



**“EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN Y MOMENTO DE SECADO
SOBRE LA EFICIENCIA DE USO DEL AGUA DE CULTIVOS DE
COBERTURA”**

Trabajo Final de Graduación para obtener el título de Ingeniero Agrónomo

Autor:

EGUREN, Tomás

Director:

Dr. QUIROGA, Alberto Raúl

*Cátedra Manejo de Suelos / Edafología de la Facultad de Agronomía de la UNLPam
INTA Anguil*

Codirectora:

Dra. FERNÁNDEZ, Romina

*Cátedra Manejo de Suelos de la Facultad de Agronomía de la UNLPam
INTA Anguil*

Evaluadores:

Dr. RIESTRA, Diego René.

Cátedra de Agrotécnia de la Facultad de Agronomía de la UNLPam

Dr. ÁLVAREZ, Cristian Osvaldo.

INTA Anguil

FACULTAD DE AGRONOMÍA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA
SANTA ROSA, LA PAMPA, ARGENTINA - OCTUBRE 2023

Índice:

Resumen -----	3
Abstract -----	4
Introducción -----	5
Hipótesis -----	9
Objetivos -----	9
Materiales y métodos -----	9
Determinaciones -----	11
<i>Suelo</i> -----	11
<i>Cultivos</i> -----	12
Resultados y discusión -----	13
<i>Precipitaciones</i> -----	13
<i>Macollos</i> -----	13
<i>Biomasa aérea</i> -----	14
<i>Efecto de la fertilización</i> -----	16
<i>Uso consuntivo</i> -----	19
<i>Eficiencia en el uso del agua</i> -----	20
Conclusiones -----	22
Bibliografía -----	23

Resumen:

Los cultivos de cobertura cumplen diversas funciones en los sistemas de producción.

La práctica de la fertilización puede dar lugar a incrementos en la producción de biomasa, tanto en cultivos de renta, como en los de cobertura o servicio. Esto, en regiones semiáridas donde la oferta hídrica es limitante, se traduce en una mayor eficiencia en el uso del agua.

El presente trabajo fue realizado en la planicie con tosca de la región semiárida pampeana con dos especies, *Avena sativa* y *Vicia villosa* consociadas, y sometidas a 4 tratamientos, fertilización nitrogenada, fertilización fosforada, con ambos fertilizantes y testigo, a su vez, evaluadas en tres momentos de secado.

Se observó desde macollaje una respuesta significativa del efecto de la fertilización sobre la producción de macollos, diferencia que a posteriori se vio reflejada en la producción de biomasa aérea. Por otra parte, la fertilización también afectó la proporción de especies en la mezcla.

La biomasa aérea se incrementó en mayor medida que el uso consuntivo a medida que se retrasó la fecha de secado dando lugar, por consiguiente, a una mayor eficiencia en el uso del agua.

El efecto de la fertilización sobre el uso consuntivo no presentó diferencias significativas entre los tratamientos, lo cual se vio reflejado positivamente en la eficiencia del uso del agua producto del incremento en la producción de biomasa que generó esta práctica, aunque tal diferencia no fue significativa entre los tratamientos fertilizados.

Palabras claves: Región Semiárida Pampeana; *Avena sativa*; *Vicia villosa*; uso consuntivo.

Abstract:

Cover crops are planted between two harvest crops so that their residues remain on the surface to fulfill various functions in production systems, providing the system with multiple ecosystem services.

The practice of fertilization, in soils that have been degraded by the expansion of the agricultural frontier, produces on various occasions increases in biomass production, both in income crops and in cover or service crops. This, in semi-arid regions where water supply is limiting, translates into greater efficiency in water use.

The present work was carried out in the rough plain of the semi-arid Pampas region with two species, *Avena sativa* and *Vicia villosa* consociated, and subjected to 4 treatments, nitrogen fertilization, phosphorus fertilization, with both fertilizers and control, in turn, evaluated in three drying moments.

A significant response to the effect of fertilization on tillering production was observed from tillering, a difference that was subsequently reflected in the production of aerial biomass. On the other hand, fertilization also affected the proportion of species in the mixture.

Although consumptive use increased as the drying date was delayed, the increases in aerial biomass obtained as the drying date was delayed resulted in greater efficiency in water use.

The effect of fertilization on consumptive use did not present significant differences between treatments, which was positively reflected in the efficiency of water use as a result of the increase in biomass production generated by this practice, although such difference was not significant between fertilized treatments.

Keywords: semi-arid Pampas region; *Avena sativa*; *Vicia villosa*; consumptive use.

Introducción:

Los sistemas de producción de la Región Semiárida y Subhúmeda Pampeana han experimentado importantes cambios durante los últimos 25 años. El desplazamiento de la frontera agrícola, y en muchos casos la disminución de los sistemas de producción mixtos, a partir de una mayor participación de cultivos de renta ha significado una importante reducción en el aporte de residuos y en los contenidos de materia orgánica (MO), acentuándose los procesos de degradación física y de pérdidas de suelo por erosión (Fernández et al., 2012).

Ante esta situación surge la posibilidad de establecer cultivos de cobertura (CC), que se diferencian de una pastura o de un verdeo invernal porque no son de renta directa y se desarrollan dentro de una secuencia continua de cultivos anuales, entre el periodo de cosecha y siembra de los cultivos de verano (Scianca, 2010). Estos son propuestos como una alternativa para mitigar diversas problemáticas en los sistemas de producción, tales como mantener o atenuar la pérdida de carbono de los suelos, prevenir su erosión, mejorar el balance de MO, anclar residuos de cultivos de renta (principalmente en cultivos de Maíz), mejorar los procesos de conducción, conservación y eficiencia en el uso del agua (EUA), contribuir al control de malezas, prevenir el ascenso de sales en suelos con presencia de napas y en el caso de la implementación de leguminosas tales como Vicia contribuir con la FBN (Rillo, 2022; Reeves y Touchton, 1991; Kuo y Jellum, 2002; Tonitto et al., 2006; Zhu et al., 1991).

Varias gramíneas de invierno tales como centeno, avena o raigrás anual pueden ser utilizadas como cultivos de cobertura, logrando una alta acumulación de biomasa aprovechando su crecimiento entre cultivos consecutivos de soja. (Álvarez et al., 2006). También el uso de leguminosas de invierno tales como vicia en consociación con las gramíneas antes mencionadas, presentan beneficios ya que posee la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico por

medio de la fijación biológica de nitrógeno (FBN) (Sá Pereira, 2013; Ernst, 2004; Silva et al., 2006).

A fin de mejorar tales contribuciones, diversos estudios indican que la fertilización nitrogenada en cereales de invierno utilizados como CC puede mejorar la tasa de producción de biomasa y EUA de los mismos. Bertolla et al. (2012) en Marcos Juárez (Cba.) en ensayos realizados con triticale, centeno, *Vicia villosa* y *Vicia sativa* sobre Argiudoles típicos encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) en la producción de biomasa y EUA cuando se realizó la fertilización de las gramíneas con 46 kg. ha^{-1} de fosfato di amónico (FDA) y 200 kg. ha^{-1} de urea. En las leguminosas solo comprobaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en la EUA cuando se realizó la fertilización con 46 kg. ha^{-1} de FDA, los resultados de estos ensayos pueden observarse en la Tabla 1.

Tabla 1: Producción de biomasa aérea total en kg. ha^{-1} y EUA en $\text{kg. ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ para los distintos cultivos y tratamientos de fertilización realizados por Bertolla et al. (2012) en Marcos Juárez (Cba.).

Cultivo	Tratamiento	Biomasa	EUA
<i>Triticale</i>	Fert.	20015 (a)	81,5 (a)
	Testigo	11867 (b)	66,4 (ab)
<i>Centeno</i>	Fert.	11334 (a)	50,5 (bc)
	Testigo	5655 (c)	30,9 (c)
<i>Vicia villosa</i>	Fert.	7694 (a)	41,5 (ab)
	Testigo	7307 (a)	43,2 (a)
<i>Vicia sativa</i>	Fert.	5306 (a)	18,1 (c)
	Testigo	4673 (a)	25,9 (bc)

Por otra parte, Álvarez et al. (2013) con ensayos realizados en diversos cultivares de centeno de ciclos largos (tetraploides) y de ciclos cortos (diploides) sobre Haplustoles énticos y Ustipsamments típicos fertilizados con 50 kg. ha^{-1} de nitrógeno, encontraron incrementos en la producción de entre 41 y 70% y entre 52 y 106% en ciclos largos y cortos respectivamente. También encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) en la EUA que rondaron entre un 30 a un 56% más en los tratamientos fertilizados dependiendo el momento de secado.

Fernández et al. (2012) también encontraron respuestas importantes a la fertilización nitrogenada de centeno y a la fertilización fosforada en vicia en diversos ensayos realizados en Molisoles del noroeste de la provincia de Buenos Aires, La Pampa y suelos bajo riego en Mendoza.

Una desventaja de la utilización de CC es que el consumo hídrico durante el invierno podría interferir en la normal oferta de agua para el cultivo sucesor (Duarte, 2002). Por tal motivo es importante elegir especies que, por su precocidad, tengan alta producción inicial de biomasa. Ello posibilita una mayor EUA, secados más tempranos y mejores condiciones para la recarga del perfil.

A medida que se prolonga el ciclo (retraso en el momento de secado) se incrementa la biomasa producida y la relación C/N de la misma. Pero también resulta mayor el consumo de agua que en algunos ambientes puede limitar la disponibilidad para el posterior cultivo de renta.

En tanto que, Fernández et al. (2012) evaluaron 3 momentos de secado de centeno (agosto, septiembre y octubre) en Molisoles del noroeste de la provincia de Buenos Aires, La Pampa y suelos bajo riego en Mendoza, encontrando que, en centeno, la fertilización nitrogenada produce un incremento en la producción de biomasa que puede permitir en determinados casos hasta el adelantamiento de 30 días en la fecha de secado del mismo. Para el caso de la vicia comprobaron un incremento promedio de entre 225 y 431 kg. ha⁻¹ asociado a la fertilización fosforada.

Kette y Maceda (2022) también evaluaron 3 momentos de secado (30 de junio, 30 de agosto y 30 de septiembre) en suelos Ustipsamments típicos de Anguil (LP), donde se generaron 3015, 5060 y 8292 kg. ha⁻¹ de biomasa seca y una EUA de 12,2; 20,0 y 24,2 kg. ha⁻¹. mm⁻¹, respectivamente en cada momento de secado. Servera y Zamora (2016) en ensayos similares

realizados previamente con centeno como CC en el mismo sitio (Anguil) en tres momentos diferentes de secado (julio, agosto y septiembre) mostraron diferencias significativas en la biomasa aérea del CC secado en julio (2930 kg. ha^{-1}), respecto de los secados en agosto (4073 kg. ha^{-1}) y septiembre (4106 kg. ha^{-1}). Sin embargo, no registraron diferencias significativas en la EUA, que resultó de $8,90 \text{ kg. ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ (julio), $10,57 \text{ kg. ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ (agosto) y $10,67 \text{ kg. ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ (septiembre).

Frasier et. al. (2009) por su parte evaluaron la producción de centeno como CC hasta encañazón sobre un Haplustol éntico y obtuvieron valores de EUA de $35 \text{ kg. ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$. En tanto que, Scianca (2010) para un centeno como CC en un suelo Argiudol típico halló valores de EUA entre 34 y $54 \text{ kg. ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$, mientras que en un Hapludol thapto árgico la EUA varió entre 9 y $30 \text{ kg. ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$.

En ensayos de larga duración llevados a cabo por Uhaldegaray et al. (2021) se comprobó que la utilización de leguminosas de invierno en mezclas con los cereales de invierno utilizados como CC o bien la simple fertilización nitrogenada de estos últimos produjo un aumento en la producción de biomasa y en la EUA, tanto del CC como del cultivo de renta siguiente. El mayor aporte de nitrógeno, por FBN o por aporte de fertilizantes da lugar a una menor relación C/N de los cereales de invierno que por mineralización incrementa la disponibilidad de N para el cultivo de renta siguiente. A su vez comprobaron que esto registró mejoras en las propiedades edáficas tales como disminuciones en la densidad aparente, mejoras en la infiltración, mayor presencia de raíces y agregados más oscuros.

Hipótesis:

El UC se incrementa con la fertilización de los cultivos y fecha de secado, sin embargo, al aumentar la productividad de la biomasa aérea, mejora la eficiencia de uso de agua en Paleustoles Petrocalcicos de Región Semiárida Pampeana.

Objetivos:

1. Evaluar los efectos de los momentos de secado del CC sobre la EUA en Paleustoles Petrocálculos de la Región Semiárida Pampeana.
2. Evaluar el impacto de la fertilización con fosforo y nitrógeno sobre la productividad de biomasa aérea, UC y EUA de los tratamientos evaluados.

Materiales y métodos:

El estudio se llevó a cabo en el campo de enseñanzas de la Facultad de Agronomía de la UNLPam, ruta nacional 35, kilómetro 334, ubicado al sur de la planicie con tosca de la Región Semiárida Pampeana. El suelo clasificado como *Paleustol petrocálcico* presenta una secuencia de horizontes A, AC, C y Ck (Fotografía 1), con estrato calcáreo a 100 cm. La precipitación media anual es de 729mm para el periodo 1975 a 2021.



Fotografía 1: Vista del perfil del Paleustol Petrocálcico donde se estableció el ensayo.

El ensayo se realizó sobre el lote 5F del campo de enseñanzas, sobre dos especies invernales utilizadas como cultivo de cobertura. El 6 de abril de 2021, se sembró *Vicia villosa* var. Ascasubi INTA (20kg. ha⁻¹) con *Avena sativa* var. Cristal INTA (20kg. ha⁻¹) bajo sistema de labranza convencional y distanciamiento entre surcos de 17,5cm. Se establecieron 4 tratamientos, I: fertilizado con nitrógeno (40kg N. ha⁻¹) (N), II: fertilizado con fósforo (20kg P. ha⁻¹) (P), III: fertilizado con ambos fertilizantes en cuestión (40kg N. ha⁻¹ + 20kg P. ha⁻¹) (NP) y IV: testigo (T), esto se realizó mediante un diseño de bloques con 4 repeticiones de cada tratamiento (16 parcelas de 100 m² cada una). El diseño del ensayo y tratamientos se detallan en la Figura 1.

↑
N

N	P	NP	T
P	NP	T	N
NP	T	N	P
T	P	N	NP

Figura 1: Plano del ensayo y sus respectivos tratamientos.

Los momentos de secado de biomasa aérea se realizaron: el 3/6/2021, 5/7/2021 y 10/8/2021, correspondiente a los momentos de corte (evaluación de biomasa). En la Tabla 2 se detallarán cada una de las fechas de corte como días luego de la siembra (DLS) para simplificar la lectura.

Tabla 2: Cronograma de eventos durante el ensayo.

Día	Evento	DLS
6/4/2021	Siembra	0
12/4/2021	Inicio	6
3/6/2021	Corte 1	58
5/7/2021	Corte 2	90
10/8/2021	Corte 3	126

Determinaciones:

Suelo:

En estratos de 20 cm de espesor y hasta la profundidad del manto calcáreo (100cm) se determinaron los contenidos de agua (método gravimétrico) al momento del inicio del ensayo y en los distintos momentos de corte de biomasa de los CC. El agua disponible (AD) se expresó en milímetros para cada estrato, y se calculó restando al porcentaje de humedad del suelo (HS) el porcentaje de humedad al punto de marchitez permanente (HPMP) y afectando esto por la densidad aparente (DAP). Ecuación 1:

$$AD = (HS - HPMP) * DAP$$

Además, se calculó el uso consuntivo (UC) de cada tratamiento haciendo la suma del AD inicial (ADi) del suelo (momento de la siembra) y las precipitaciones (PP) ocurridas durante el periodo de crecimiento, a lo que luego se le restó el AD al momento del análisis de humedad del suelo (ADf). Ecuación 2:

$$UC = ADi + PP - ADf$$

También en estratos de 20 cm de espesor y hasta la profundidad del manto calcáreo (100cm) se determinaron los contenidos de nitrógeno en forma de nitratos (NO_3^-) (método del ácido cromotrópico) a los 6 días de la siembra.

Finalmente se determinó la eficiencia de uso de agua (EUA) entre el cociente de la MS y el UC durante el periodo evaluado (distintos momentos de corte). Ecuación 3:

$$EUA = MS/UC$$

Cultivos:

El macollaje se determinó a los 38 días de la siembra, donde por cada unidad experimental se extrajeron 5 plantas y en gabinete por medio de conteo directo se cuantificó la cantidad de macollos.

En cada momento de corte de los CC se cuantificó la materia verde (MV) de la biomasa aérea, para lo cual se realizaron cortes sobre una superficie de 0,25m² por parcela y luego se transformó en MV por hectárea.

Estas muestras de MV a su vez fueron secadas en estufa a 60°C hasta alcanzar peso constante y así se cuantificó la materia seca (MS) que también se transformó en MS por hectárea. Tal procedimiento se realizó de manera individual para las especies cultivadas, permitiendo así calcular la proporción de *Vicia villosa* en la mezcla.

Durante el periodo comprendido de estudio se registraron las precipitaciones en la estación meteorológica de la Facultad de Agronomía de la UNLPam, que se encuentra a 900m del sitio donde se realizó el ensayo.

Resultados y discusión:

Precipitaciones:

En la Figura 2 se presenta tanto el promedio histórico de precipitaciones de la estación meteorológica de la Facultad de Agronomía de la UNLPam desde 1975 hasta 2021 (línea verde) como así también las ocurridas en el 2021, año en que se llevó a cabo el ensayo (línea azul).

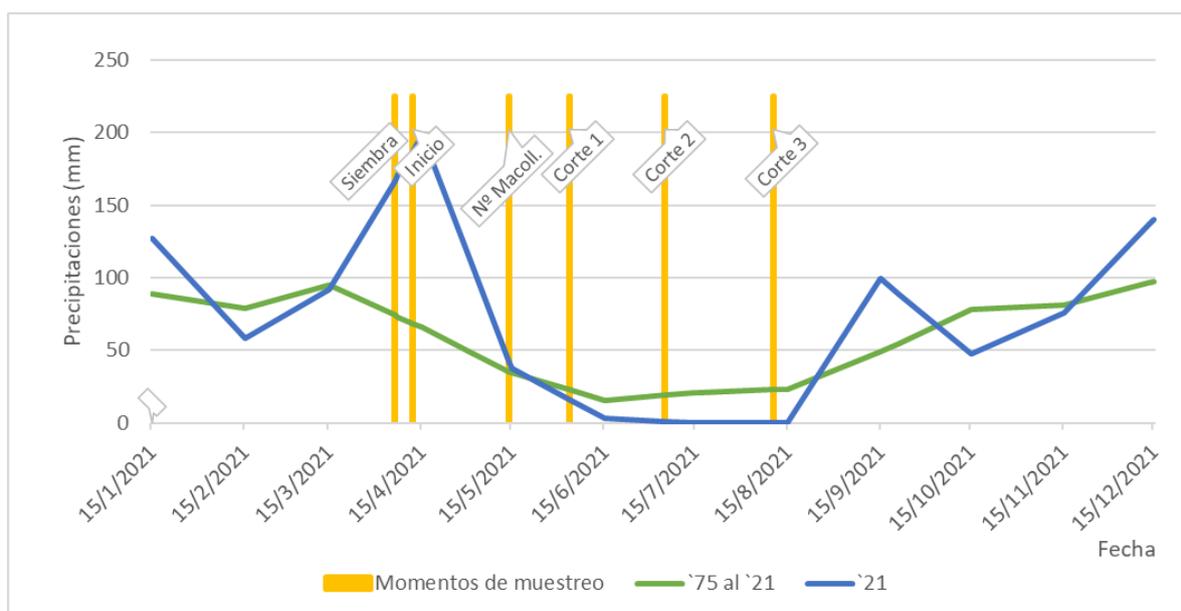
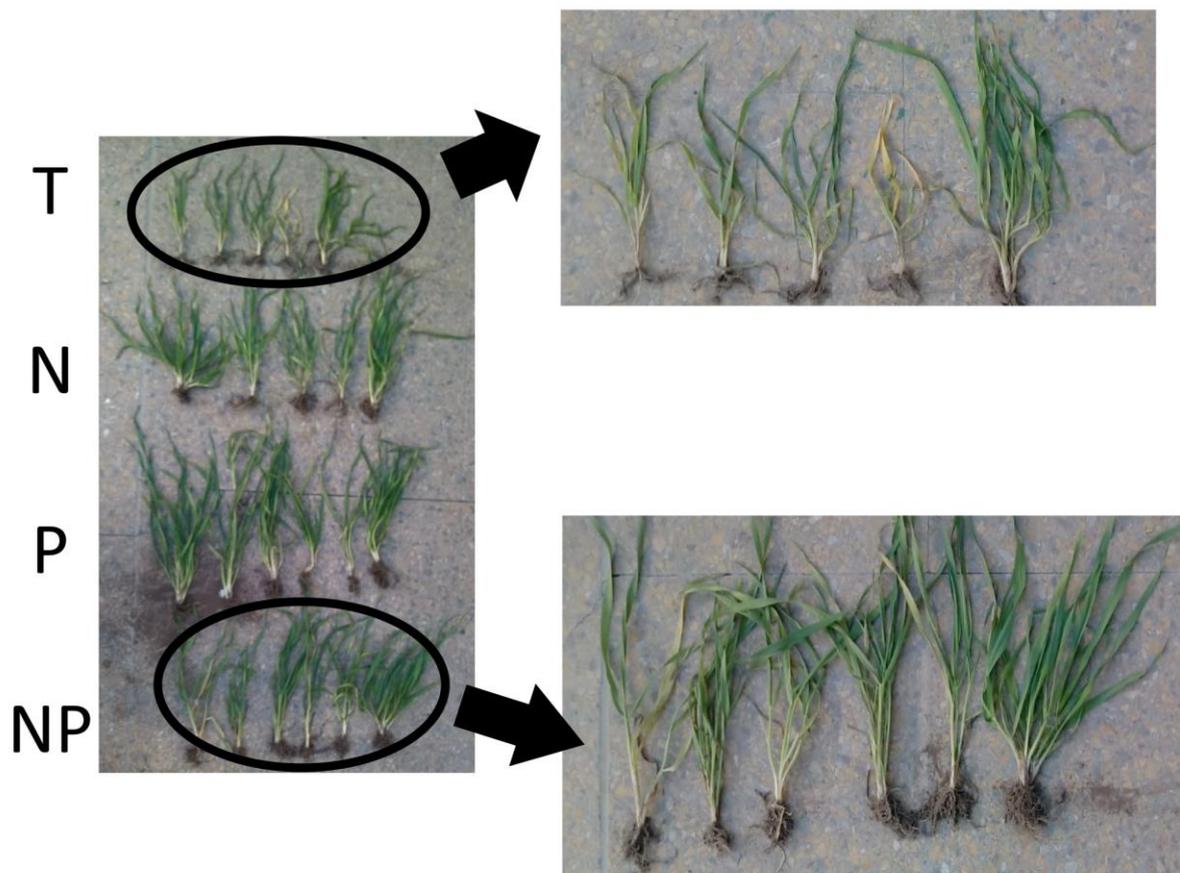


Figura 2: Precipitaciones históricas (1975 – 2021), precipitaciones del ciclo (2021) y momentos de corte.

Desde la siembra hasta que los tratamientos se establecieron (12/abr) las precipitaciones fueron de 64,2 mm, luego hasta el primer corte (3/jun) se sumaron 172,4 mm, hasta el segundo corte (5/jul) 1,7 mm y 0 mm hasta el tercero (10/ago), dando un total de 238,3 mm en todo el lapso que duró la experiencia.

Macollos: la evaluación del número de macollos por planta realizada a los 38 días después de la siembra mostró diferencias significativas ($p < 0,05$) en función a los tratamientos. El valor más bajo correspondió al tratamiento T (2,7 mac. pl^{-1}) que resultó significativamente menor a los tratamientos con aporte de nutrientes. A su vez entre los tratamientos fertilizados se

registraron diferencias significativas entre P (4,3 mac. pl^{-1}), N (4,7 mac. pl^{-1}) y NP (4,8 mac. pl^{-1}). La fotografía 2 ilustra sobre estas diferencias.



Fotografía 2: Evaluación visual y conteo de número de macollos a los 38 días luego de la siembra.

Biomasa aérea: el contenido de agua útil a la siembra en el perfil del suelo (0 a 100 cm) fue de 144 mm y el de N disponible de 121 kg. ha^{-1} . Es importante destacar la baja disponibilidad de N en los primeros 20 cm de perfil (15 kg. ha^{-1}). A los 58 días de la siembra se realizó el primer corte determinando la producción de biomasa aérea expresada en kilogramos de materia seca por hectárea. Los resultados mostraron diferencias significativas entre T (802 kg. ha^{-1}) y los tratamientos fertilizados ($p < 0,05$). En tanto que, al primer corte, la interacción NP (2207 kg. ha^{-1}) se diferenció significativamente de N (1616 kg. ha^{-1}) y de P (1530 kg. ha^{-1}) ($p < 0,05$). En el segundo corte realizado a los 90 días luego de la siembra el tratamiento T (2173 kg. ha^{-1})

resultó significativamente menor a los fertilizados, los cuales no mostraron diferencias significativas entre si dando lugar a un promedio de 3895 kg. ha⁻¹ (p< 0,05).

La misma tendencia se comprobó para el tercer corte realizado a los 126 días después de la siembra, en el mismo, el tratamiento T (4262 kg. ha⁻¹) produjo significativamente menor biomasa que los tratamientos fertilizados que no se diferenciaron entre si dando en promedio 6458 kg. ha⁻¹ (p< 0,05). En la Tabla 3 se consignan los valores de los distintos tratamientos en cada corte.

Tabla 3: Producción de biomasa aérea total en kg. ha⁻¹ para los distintos tratamientos de fertilización en las 3 fechas de corte.

	Corte 1	Corte 2	Corte 3
T	802 (a)	2173 (a)	4262 (a)
P	1530 (b)	3796 (b)	6294 (b)
N	1616 (b)	3814 (b)	6363 (b)
NP	2207 (c)	4348 (b)	6717 (b)

En cada corte se determinó la contribución de ambas especies a la biomasa total. Los resultados muestran que la mayor proporción correspondió a la gramínea que respondió en mayor grado a los tratamientos de fertilización. A los 58 días de la siembra (corte 1) la proporción de vicia en promedio fue del 8,9%, al momento del segundo corte (90 días) de 7,8% en promedio y a los 126 días (corte 3) resulto en un 20,5% en promedio. Discriminando la proporción de cada especie en cada tratamiento, al momento del tercer corte la producción de avena en T (3140 kg. ha⁻¹) fue significativamente menor a los tratamientos fertilizados (5262 kg. ha⁻¹) (p< 0,05), los cuales no se diferenciaron entre sí, mientras que la producción de biomasa de vicia solo resulto significativa entre los tratamientos con N (1041 kg. ha⁻¹) y P (1365 kg. ha⁻¹) (p< 0,05). Puede inferirse que el aporte de N no tuvo un efecto positivo sobre la leguminosa, mientras que si lo fue el efecto de la fertilización con P. En la Tabla 4 se consignan los resultados.

Tabla 4: Producción de biomasa aérea total y de cada cultivo en kg. ha⁻¹ y proporción de vicia para los distintos tratamientos de fertilización en la tercer y última fecha de corte.

	Vicia	Avena	Total	Prop. Vicia
T	1122 (ab)	3140 (a)	4262 (a)	26,3%
P	1365 (b)	4929 (b)	6294 (b)	21,7%
N	1041 (a)	5322 (b)	6363 (b)	16,4%
NP	1183 (ab)	5534 (b)	6717 (b)	17,6%

Efecto de la fertilización sobre la acumulación de biomasa: en general, todos los tratamientos mostraron un incremento en la tasa de producción de biomasa. Durante los primeros 25 días la misma resulto de 13,8 kgMS.ha⁻¹.dia⁻¹ para el tratamiento T y de 30,8 kgMS.ha⁻¹.dia⁻¹ para el promedio de los tratamientos fertilizados. Entre los 58 y 90 días la tasa se incrementó a 42,9 kgMS.ha⁻¹.dia⁻¹ para T y 68,8 kgMS.ha⁻¹.dia⁻¹ para los fertilizados y en el último periodo que va de los 90 a 126 días fue de 58,0 kgMS.ha⁻¹.dia⁻¹ para T y de 68,7 kgMS.ha⁻¹.dia⁻¹ para los fertilizados. Estos resultados muestran que el aporte de nutrientes tuvo comparativamente una mayor incidencia durante la etapa inicial del cultivo donde prácticamente casi se triplica la producción de biomasa. Resultados similares obtuvieron Quiroga et al. (2007), que encontraron en centeno utilizado como CC, un aumento de 50 kg. mm⁻¹ en Hapludoles y de 30 kg. mm⁻¹ en Haplustoles, cuando se fertilizaba con 100 kg. ha⁻¹ de urea con respecto a un testigo sin fertilizar. En la Tabla 5 se muestran en detalle los resultados para cada tratamiento obtenido.

Tabla 5: Aumentos diarios de biomasa, expresados en kilogramos de materia seca por hectárea y por día (ADMS) en cada uno de los intervalos de corte (ADMS 0 a 58; ADMS 58 a 90 y ADMS 90 a 126) y total (ADMS 0 a 136) para cada uno de los 4 tratamientos.

	ADMS 0 a 58	ADMS 58 a 90	ADMS 90 a 126	ADMS 0 a 126
T	13,8 (a)	42,9 (a)	58,0 (a)	33,8 (a)
N	27,9 (b)	68,7 (b)	70,8 (a)	50,5 (b)
P	26,4 (b)	70,8 (b)	69,4 (a)	50,0 (b)
NP	38,0 (c)	66,9 (b)	65,8 (a)	53,3 (b)

Posiblemente si este tipo de practica de consociación avena – vicia se destinara al uso como verdeo (forrajero), el incremento en la tasa de producción de biomasa por el aporte de nutrientes permitiría anticipar el pastoreo. Esto, además demuestra que, estratégicamente podría

sembrarse menor superficie cuando los verdeos se fertilizan para alcanzar una misma oferta forrajera (por ejemplo: en base a esta respuesta inicial, tendríamos la misma disponibilidad de forrajes en un lote de 45 ha fertilizado que en uno de 100 ha sin fertilizar).

Cuando se evalúa la producción promedio total de biomasa existen diferencias significativas entre tratamientos fertilizados y testigo en la tasa de producción de biomasa ($p < 0,05$), no observándose diferencias significativas en el aporte de N y P, solos o combinados ($p < 0,05$). No obstante, cuando se considera la etapa de desarrollo inicial no solo se comprueban diferencias al aporte de cada uno de los nutrientes, sino también una interacción significativa en la respuesta ($p < 0,05$). En el segundo estadio de crecimiento del cultivo (58 a 90 días), la respuesta a la fertilización fue significativa ($p < 0,05$), en tanto que la respuesta entre los nutrientes no presentó diferencias significativas ($p < 0,05$). La misma evaluación entre los 90 y 126 días con los valores medios registrados en las tasas de acumulación de biomasa no permitieron observar diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$). Una de las causas por las cuales la respuesta inicial resultó más importante podría atribuirse a la disponibilidad de agua, principalmente porque las precipitaciones fueron adecuadas en la primera parte de desarrollo del cultivo, mientras que casi no se registraron lluvias entre los 58 y 126 días (1,7 mm). Otra causa podría ser la dosis de nutriente aportada, que solo resultó suficiente para dar lugar a la respuesta inicial. En base a lo expuesto, surge el interrogante acerca de cuál hubiese sido la respuesta ante una mayor dosis de fertilización.

Al comparar los perfiles hídricos iniciales y a los 126 días se observa una reducción significativa de agua almacenada en el suelo (88,4 mm). En la Figura 3 se han representado los perfiles hídricos al inicio del ensayo y al momento del último corte. Los 88,4 mm aportados por el suelo resultaron significativos, dado que representan el 33,7% del UC, mientras que el 66,3% del mismo se debió a las precipitaciones ocurridas en el ciclo de producción evaluado. En base

a lo expuesto se podría afirmar que una parte importante de la biomasa producida resulta dependiente del manejo previo a la siembra, el cual va a incidir sobre el contenido inicial de agua en el perfil.

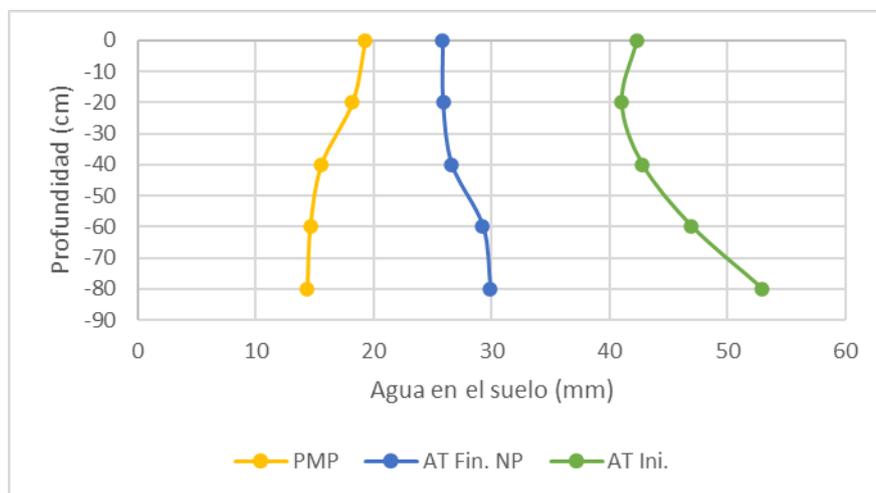


Figura 3: perfil hídrico en el que se muestra el agua total del perfil al inicio (AT Ini.), a los 126 días sobre el tratamiento NP (AT Fin. NP) y se indica también el agua a punto de marchitez permanente (PMP).

Uso consuntivo: en la Figura 4 A, B, C y D se muestran los perfiles hídricos inicial y de cada uno de los cortes para los tratamientos T y NP. En los mismos se ha representado los contenidos totales de agua en el perfil (AT inicial, final y PMP) con el fin de visualizar el agua útil en distintos momentos. Considerando que las precipitaciones desde el inicio hasta el momento del último corte totalizaron 238,3 mm. Las mismas contribuyeron al UC total en 250,1 mm para el tratamiento T y 262,5 mm para NP. Diferencias que resultaron no significativas ($p < 0,05$).

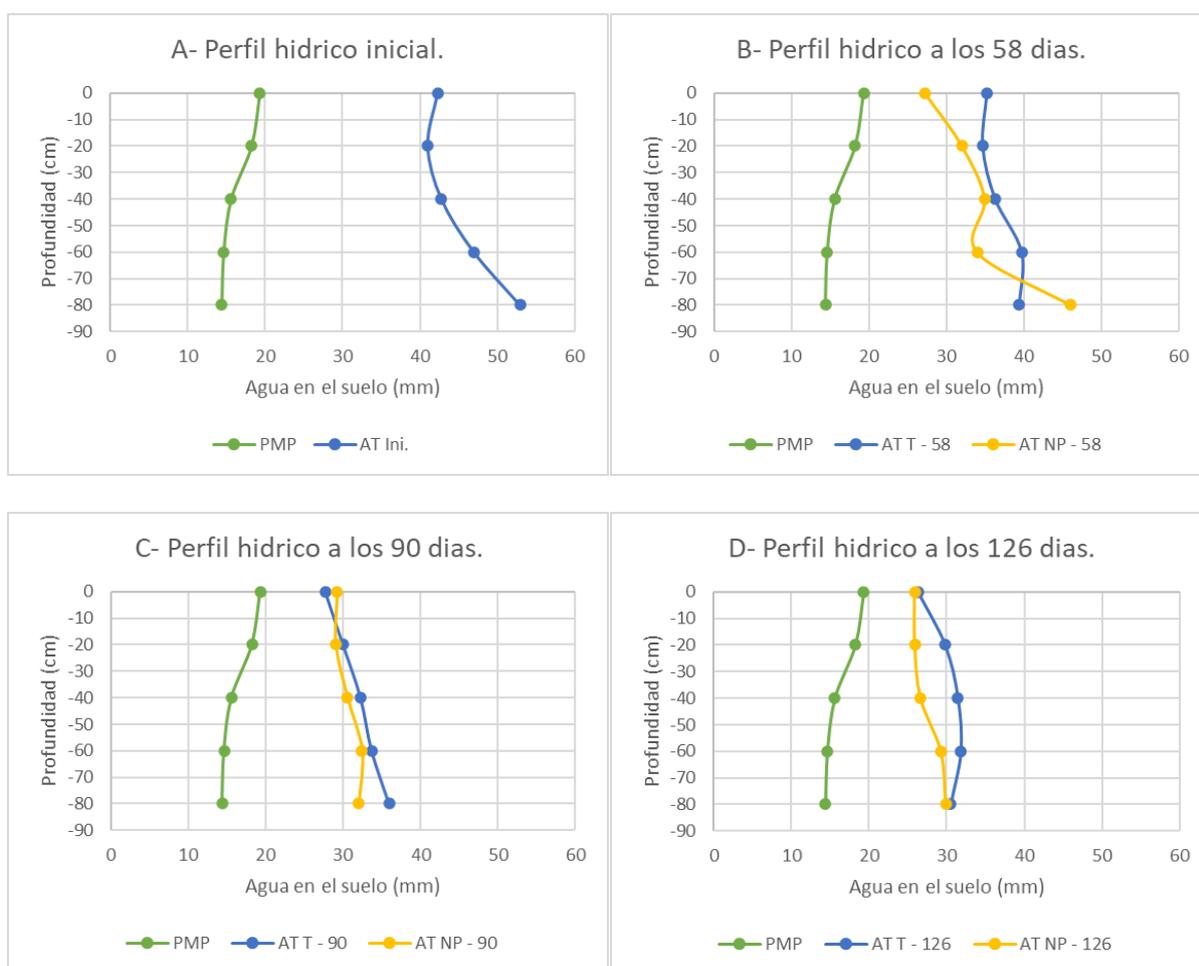


Figura 4: perfiles hídricos al inicio (A), a los 58 días (B), a los 90 días (C) y final a los 126 días (D), donde se denota el punto de marchitez permanente (PMP), el agua total al inicio (AT Ini.), el agua total del tratamiento T a los "n" días (AT T - "n") y el agua total del tratamiento NP a los "n" días (AT NP - "n")

Eficiencia en el uso del agua: la eficiencia en el uso del agua para la producción de biomasa aérea fue influenciada significativamente por el aporte de nutrientes, sin registrarse diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los distintos tratamientos de fertilización, tal como se muestra en la Figura 5.

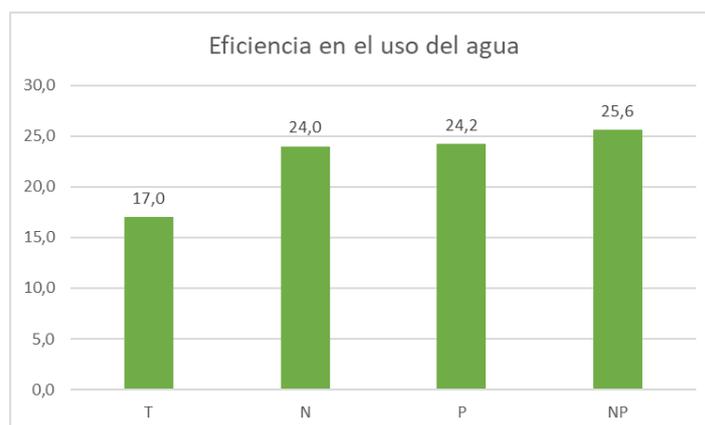


Figura 5: EUA en kg. ha⁻¹. mm⁻¹ para los distintos tratamientos.

Resultados similares han sido observados en experiencias realizadas en distintos suelos de la región semiárida y subhúmeda pampeana y sobre distintos cereales y leguminosas anuales utilizados como cultivos de cobertura (Álvarez et al., 2013; Bertolla et al., 2012 y Fernández et al., 2012). Otros autores como Pereyro (2020) en una red de ensayos localizados en el este de la provincia de La Pampa y oeste de la de Buenos Aires registró respuestas significativas en la producción de biomasa de centeno con fertilización nitrogenada con importantes incrementos en la EUA. Sa Pereyra et al. (2013) en experimentos realizados en el suroeste de la provincia de Buenos Aires sobre Argiudoles típicos también comprobó aumentos significativos en la EUA al fertilizar cereales de invierno con nitrógeno. En la Tabla 6 se consignan distintos experimentos en los cuales se ha evaluado la respuesta de CC al aporte de nutrientes.

Tabla 6: Producción de biomasa aérea total en kg. ha⁻¹ y EUA en kg. ha⁻¹. mm⁻¹ para los distintos cultivos y tratamientos de fertilización realizados por varios autores citados en diversas localidades de la República Argentina y en distintos tipos de suelos.

Autor	Localidad	Suelo	Especie	Nutriente	Biomasa	EUA
<i>Bertolla et al. (2013)</i>	Marcos Juarez (Cba.)	<i>Argiudol tipico</i>	Triticale	N + P	20015	81,5
			Triticale	Testigo	11867	66,4
			Centeno	N + P	11334	50,5
			Centeno	Testigo	5655	30,9
			Vicia villosa	Fosforo	7694	41,5
			Vicia villosa	Testigo	7307	43,2
			Vicia sativa	Fosforo	5306	18,1
			Vicia sativa	Testigo	4673	25,9
<i>Carfagno et al. (2013)</i>	30 de Agosto (Bs. As.) y Dorila (LP)	<i>Hapludoles y Haplustoles</i>	Raigrás	Nitrogeno	n/d	10,0
			Raigrás	Testigo	n/d	10,9
			Avena	Nitrogeno	n/d	22,3
			Avena	Testigo	n/d	22,3
			Centeno	Nitrogeno	n/d	31,1
			Centeno	Testigo	n/d	34,5
<i>Sa Pereyra et al. (2013)</i>	SO de Bs. As.	<i>Argiudol tipico</i>	Avena	Nitrogeno	3027	4,8
			Avena	Testigo	3074	8,0
			Vicia	Testigo	2458	5,2
			Avena + Vicia	Testigo	3710	8,8
<i>Oliveri & Winchel Peano (2016)</i>	Santa Rosa (LP)	<i>Paleustol petrocalcico</i>	Centeno	Nitrogeno	2390	13,6
			Centeno	Testigo	1599	9,5
<i>Fernandez et al. (2020)</i>	Anguil (LP)	<i>Paleustol petrocalcico</i>	Centeno	N 120	5585	25,2
			Centeno	N 60	4640	22,0
			Centeno	Testigo	4030	19,5
<i>Pereyro (2020)</i>	Lincoln (Bs. As.)	<i>Hapludol tipico</i>	Centeno	N 120	9867	47,0
			Centeno	N 80	9107	43,0
			Centeno	N 40	8600	42,0
			Centeno	Testigo	6653	36,0
	Trenque Lauquen (Bs. As.)	<i>Udipsamment thapto molico</i>	Centeno	N 120	5206	29,0
			Centeno	N 80	3968	24,0
			Centeno	N 40	3568	23,0
			Centeno	Testigo	3164	22,0
	Pehuajo (Bs. As.)	<i>Hapludol tipico</i>	Centeno	N 120	8065	34,0
			Centeno	N 80	6641	32,0
			Centeno	N 40	5850	30,0
			Centeno	Testigo	4752	24,0
	General Villegas (Bs. As.)	<i>Hapludol tipico</i>	Centeno	N 120	6324	24,0
			Centeno	N 80	5898	24,0
			Centeno	N 40	5556	23,0
			Centeno	Testigo	3862	18,0
	Intendente Alvear (LP)	<i>Hapludol entico</i>	Centeno	N 120	3819	24,0
			Centeno	N 80	3540	23,0
			Centeno	N 40	3209	19,0
			Centeno	Testigo	2864	17,0
<u>Resumen de todos los sitios</u>			Centeno	N 120	6656	31,0
			Centeno	N 80	5831	29,0
			Centeno	N 40	5357	27,0
			Centeno	Testigo	4259	24,0

Conclusiones:

En base a los resultados obtenidos se aceptó la hipótesis, dado que, el UC incrementó a medida que se retrasaba la fecha de secado. La biomasa aérea aumentó en función del retraso de la fecha de secado, generando como resultado una mayor EUA.

Incrementos en la oferta de nutrientes, generaron aumentos significativos sobre la EUA, dado por los aumentos de biomasa sin modificar el UC del testigo respecto a los fertilizados. En tanto que, las medias en EUA obtenida, no permitieron registrar diferencias significativas ($p < 0,05$) entre cada uno de los distintos tratamientos de fertilización.

Bibliografía:

- Álvarez, C., Bagnato, R., Lienhard, C. P., & Quiroga, A. (2013). Cultivos de cobertura: manejo y efectos sobre la nutrición de suelos y cultivos. Simposio Fertilidad 2013. Nutrición de cultivos para la intensificación productiva sustentable. Rosario, 2013.
- Álvarez, C., Scianca, C., Barraco, M., & Díaz-Zorita, M. (2006). Impacto de cereales de cobertura sobre propiedades edáficas y producción de soja. In XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. I Reunión de suelos de la región Andina. Salta-Jujuy. Pág (Vol. 424).
- Bertolla, A., Baigorria, T., Gómez, D., Cazorla, C., Cagliero, M., Lardone, A., ... & Aimetta, B. (2013). Efecto de la fertilización sobre la eficiencia del uso del agua de especies invernales utilizadas como cultivos de cobertura. cultivos de cobertura, 138.
- Carfagno, P., Eiza, M., Babinec, F., & Quiroga, A. (2013). Inclusión de cultivos de cobertura en la dinámica hídrica de hapludoles y haplustoles del oeste de la provincia de Buenos Aires y noreste de La Pampa. Contribución de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción (Eds. Álvarez C, A. Quiroga, D. Santos & M. Bodrero), 36-49.
- De Sá Pereira, E., Galantini, J. A., Quiroga, A. R., & Landriscini, M. R. (2014). Efecto de los cultivos de cobertura otoño invernales, sobre el rendimiento y acumulación de N en maíz en el sudoeste bonaerense. Ciencia del suelo, 32(2), 219-231.
- Duarte, G. (2002). Sistemas de Producción de girasol en la región húmeda argentina. En Díaz-Zorita, M. y Duarte, G. (Eds.). Manual práctico para el cultivo de girasol. Hemisferio sur. Buenos Aires. Pag. 313
- Ernst, O. (2004). Efecto de la incorporación de una leguminosa invernale como cultivo de cobertura sobre Las necesidades de nitrógeno de maíz sembrado sin laboreo

(Doctoral dissertation, Tesis, Especialización en siembra directa. UBA. Buenos Aires, Argentina).

- Fernández, R., Álvarez, C. O., Owen, E., Reinaldo, E., & Quiroga, A. R. (2020). Efecto del uso de cultivo de cobertura en una secuencia de soja continua en la región semiárida pampeana. SEMIÁRIDA 30:37-49. DOI: [http://dx.doi.org/10.19137/semiarida.2020\(02\).3749](http://dx.doi.org/10.19137/semiarida.2020(02).3749).
- Fernández, R., Quiroga, A., Noellemeyer, E., Saks, M., Arenas, F., & Antonini, C. (2012). Inclusión de cultivos de cobertura en sistemas de producción de la Región Semiárida Pampeana. Manual de fertilidad y evaluación de suelos, EEA INTA ANGUIL, 89, 55-65.
- Frasier, I., Fernández, R., & Quiroga, A. (2009). Valoración de especies invernales como cultivos de cobertura. Sistemas Productivos sustentables, fósforo, nitrógeno y cultivos de cobertura. Bahía Blanca, 10 y 11 de agosto. Actas
- Infostat. (2004). Infostat versión 2004, Grupo Infostat. FCA. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Kette Eberle, L. D., Maceda, N. E., Kloster, N., Pérez, M., Fernández, R., & Quiroga, A. (2022). Efecto de los cultivos de cobertura en tres momentos de secado sobre uso consuntivo del agua, dinámica de nitrógeno y el rendimiento del cultivo de maíz tardío. Semiárida, 32 (1): 41-52. [https://doi.org/10.19137/semiarida.2022\(01\).41-52](https://doi.org/10.19137/semiarida.2022(01).41-52)
- Kuo, S., & Jellum, E. J. (2002). Influence of winter cover crop and residue management on soil nitrogen availability and corn. Agronomy Journal, 94(3), 501-508.
- Oliveri, F. D., & Winchel Peano, P. (2016). Cultivo de cobertura de centeno: efecto del momento de secado y fertilización nitrogenada sobre agua útil, evolución de biomasa

aérea y control de malezas para siembras tempranas y tardías de maíz. *Semiárida*, 29 (2): 79-83.

- Pereyro, A. (2020). Impacto de los cultivos de cobertura sobre la dinámica del agua y nitrógeno en la región subhúmeda pampeana. Tesis Final para optar a Magíster Producción Agropecuaria en Regiones Semiáridas. UNLPam.
- Quiroga, A., Carfagno, P., Eiza, M. J., & Michelena, R. (2007). Inclusión de cultivos de cobertura bajo agricultura de secano en la Región Semiárida Pampeana. EEA INTA General Villegas. Jornada de Cultivos de Cobertura. 28 y 29 de Septiembre de 2007.
- Reeves, D. W., & Touchton, J. T. (1991). Deep tillage ahead of cover crop planting reduces soil compaction for following crop. *Highlights of Agricultural Res.* 38: 4. Alabama Agric. Exper. Stn., Auburn University, AL.
- Rillo, S. N. (2022). Impacto de los cultivos de cobertura sobre propiedades edáficas en secuencias soja-soja en hapludoles del oeste de la región pampeana. Tesis Final para optar a Magíster Producción Agropecuaria en Regiones Semiáridas. UNLPam. 85 pág.
- Sá Pereira, E. D. (2013). Los cultivos de cobertura y la productividad del maíz en siembra directa: dinámica del nitrógeno, agua y fracciones orgánicas del suelo. Tesis Final para optar el grado de Doctor en Agronomía. UNSur. 166 pág.
- Scianca, C. M. (2010). Cultivos de cobertura en molisoles de la Región Pampeana: producción de materia seca, eficiencia en el suelo del agua y del nitrógeno e incidencia sobre el cultivo de soja.
- Servera, M., & Zamora, C. D. (2016). Efecto de los cultivos de cobertura en tres momentos de secado sobre propiedades físicas y químicas del suelo, sobre las malezas y el rendimiento del cultivo de maíz. *Semiárida*, 26(2).

- Silva, P. R. F. D., Argenta, G., Sangoi, L., Strieder, M. L., & Silva, A. A. D. (2006). Estratégias de manejo de coberturas de solo no inverno para cultivo do milho em sucessão no sistema semeadura direta. *Ciência Rural*, 36, 1011-1020.
- Tonitto, C., David, M. B., & Drinkwater, L. E. (2006). Replacing bare fallows with cover crops in fertilizer-intensive cropping systems: A meta-analysis of crop yield and N dynamics. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 112(1), 58-72.
- Uhaldegaray, M. G., Oderiz, J. A., Frasier, I., Kloster, N. S., Fernández, R., Pérez, M. M., & Quiroga, A. R. (2021). Efectos acumulados de la inclusión de cultivos de cobertura en planteos con alta frecuencia de silo. En: *Ensayos de larga duración. Relación estratégica INTA-CREA, hacia una producción sostenible*. Editores: Quiroga A, Fernández R, Álvarez C. 2021. PT N° 114. Capítulo 11. ISSN 0325-2132
- Zhu, J. C., Gantzer, C. J., Anderson, S. H., Beuselinck, P. R., & Alberts, E. E. (1991). Water use evaluation of winter cover crops for no-till soybeans. *Journal of soil and water conservation*, 46(6), 446-449.