 11% de arcilla) bien a algo excesivamente drenado y de moderada capacidad de retención hídrica y “loma” con un suelo Hapludol éntico de la serie Ameghino de textura más arenosa (78% de arena, 15% de limo y 7% de arcilla) y menor capacidad de retención hídrica (SAGYP-INTA, 1989).

El clima de la región es templado con moderadas condiciones continentales hacia el oeste, sin manifestarse grandes amplitudes térmicas diarias ni anuales. La temperatura media anual es de 16,2 °C, con medias máximas durante el mes de enero (33,0 °C) y medias mínimas durante el mes de julio (1,6 °C). En el semestre de primavera-verano se observa una mayor frecuencia e intensidad de vientos, que junto a las mayores temperaturas inducen a altas tasas de evapotranspiración potencial y afectan negativamente el balance hídrico de los cultivos. Las precipitaciones son altamente variables entre años, condición típica de ambientes semiáridos y subhúmedos, con una distribución primavera-estivo-otoñal (Tabla 1). Los balances hídricos de los cultivos primavero-estivales, considerando el nivel de evapotranspiración potencial según el método de FAO Penman- Monteih (Allen et al., 1994) son en general negativos, por lo que el crecimiento de los cultivos de verano depende en gran medida del agua acumulada en el suelo. El déficit hídrico es mayor en los meses de diciembre y de enero, mientras que la recarga del perfil se concentra entre los meses de febrero y abril (Fuente INTA General Villegas).

Tabla 1. Precipitaciones Históricas (en mm) para la Localidad de Carlos Tejedor para el periodo 1969-2014. Promedio mensual (Media), mínimos (Min), máximos (Máx) y desvío estándar (Desvío).

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Media	129	96	146	77	46	25	14	26	55	112	105	115
Min	0	9	5	0	0	0	4	0	0	30	5	5
Max	284	494	358	167	208	119	84	128	189	272	230	344
Desvío	64	97	99	46	43	31	19	32	49	58	61	74

En la Figura 1 se presentan las precipitaciones promedio de la Localidad de Carlos Tejedor (distante a 35 km del sitio en estudio) y las precipitaciones del periodo en estudio.

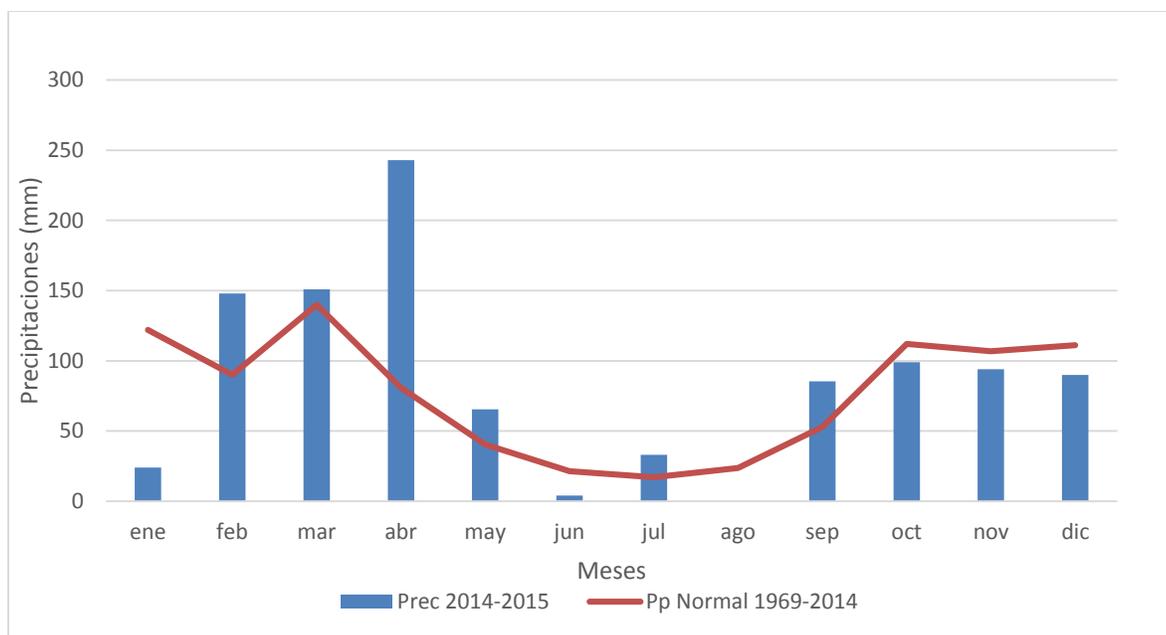


Figura 1. Precipitación media mensual del periodo 1969-2002 para la localidad de Carlos Tejedor y precipitación mensual de la campaña 2014 del sitio en estudio

5. 2. Tratamientos y diseño experimental

Se establecieron como tratamientos el ambiente (bajo y loma) y la inclusión de un CC (centeno variedad Don Guillermo y testigo sin CC).

El ensayo se estableció sobre un rastrojo de maíz para silo de la campaña anterior, en parcelas de 5 m de ancho y 10 m de largo, cruzando los ambientes de loma y de bajo. El diseño experimental fue en bloques completamente aleatorizados con 3 repeticiones. El cultivo de centeno se sembró el 20 de abril de 2014 con una densidad de 60 kg ha⁻¹ y un distanciamiento entre hileras de 17,5 cm. El crecimiento del CC se suprimió el 12 de septiembre mediante la aplicación de glifosato al 48% equivalente ácido a razón de 2,5 l ha⁻¹, en el estadio de principio de encañazón. Posteriormente, se estableció el cultivo de maíz el 20 de noviembre del mismo año.

5. 3. Análisis estadístico

Los resultados fueron analizados mediante ANOVA y test de diferencias de medias (LSD) con un $p < 0,05$ utilizando el programa estadístico InfoStat. versión 2017 (Di Rienzo et al., 2017).

En las variables MS, EUA y UC de los CC se utilizó al ambiente como factor fijo y a los bloques como factor aleatorio.

En las variables agua al secado, agua a la siembra de maíz y EB se consideraron como factores fijos ambiente y tratamiento de CC y como factor aleatorio los bloques. Para ello se utilizó un diseño de parcelas divididas considerando al ambiente como parcela principal y al tratamiento de cobertura como a la subparcela.

6. DETERMINACIONES

6. 1. Producción de MS al momento del secado del CC.

Se realizó el corte manual hasta el ras del suelo de 3 muestras por bloque con un largo de 5,71 m lineales de surco (1 m²). Las muestras se llevaron a estufa (80°C) hasta peso constante.

6. 2. Contenido de humedad gravimétrica del suelo hasta los 200 cm de profundidad.

En capas de 20 cm se evaluó el contenido de humedad a la siembra del CC, al secado del mismo y a la siembra de maíz (cultivo de la rotación agrícola). Las muestras se pesaron y se colocaron en estufa a hasta peso constante. Con la diferencia de peso de la muestra húmeda y la muestra seca se obtuvo la humedad gravimétrica la cual se expresó en %. Esta humedad gravimétrica se llevó a volumétrica considerando la densidad aparente (DAP) del suelo y el espesor de suelo evaluado. Los datos se expresaron como contenidos de agua disponible ya que a la humedad medida se le restó el agua retenida en punto de marchitez permanente.

6. 3. Uso consuntivo

Se calculó mediante la suma del contenido hídrico del suelo al momento de la siembra y las precipitaciones ocurridas durante el ciclo del centeno, a la cual se le restó el contenido hídrico del suelo al momento de finalizar el ciclo del CC (Ecuación I)

$$UC (mm): AA_{Ic} - AA_{Fc} + PP_c \text{ (Ecuación I)}$$

Dónde:

AA_{Ic}: agua acumulada en el suelo a la siembra de los CC (mm)

AA_{Fc}: agua acumulada en el suelo al final el período de crecimiento de los CC (momento de secado del CC) (mm)

PP_c: Precipitación acumulada en el período de crecimiento del CC (mm)

6. 4. Eficiencia de uso de agua del CC.

Se calculó en base a lo propuesto por Bennie y Hensley (2001) (Ecuación II):

$$EUA (kg MS mm^{-1}) = MS / AA_{Ic} - AA_{Fc} + PP_c \text{ (Ecuación II)}$$

Dónde: MS es la producción de MS al momento del secado, *AA_{Ic}* y *AA_{Fc}* es el agua acumulada en el suelo al inicio y al final del período de crecimiento de los CC, respectivamente, y *PP_c* es la precipitación acumulada en el período de crecimiento del CC.

6. 5. Eficiencia de barbecho (EB).

EB se calculó empleando la fórmula de Mathews y Ammy (1960). En nuestro caso estimamos las EB, en todos los tratamientos para el periodo que va desde el secado del CC hasta la siembra del cultivo de maíz (Ecuación III).

$$EB (\%) = ((AET \text{ final} - AET \text{ inicial}) / PP) \times 100 \text{ (Ecuación III)}$$

Donde AET inicial= AET al momento del secado del CC (mm), AET final = AET a la siembra del maíz (mm) y PP = precipitaciones durante el periodo de barbecho corto (mm).

Además, para los tratamientos testigo en ambos ambientes se calculó la eficiencia del barbecho largo (período abril-noviembre).

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El contenido hídrico del perfil a la siembra del CC fue en promedio de 216 mm para el ambiente de bajo y de 94 mm para la loma, encontrándose diferencias significativas ($p < 0,01$) entre ambientes.

7. 1. Producción de biomasa aérea del CC:

La producción de biomasa aérea seca de centeno fue en promedio de 8400 y de 4627 kg ha⁻¹ para el bajo y la loma, respectivamente (Figura 2), encontrándose diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre ambientes. Estos resultados son coincidentes con otros estudios (Lobos et al., 2018; Varillas et al., 2014) que muestran mayor producción de MS en ambientes de bajo dado entre otros factores por su mayor índice de productividad (cartas de suelos 1:50000 en SAGYP-INTA, 1989). Esto es consecuencia entre otros factores por su menor contenido de arena (mayor CRA) y mayores contenidos de MO que incide en la oferta de nutrientes tales como N.

Este aporte de MS por parte del CC permite, en muchos casos, lograr una buena siembra por una mayor humedad en los primeros 10 cm, debido a la reducción de la evaporación directa, reduciendo, además, el escurrimiento y la erosión hídrica (Wischmeier y Smith, 1958; Sasal et al., 2008).

Los efectos negativos de un suelo con escasa cobertura disminuyen no sólo la EB, sino la EUA del cultivo sucesor, con la consiguiente pérdida de potencial de rinde y de renta económica (Anselmi y Feresin, 2012). A su vez, los volúmenes de material vegetal aportados por los CC son una alternativa de manejo favorable para el suelo, ya que generan protección al mismo y luego de su descomposición formarán parte de la MO (Ruffo, 2003).

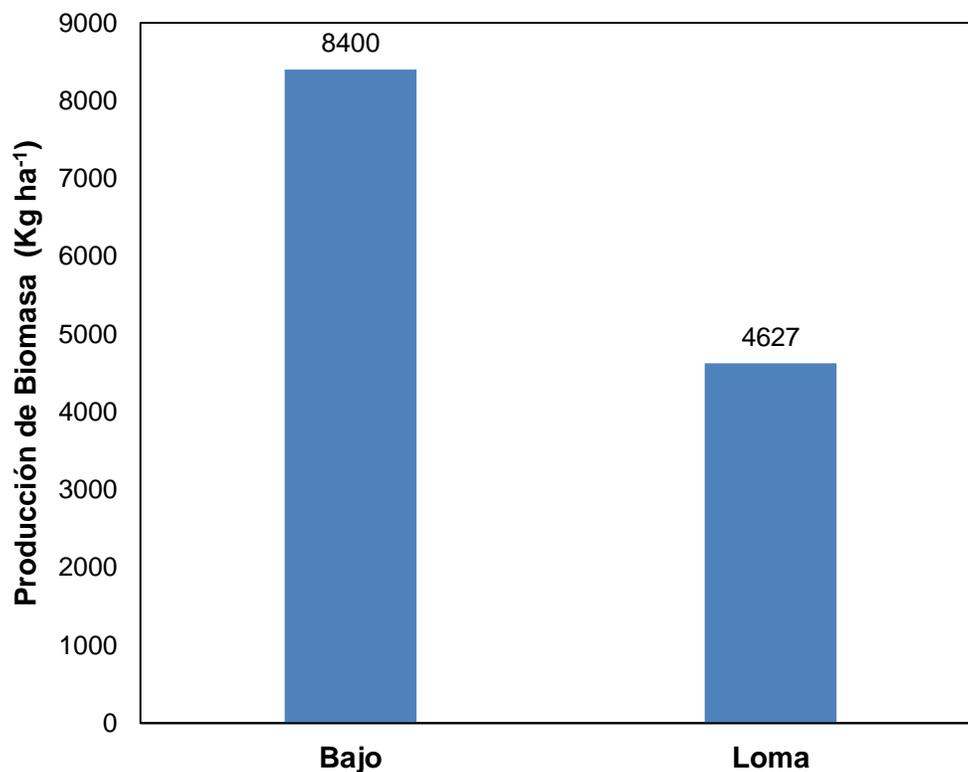


Figura 2. Producción de materia seca (MS) de centeno al momento de secado para los ambientes de bajo y loma.

7. 2. Uso Consuntivo

Las condiciones del ensayo arrojaron un valor promedio de UC de 187,7 mm, sin diferencias entre ambientes (Tabla 2). Este parámetro varía ampliamente según la campaña, el sitio, las precipitaciones y el ciclo de crecimiento del CC. En este sentido, Scianca et al. (2007) obtuvieron valores de UC de entre 88 y 207 mm para diferentes ambientes de la región pampeana arenosa.

Tabla 2: Uso consuntivo (UC), eficiencia de uso de agua (EUA) y costo hídrico (CH) del centeno en ambientes de bajo y de loma. Letras diferentes indican diferencias significativas entre ambientes ($p < 0,05$)

Ambiente	UC (mm)	EUA (kg MS mm ⁻¹)	CH (mm)
Bajo	191,6 a	43,8 a	67,5 a
Loma	183,9 a	24,8 b	45,2 a

7. 3. Eficiencia uso de agua del CC

La EUA es un claro indicador de la utilización del recurso bajo determinados sistemas de manejo y de la sostenibilidad de esos sistemas, especialmente en ambientes subhúmedos (Eiza et. al., 2009).

Para las condiciones edafoclimáticas del ensayo la EUA fue mayor en el bajo que en la loma (Tabla 2) con diferencias significativas ($p < 0,05$). Esto se debió al mayor aporte de biomasa del bajo, ya que el consumo de agua fue igual entre ambientes. Similares resultados de EUA fueron encontrados por varios autores como Scianca et al. (2007) en la región subhúmeda pampeana sobre suelos Hapludol thapto árgico y Argiudol típico, Eiza et al. (2009) sobre un Hapludol del Oeste de Buenos Aires y Baigorria y Cazorla (2010) en un Argiudol típico de la EEA INTA Marcos Juárez. Se puede destacar que el período de crecimiento y las condiciones climáticas condicionan la EUA, en la medida que las condiciones ambientales sean favorables para la producción de materia seca, la EUA se verá favorecida.

7. 4. Costo Hídrico.

El CH estimado como la diferencia entre el agua útil del barbecho y el agua útil al momento de secado fue en promedio de 56,3 mm (Tabla 2) no existiendo diferencias significativas entre ambientes ($p=0,65$). Estos CH son muy inferiores a los UC de los CC porque refleja que los barbechos no pudieron captar toda el agua de lluvia registrada durante el ciclo de los CC. Esto se evidencia en los resultados, ya que en el bajo las parcelas testigos tenían en abril 214 mm y en septiembre 252 mm, mientras que en la loma los valores fueron 92 mm y 114 mm, respectivamente. En dicho periodo las precipitaciones fueron de 157 mm, lo que indicaría que parte de la lluvia no puede ser retenida por los suelos drenando en profundidad o evaporándose. Fernández y Quiroga (2007) obtuvieron valores semejantes de CH trabajando en la EEA INTA Anguil. Por otro lado, Baigorria y Cazorla (2010b) reportaron valores de entre 40 y 80 mm dependiendo de las precipitaciones de cada año sobre un Argiudol típico en la EEA INTA Marcos Juárez. Este parámetro es de importancia ya que la inclusión de CC podría interferir en la normal oferta de agua para el cultivo sucesor (Duarte, 2002). Cabe destacar la fuerte dependencia de este parámetro respecto de las precipitaciones de cada campaña y del periodo de crecimiento del CC.

Tabla 3: Días desde la siembra, precipitaciones acumuladas y láminas de agua disponible (LAD) a la siembra de los CC, al momento de su secado y a la siembra de maíz.

Ambiente	Fecha	DDS	PP Acum	LAD (mm)	
				CC	Testigo
Bajo				218,6	213,9
Loma	Siembra CC	0		96,1	92,1
Bajo	Secado del CC	158	179,5	184,6	252,1

Loma				69,7	114,9
Bajo				274,1	302,2
Loma	Siembra Maíz	214	328,5	153,8	152,6

7. 5. Agua en el suelo al momento del secado de los CC.

Con respecto a la disponibilidad de agua en el suelo al momento del secado de los CC se observó una diferencia significativa entre ambientes ($p < 0,05$) y una tendencia a una menor disponibilidad en los tratamientos con CC ($p = 0,08$), sin interacción entre ambiente y CC ($p = 0,67$) (Tabla 3). En promedio los tratamientos con CC tuvieron 56 mm menos que los testigos representando, como se mencionó anteriormente, un costo hídrico por su inclusión.

El consumo de agua de los tratamientos con CC respecto del testigo, se observó hasta la capa de los 60-100 cm con mayores diferencias en la loma (Figura 3). Efectos similares de los CC son reportados por Álvarez *et al.* (2013) donde los CC dejaron menor cantidad de agua en el perfil del suelo respecto del testigo al secado de los mismos.

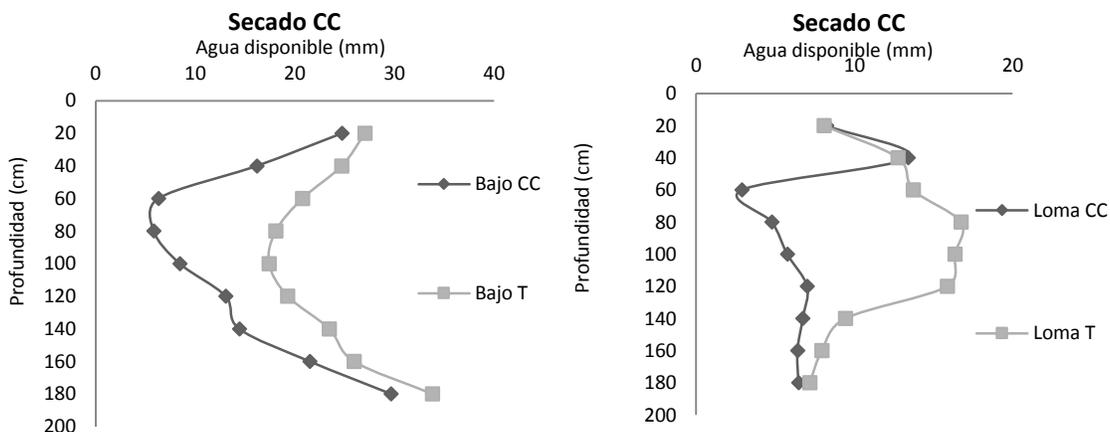


Figura 3: Agua disponible en el perfil al momento del secado de los cultivos de cobertura (CC) en ambientes de bajo y loma. Tratamientos testigo (T) y CC.

7. 6. Agua en el suelo al momento de la siembra del maíz:

Se observó una interacción significativa entre ambientes y tratamientos ($p < 0,01$). Entre el momento del secado del CC y la siembra del maíz se registraron lluvias de 149 mm lo que permitió que durante el barbecho corto los contenidos de agua se recuperaran totalmente en la loma mientras que en el bajo se observaron 35 mm menos sobre el tratamiento con CC, indicando una recuperación parcial de dicho ambiente (Figura 4). Los mayores contenidos se observaron en el testigo del bajo, seguido por el CC del mismo ambiente y por último la loma con iguales contenidos de agua entre testigo y CC.

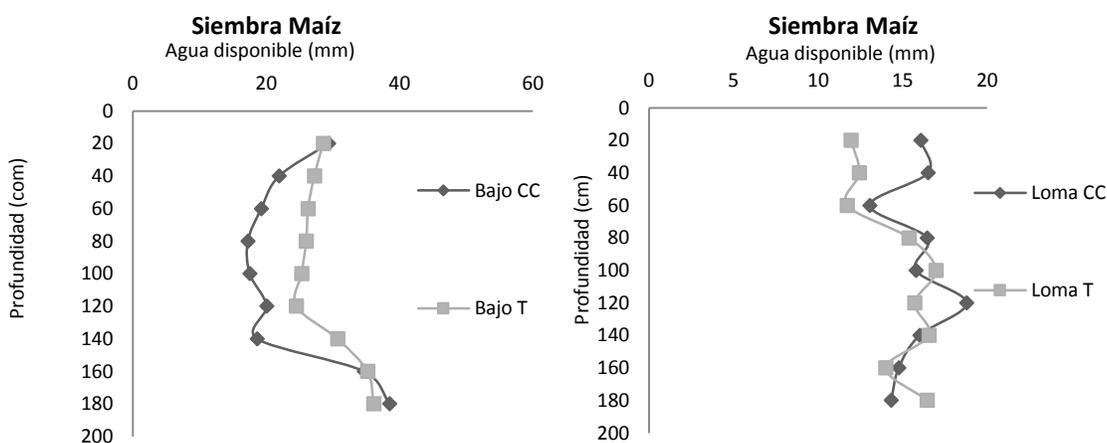


Figura 4: Agua disponible en el perfil al momento de la siembra de maíz en ambientes de bajo y loma. Tratamientos testigo (T) y CC.

Estos resultados difieren de los encontrados por Lardone y Barraco (2015), quienes al momento de la siembra de maíz no registraron diferencias en el agua disponible (AD) entre los tratamientos de antecesores con y sin CC ($p = 0,75$). Para lograr esta condición favorable es necesario que el período de barbecho comprendido entre el secado del CC y la siembra del cultivo para cosecha tenga al menos un 70% de probabilidad de ocurrencia de precipitaciones iguales al UC menos el AD inicial (Scianca et al., 2010). En casos donde dicho barbecho no es lo suficientemente largo para captar precipitaciones se afecta el AD a la siembra del cultivo estival al incluir CC (Lardone et al., 2015).

Al momento del secado de los CC los valores fueron de 218 mm y 92 mm en promedio bajo y loma, respectivamente, manteniéndose la significancia entre ambientes, para llegar a valores de 280 mm y 153 mm para bajo y loma, respectivamente al momento de la siembra del maíz. En este sentido, la brecha se acortó pero aún mantiene la significancia de los valores entre ambos ambientes, mostrando el alto peso relativo de la textura sobre esta variable por encima del manejo de los suelos.

7. 7. Eficiencia de Barbecho

La EB se puede dividir en dos: EB corto, que va desde el secado del CC hasta la siembra del maíz y EB largo que comprende desde la siembra del CC hasta la siembra del cultivo de maíz. Para el primer caso, las EB fueron similares entre ambientes con valores medios del 43%. Si bien fue casi el doble en el tratamiento con CC, estadísticamente no fueron significativas ($p=0,22$), lo que podría deberse al elevado CV que presentó esta variable (ver Anexo).

Con respecto al barbecho largo del testigo sin CC no hubo diferencias significativas en la EB entre ambientes ($p=0,18$) y fueron en promedio del 22,6%. A su vez, la EB se encuentra afectada por la duración del barbecho, por disminuir o aumentar las posibilidades de recarga por precipitaciones (Carfagno et al., 2013). Baumhardt y Jones (2002) afirmaron que la cantidad y la intensidad de las precipitaciones dominan el almacenamiento de agua durante el barbecho por sobre los efectos de la cobertura en la disminución de la evaporación.

8. CONCLUSIONES

Para las condiciones particulares del ensayo, es factible la inclusión de centeno como CC a manera de intensificar la rotación, permitiendo aportar una importante cantidad de rastrojos que protegen la superficie del suelo y generan beneficios.

El aporte de MS difirió entre ambientes, cumpliéndose la primera hipótesis. La diferente textura de los ambientes definió la productividad de los mismos redundando en mayores aportes de MS para el bajo.

Dado que los UC de los CC fueron similares entre ambientes, la EUA fue casi del doble para el ambiente de bajo debido a la alta producción de biomasa aérea. Las EB fueron mayores para el ambiente de bajo, con valores superiores en los tratamientos con CC.

Por último, a la siembra de maíz se recuperó el perfil en la loma a valores similares al testigo, mientras que en el bajo presentó 35 mm menos. Por lo antes expuesto, podría verse afectada la siembra del cultivo de maíz debido a la fuerte dependencia de PP durante el barbecho corto y la efectividad de las mismas.

Es de destacar la importancia de éste tipo de estudios en la Región Pampeana con el objetivo de mejorar los sistemas de cultivo a través de la diversificación y de prácticas de manejo que contemplen la conciencia ambiental en la utilización de los recursos suelo-agua.

Queda abierto el interés a otros estudios en detalle sobre los tiempos de cultivo, tiempos de barbecho, mejoras en las condiciones de suelo, dinámica del agua, entre otros, con el objetivo de generar información de manera que resulte más predecible la inclusión de estas prácticas conservacionistas en los sistemas de producción actuales.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Allen, R.G., M. Smith, A. Perrier y L.S. Pereira. 1994. An update for the calculation of reference evapotranspiration. Boletín de la Comisión Internacional de Riego y Drenaje (ICID) 43: 35-92.

Álvarez C., R. Bagnato R., Fernández, C. P. Lienhard & A. R. Quiroga. A. R. 2013. Cultivos de cobertura gramínea y leguminosa. Manejo y efectos sobre la nutrición de suelos y cultivos de maíz. Actas AASC. Jornadas Nacionales de Suelos de Ambientes Semiáridos. Jornadas Provinciales de Agricultura Sustentable. 20 y 21 de septiembre de 2013. Villa Mercedes. San Luis. Argentina. Pág. 95-112.

Álvarez, C., C. Scianca, M. Barraco, M. Díaz-Zorita. 2006. Impacto de cereales de cobertura sobre propiedades edáficas y producción de soja. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. I Reunión de suelos de la región Andina. Salta –Jujuy. Pág 424.

Andrade F. 2017. Los desafíos de la agricultura argentina. Satisfacer las futuras demanda y reducir el impacto ambiental. Fernando Andrade (compilador) 1ra . Edición Ediciones INTA ISBN 978-987-521-860-4. Pág. 3.

Anselmi, H. y P. Feresin. 2012. Efecto de cultivos de cobertura sobre soja en un suelo de La Carlota. En: <http://inta.gov.ar/documentos/efecto-de-cultivos-de-cobertura-sobre-soja-en-un-suelo-de-la-carlota.-campana-2011-12> Consultado: 2/09/12.

Baigorria, T y C. Cazorla. 2010. Eficiencia en el uso del agua por especies utilizadas como cultivos de cobertura. Actas XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario, 31 de mayo al 4 de junio de 2010.

Baumhardt, R & O Jones. 2002. Residue management and tillage effects on soil-water storage and grain yield of dryland wheat and sorghum for a clay loam in Texas. Soil Till. Res. 68: 71-82.

Bennie, A & M. Hensley. 2001. Maximizing precipitation utilization in dryland agriculture in South Africa, a review. *Journal of Hydrology*. 241: 124-139.

Bollero, P. 2005. El uso ambiental de los cultivos de cobertura en el medio-oeste norteamericano. En: www.fcagr.unr.edu.ar/Extension/Agromensajes/17/11AM17.htm. Consultado: 20/07/10.

Carfagno, P., M. Eiza., A. Quiroga., y F. Babinec. 2008. Cultivos de cobertura: efectos sobre la dinámica del agua en el suelo. En: XXI Congreso Argentino de la Ciencia del suelo. Potrero de los Funes (San Luis), 13 al 16 de mayo de 2008. Buenos Aires: AACCS. 1 CD).

Carfagno, PF; M.J Eiza; A Quiroga; F Babinec; C Chagas & R Michelena. 2013. Agua disponible en monocultivo de soja con cultivos de cobertura y barbechos reducidos en la región semiárida y subhúmeda pampeana. *Ciencia del Suelo*. 31(1) 67-81.

Crespo, C; N Wyngaard; H Sainz Rozas; G Studdert; M Barraco; V Gudelj; P Barbagelata P Barbieri. 2021. Effect of the intensification of cropping sequences on soil organic carbon and its stratification ratio in contrasting environments. *Catena* 200: 105145. doi.org/10.1016/j.catena.2021.105145.

Di Rienzo J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablada, M., Robledo, C.W. 2017. InfoStat versión 2017. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Disponible en <http://www.infostat.com.ar>.

Ding, G., X. Liu., S. Herbert., J. Novak., A. Dula y B. Xing. 2005. Effect of cover crop management on soil organic matter. *Geoderma*. Article in Press.

Duarte, G. 2002. Sistemas de Producción de girasol en la región húmeda argentina. En manual práctico para el cultivo de girasol. Editores Díaz-Zorita M. y Duarte G., 2002. 313 pp.

Eiza, M. y P. Carfagno. 2009. Un aporte a la sustentabilidad de los sistemas agrícolas. En: www.cpia.org.ar/download/agropost. Consultado: 15/05/10.

Eiza. M.J., P.F. Carfagno y A. Quiroga. 2009. Eficiencia en el uso del agua de distintos cultivos de cobertura en el oeste de la provincia de Buenos Aires. Actas XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario, 31 de mayo al 4 de junio del 2010.

Fernández R., A. R. Quiroga, F. Arenas, C. Antonini & M. Saks. 2007. Contribución de los cultivos de cobertura y las napas freáticas a la conservación del agua, uso consuntivo y nutrición de los cultivos. En: Manual de fertilidad y evaluación de suelos (A. R. Quiroga & A Bono Editores). Publicación Técnica N° 71. EEA INTA Anguil. Capítulo V. Pág. 7-19.

Fernández, R. y A. Quiroga. 2007. Cultivo de cobertura. Costo hídrico de su inclusión en sistemas mixtos. En: http://www.concienciarural.com.ar/agricultura/cultivo-de-cobertura-costohidrico-de-su-inclusion-en-sistemas-mixtos_a3857 Consultado: 5/06/10.

Fernández, R., D. Funaro y A. Quiroga. 2005. Influencia de cultivos de cobertura en el aporte de residuos, balance de agua y contenido de nitratos. Boletín de divulgación técnica N° 87. Aspectos del manejo de los suelos en sistemas mixtos de las regiones semiárida y subhúmeda pampeana.

Galarza, C., C.Cazorla y F. Bonacci. 2010. Influencia de los cultivos de cobertura en algunas propiedades físicas del suelo en sistemas agrícolas en siembra directa. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. P: 59. Rosario. Argentina.

Girón, P; C Scianca; M Barraco; A Lardone & W Miranda. 2014. Cambios en el carbono orgánico por la inclusión de cultivos de cobertura. XXIV Congreso Argentino de la Ciencia Del Suelo, Bahía Blanca, Argentina.

Lardone, A; M Barraco. 2015. Antecesoros y fertilización nitrogenada de maíz en siembras tardías, en la pampa arenosa. Memoria Técnica 2015-2016. EEA INTA General Villegas. Disponible en:

https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_mt2016_lardone_antecesoresh_fertilizacion_nitrogenada.pdf.

Lardone, A; M Barraco; P Girón; M Perez & W Miranda. 2015. Efecto del antecesor y nivel de fertilización nitrogenada sobre cultivos de maíz en fecha de siembra temprana. Memoria Técnica 2015-2016. EEA INTA General Villegas. Disponible en: http://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_mt2015_lardone_efecto_antecesor.pdf [Acceso: 07/03/2016].

Lobos, M; Miranda, W; Ramo M; Barraco M; Girón P. 2018. Fertilización del cultivo de cobertura en ambientes contrastantes del noroeste bonaerense. Memoria Técnica 2017-2018. Estación Experimental Agropecuaria General Villegas. Pp: 19-23.

Mathews O. R. & T. J. Army. 1960. Moisture Storage on Fallowed Wheatland in the Great Plains 1. Soil Science Society of America Journal. Vol. 24(5). Pág. 414-418.

Quiroga A.R., R. Fernández, D. Funaro & N. Peineman. 2008. Materia orgánica en los Molisoles de la región Semiárida Pampeana. Influencia sobre propiedades físicas y productividad. En: Estudio de las fracciones orgánicas en suelos de la argentina. (Gallatini J., J. Iglesias, M. Landriscini, L. Suñer & G. Minoldo Editores) 1° Ed. Bahía Blanca. Universidad de Sur. Edius. ISBN978-987-655-6009-3. Pág. 97-116

Quiroga, A., Fernández, R., Frasier, I., Scianca, C. 2009. Cultivos de Cobertura. Análisis de su inclusión en distintos sistemas de producción. Jornadas Nacionales Sistemas Productivos Sustentables, Comisión Química de Suelos. AACCS. Bahía Blanca, Bs.As. Agosto 2009.

Quiroga, A., P. Carfagno, M. Eiza, y R. Michelena. 2007. Inclusión de cultivos de coberturas bajo agricultura de secano en la región semiárida pampeana. EEA INTA General Villegas. Jornada de cultivos de cobertura. Septiembre 2007.

Ruffo M., & A. Parsons. 2004. Cultivos de cobertura en sistemas agrícolas. *Informaciones agronómicas del cono sur*. Vol. 21, Pág. 13-16.

Ruffo, M. 2003 Factibilidad de inclusión de cultivos de cobertura en Argentina. Actas XI Congreso de AAPRESID: 171-176.

SAGyP-INTA.1989. Secretaria de Agricultura, Ganadería y Pesca - Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 1989. Mapa de suelos, Provincia de Buenos Aires. Escala 1:500.000. 525p.

Sasal, M.C., M. Wilson y N. Garciarena. 2008. Escurrimiento superficial y perdidas de nutrientes y glifosato en secuencias de cultivos. Agricultura sustentable Serie Extensión N° 51.

Scianca, C., C. Álvarez, M. Barraco y A. Quiroga. 2007. Centeno utilizado como cultivo de cobertura en diferentes ambientes de la región pampeana. En: memoria técnica 2008-2009. General Villegas: Ediciones INTA pp. 29-34.

Scianca, C; M Barraco & C Alvarez. 2010. Cálculo de probabilidad de ocurrencia de precipitaciones. Memoria Técnica 2009-2010. EEA INTA General Villegas. Disponible en: http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-mt2010_scianca_calculo_probabilidad_ocurrencia.pdf [Acceso: 09/03/2016].

Varela, M., P. L. Fernández., G. Rubio y M. A. Taboada. 2010. ¿Mejora la macroporosidad y la estabilidad estructural de los suelos limosos luego de la incorporación de cultivos de cobertura? Actas XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario, 31 de mayo al 4 de junio del 2010.

Varillas, G; Pedraz, F; Barraco, M; Kruk, B. 2014. Cultivos de cobertura en ambientes limitantes del oeste de Buenos Aires. Memoria Técnica 2013-14. Estación Experimental Agropecuaria General Villegas. Pp: 11-15.

Wander, M y S. Traina. 1996. Organic fractions from organically and conventionally managed soils: I. Carbon and nitrogen distribution. Soil Sci. Soc. Am. J. 60, 1081– 1087.

Webster, T. M., Scully, B. T., Grey, T. L., y Culpepper, A. S. 2013. Winter cover crops influence *Amaranthus palmeri* establishment. ELSEVIER, Crop Production 52. 130-135.

Wischmeier, W.H. y D.W. Smith. 1958. Rainfall energy and its relationship to soil loss. Trans. Am. Geo. Un. 39:285-291.

10. Anexo

MS

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
MS	6	0,92	0,79	16,32

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	24529433,00	3	8176477,67	7,23	0,1239
Ambiente	21357066,67	1	21357066,67	18,89	0,0491
Bloque	3172366,33	2	1586183,17	1,40	0,4161
Error	2260840,33	2	1130420,17		
Total	26790273,33	5			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=3735,17186

Error: 1130420,1667 gl: 2

Ambiente	Medias	n	E.E.	
Loma	4627,00	3	613,85	A
Bajo	8400,33	3	613,85	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

UC

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
UC	6	0,59	0,00	12,80

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1660,29	3	553,43	0,96	0,5472
Ambiente	88,17	1	88,17	0,15	0,7337
Bloque	1572,12	2	786,06	1,36	0,4236
Error	1155,32	2	577,66		

Total	2815,61	5
-------	---------	---

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=84,43595

Error: 577,6617 gl: 2

Ambiente	Medias	n	E.E.
Loma	183,90	3	13,88 A
Bajo	191,57	3	13,88 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

EUA

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
EUA	6	0,97	0,93	8,17

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	553,66	3	184,55	23,53	0,0410
Ambiente	543,02	1	543,02	69,24	0,0141
Bloque	10,64	2	5,32	0,68	0,5958
Error	15,69	2	7,84		
Total	569,35	5			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=9,83851

Error: 7,8429 gl: 2

Ambiente	Medias	n	E.E.
Loma	24,78	3	1,62 A
Bajo	43,81	3	1,62 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

CH

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Costo Hidrico de los CC	6	0,65	0,12	91,97

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	9938,11	3	3312,70	1,23	0,4769
Ambiente	748,17	1	748,17	0,28	0,6503
Bloque	9189,94	2	4594,97	1,71	0,3688
Error	5368,86	2	2684,43		
Total	15306,97	5			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=182,01904

Error: 2684,4317 gl: 2

Ambiente	Medias	n	E.E.
Loma	45,17	3	29,91 A
Bajo	67,50	3	29,91 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Agua Sbra Maiz	12	1,00	1,00	2,03

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	58269,12	7	8324,16	416,29	<0,0001	
Ambiente	54621,01	1	54621,01	99,40	0,0099	
(Ambiente*Bloque)						
Ambiente*Bloque	1099,01	2	549,51	27,48	0,0046	
Bloque	1359,71	2	679,86	34,00	0,0031	
Trata	544,05	1	544,05	27,21	0,0064	
Trata*Ambiente	645,33	1	645,33	32,27	0,0047	
Error	79,98	4	20,00			
Total	58349,11	11				

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=58,23201

Error: 549,5058 gl: 2

Ambiente	Medias	n	E.E.
Bajo	288,13	6	9,57 A
Loma	153,20	6	9,57 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=7,16800

Error: 19,9958 gl: 4

Trata	Medias	n	E.E.
Test	227,40	6	1,83 A
CC	213,93	6	1,83 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=10,13709

Error: 19,9958 gl: 4

Trata Ambiente	Medias	n	E.E.
Test Bajo	302,20	3	2,58 A
CC Bajo	274,07	3	2,58 B
CC Loma	153,80	3	2,58 C
Test Loma	152,60	3	2,58 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Eficiencia de barbecho cort..	12	0,63	0,00	70,01

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	6424,98	7	917,85	0,97	0,5447	
Ambiente	106,74	1	106,74	3,04	0,2234	(Ambiente*Bloque)
Ambiente*Bloque	70,26	2	35,13	0,04	0,9638	
Bloque	3749,68	2	1874,84	1,99	0,2517	
Trata	2481,70	1	2481,70	2,63	0,1802	
Trata*Ambiente	16,59	1	16,59	0,02	0,9009	
Error	3774,66	4	943,66			
Total	10199,63	11				

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=14,72414

Error: 35,1325 gl: 2

Ambiente	Medias	n	E.E.
Bajo	46,86	6	2,42 A
Loma	40,89	6	2,42 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=49,24217

Error: 943,6643 gl: 4

Trata	Medias	n	E.E.
CC	58,26	6	12,54 A
Test	29,50	6	12,54 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)