



*Universidad Nacional de Córdoba*  
*Facultad de Ciencias Agrarias*  
*Escuela para graduados*

---



**EFFECTO DE LA UTILIZACIÓN DE  
LEGUMINOSAS ANUALES COMO ABONO  
VERDE SOBRE LAS CONDICIONES DEL SUELO  
Y LA PRODUCTIVIDAD DE CULTIVOS  
SUBSIGUIENTES**

**Fontana, Laura María Celia**

Tesis

Para optar al Grado Académico de  
Magister en Ciencias Agropecuarias

*Córdoba, Noviembre de 2014*

# **EFFECTO DE LA UTILIZACIÓN DE LEGUMINOSAS ANUALES COMO ABONO VERDE SOBRE LAS CONDICIONES DEL SUELO Y LA PRODUCTIVIDAD DE CULTIVOS SUBSIGUIENTES**

**Fontana, Laura María Celia**

## **Comisión Asesora de Tesis**

**Director:** Ing. Agr. M. Sc. Néstor Romero

**Asesores:** Ing. Agr. M. Sc. Marcelo de León

Ing. Agr. Ph.D. Néstor Juan

## **Tribunal Examinador de Tesis**

Ing. Agr. Ph.D. Néstor Juan .....

Ing. Agr. M. Sc. Alicia Sáenz .....

Ing. Agr. M. Sc. Rita Julia Lovey .....

## **Presentación formal académica**

Escuela para Graduados  
Facultad de Ciencias Agropecuarias  
Universidad Nacional de Córdoba

## **Agradecimientos**

A INTA, por la beca, financiación y posibilidad de formación.

Al Comisión Asesora de Tesis Ing. Agr. M. Sc. Néstor Romero, Ing. Agr. M. Sc. Marcelo de León e Ing. Agr. Ph.D. Néstor Juan.

A todos los colegas que contribuyeron desinteresadamente en la realización de este trabajo: Dra. María de los Ángeles Ruíz, Ing. Agr. Mg. Sc. Julio César Fernández, Ing. Zoot. Mg. Sc. Gabriela Volpi Lagreca, Ing. Agr. Francisco Babinec.

A quienes me acompañaron y colaboraron en las tareas de campo: Jorge Moreno, Mariano Ibarra y Carlos Sánchez.

A quienes me acompañaron en el comienzo del ensayo: Elio Rosales, José Berhau y Luis Urquiza.

A quienes me acompañaron y colaboraron en las tareas de laboratorio: Personal del laboratorio de Suelos y Forraje.

A todos los que tuvieron algo que ver con esta etapa tan enriquecedora,

Muchas Gracias.

A mi familia y seres queridos

## RESUMEN

El potencial productivo de muchos suelos de regiones semiáridas ha experimentado una significativa disminución debido a una creciente agriculturización, que implica ausencia de rotaciones de cultivos, insuficiente reposición de nutrientes y caída de la materia orgánica (MO). La incorporación al suelo de cultivos como abono verde puede ser una herramienta para atenuar estos procesos. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la utilización de leguminosas anuales (*Melilotus albus* Desr. y *Vicia villosa* Roth) como abono verde sobre las condiciones de fertilidad del suelo y la producción de materia seca (MS) y proteína bruta (PB) de los cultivos subsiguientes en suelos franco arenosos de fertilidad media (2,4 % MO) típicos de la Región Semiárida Pampeana. Se realizaron 3 ensayos: 1) Efecto de manejos alternativos de un cultivo de *Melilotus albus* utilizado como abono verde; 2) igual que Ensayo 1, utilizando *Vicia villosa*, y 3) Efecto de la incorporación al suelo como abono verde de diferentes cantidades de biomasa aérea de dos leguminosas anuales (*Melilotus albus* y *Vicia villosa*). En los ensayos 1 y 2 hubo un efecto positivo del abono verde sobre la producción de MS y PB de cultivos de centeno subsiguientes. Además, el nivel residual de nitratos en el suelo fue mayor en los tratamientos con abono verde que en el testigo. Estos nutrientes posiblemente sólo pudieron ser aprovechados parcialmente por el centeno debido a limitaciones hídricas durante el ciclo de este cultivo. En cuanto al contenido de MO, no hubo diferencias entre tratamientos. Por otro lado, en el Ensayo 3 no se encontraron diferencias entre tratamientos en producción de MS ni PB del cultivo subsiguiente de centeno. Tampoco se detectaron diferencias en el contenido residual de nitratos, ni de MO en el suelo. Esta falta de respuesta podría deberse a una baja tasa de descomposición del abono verde, o a que los nitratos liberados fueron lixiviados por las abundantes lluvias ocurridas en los meses de febrero y marzo. Estas inconsistencias en los resultados obtenidos sugerirían la necesidad de profundizar esta investigación, evaluando la tasa de descomposición del material incorporado, y llevando a cabo este tipo de ensayos en suelos de fertilidad baja, también muy comunes en la región.

**Palabras claves:** abono verde, *Melilotus albus*, *Vicia villosa*, materia orgánica.

## ABSTRACT

The production potential of many soils of semiarid regions has been significantly reduced due agriculturalization increasing, which implies the absence of crop rotation, inadequate nutrient replenishment and decrease of organic matter (OM) content. Incorporation of green manure crops to the soil can be a tool to mitigate these processes. The aim of this study was to evaluate the effect of using annual legumes (*Melilotus albus* Desr. and *Vicia villosa* Roth) as green manure on soil fertility conditions and yield of dry matter (DM) and crude protein (CP) of subsequent crops in sandy loam soils of moderate fertility (2.4% OM), typical of the Semiarid Pampean Regions of Argentina. Three studies were conducted: 1) Effect of alternative handling of *Melilotus albus* crops used as green manure; 2) Idem study Test 1, using *Vicia villosa*, and 3) Effect of soil incorporation as green manure of different quantities of aboveground biomass of two annual legumes (*Melilotus albus* and *Vicia villosa*). In studies 1 and 2 there was a positive effect of green manure on the MS and PB yield of subsequent rye crop. In addition, residual level of soil nitrates was higher in green manure treatments than in the control. Rye crop probably were able to use only partially these nutrients due to water deficit during the growing season. Regarding the soil MO content there were no differences among treatments. In study 3, no differences among treatments were found in MS and PB yield of subsequent rye crops, or in residual nitrate or OM content. This lack of response might have been due to a low rate of decomposition of green manure, or because released nitrates were leached by heavy rains that occurred in February and March. These inconsistencies in the results suggest the need to extend this research by assessing the rate of decomposition of the biomass incorporated as green manure and by replicating such studies on low fertility soils, also common in our semiarid region.

**Keywords:** green manure, *Melilotus albus*, *Vicia villosa*, organic matter

## Tabla de Contenidos

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN.....	16
Antecedentes generales .....	16
Textura y Materia Orgánica .....	17
Abono verde y N del suelo.....	20
Abono verde y Materia Orgánica.....	23
Hipótesis.....	24
Hipótesis específicas .....	24
Objetivo General .....	24
Objetivos específicos .....	24
CAPÍTULO 2 MATERIALES Y MÉTODOS .....	26
2.1 Características ambientales .....	26
2.1.1 Clima del territorio argentino.....	26
2.1.2 Clima de la provincia de La Pampa .....	26
2.1.2.1 Precipitaciones .....	27
2.1.2.2 Vientos .....	28
2.1.2.4 Temperatura .....	28
2.1.2.5 Regiones agro-ecológicas de La Pampa.....	29
2.1.2.6 Características del sitio experimental.....	30
2.2 Características de las especies utilizadas en los ensayos .....	30
2.2.1 <i>Melilotus albus</i> Desr. ....	30
2.2.2 <i>Vicia villosa</i> Roth.....	30
2.2.3 <i>Secale cereale</i> L. ....	30
2.3 Ensayos.....	31
2.3.1 Ensayo 1. Efecto del manejo alternativo de un cultivo de <i>Melilotus albus</i> Desr. utilizado como abono verde sobre las propiedades del suelo y la producción y proteína de los cultivos subsiguientes.....	31
2.3.1.1 Variables medidas en el suelo .....	34
2.3.1.2 Variables medidas en la planta.....	35
2.3.2 Ensayo 2. Efecto del cultivo de <i>Vicia villosa</i> Roth utilizada como abono verde sobre propiedades del suelo y la producción y la proteína de los cultivos subsiguientes.....	35

2.3.2.1 Variables medidas en el suelo .....	38
2.3.2.2 Variables medidas en la planta.....	38
2.3.3 Ensayo 3. Efecto de la incorporación al suelo como abono verde de diferentes cantidades de biomasa aérea de dos leguminosas anuales sobre la producción y proteína del cultivo subsiguiente.....	38
2.3.3.1 Variables medidas en el suelo .....	41
2.3.3.2 Variables medidas en la planta.....	41
2.3.3.3 Estimación de Equivalente Nitrógeno.....	42
2.3.3.3.1 Variables medidas en la planta.....	42
CAPÍTULO 3 RESULTADOS .....	43
3.1 Ensayo 1 .....	43
3.1.1 Determinaciones en suelo.....	43
3.1.1.1 Contenido de nitratos .....	43
3.1.1.2 Contenido de Materia Orgánica .....	43
3.1.2 Determinaciones en planta .....	44
3.1.2.1 Producción de forraje de centeno en el primer año.....	44
3.1.2.2 Producción de forraje de centeno en el segundo año .....	46
3.2 Ensayo 2 .....	47
3.2.1 Determinaciones en suelo.....	47
3.2.1.1 Contenido de nitratos .....	47
3.2.1.2 Contenido de Materia Orgánica .....	48
3.2.2 Determinaciones en planta .....	48
3.2.2.1 Producción de forraje de centeno .....	48
3.2.2.2 Contenido de proteína en centeno .....	49
3.3 Ensayo 3 .....	50
3.3.1 Determinaciones en suelo.....	50
3.3.1.1 Contenido de nitratos .....	50
3.3.1.2 Contenido de Materia Orgánica .....	51
3.3.2 Determinaciones en planta .....	51
3.3.2.1 Producción de forraje de centeno en el primer año.....	51
3.3.2.2 Producción de forraje de centeno en el segundo año .....	55

CAPÍTULO 4 DISCUSIÓN.....	58
4.1 Efectos del abono verde sobre el contenido de nitratos y MO del suelo .....	58
4.2 Efecto de la incorporación de leguminosas anuales como abono verde sobre la producción de MS y el contenido de proteína de cultivos subsiguientes.....	61
CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES.....	64
Bibliografía .....	65

## **Lista de Figuras**

Figura 1.1 Contenidos de limo + arcilla en suelo de La Pampa.....	17
Figura 1.2 Contenidos de MO en suelo de La Pampa.....	18
Figura 2.1 Precipitaciones medias anuales en la provincia de La Pampa para el período 1961-2000 .....	27
Figura 2.2. Fechas promedio de probabilidad de la primera y última helada promedio del período 1961-2000 .....	28

## Lista de tablas

Tabla 2.1. Precipitaciones promedio histórica y anual en Anguil, La Pampa. Ensayo 1.....	32
Tabla 2.2. Diferencia entre la media histórica y la precipitación mensual de los años de ensayo 1 .....	32
Tabla 2.3. Temperatura media promedio histórico y anual. (2010, 2011 y 2012) Ensayo 1 .....	32
Tabla 2.4. Precipitaciones promedio histórica y anual en Anguil, La Pampa. Ensayo 2.....	35
Tabla 2.5. Diferencia entre la media histórica y la precipitación mensual de los años de ensayo 2 .....	36
Tabla 2.6. Temperatura media promedio histórico y anual (2011 y 2012). Ensayo 2 .....	36
Tabla 2.7. Precipitaciones promedio histórica y anua en Anguil, La Pampa. Ensayo 3 .....	39
Tabla 2.8. Diferencia entre la media histórica y la precipitación mensual de los años de ensayo 3 .....	39
Tabla 2.9. Temperatura media promedio histórico y anual. (2010 y 2011). Ensayo 3 .....	39
Tabla 3.1. Contenido de nitratos en suelo del ensayo con manejos alternativos de trébol de olor blanco incorporado como abono verde en diciembre año 0 (2010) .....	43
Tabla 3.2. Contenido de materia orgánica y sus fracciones en suelo, en noviembre del año 1, del ensayo con manejos alternativos de trébol de olor blanco incorporado como abono verde en diciembre año 0 (2010) .....	44
Tabla 3.3. Contenido de materia orgánica y sus fracciones en suelo, en noviembre del año 2, del ensayo con manejos alternativos de trébol de olor blanco incorporado como abono verde en diciembre año 0 (2010).....	44
Tabla 3.4. Producción de forraje de centeno en año 1 (2011) luego de la aplicación de manejos alternativos de trébol de olor blanco como abono verde incorporado en diciembre del 2010 .....	45
Tabla 3.5. Contenido de proteína de centeno en año 1 (2011) luego de la aplicación de manejos alternativos de trébol de olor blanco como abono verde incorporado en diciembre del 2010 .....	45

Tabla 3.6. Producción de proteína de centeno en año 1 (2011) luego de la aplicación de manejos alternativos de trébol de olor blanco como abono verde incorporado en diciembre del 2010 .....	46
Tabla 3.7. Producción de forraje de centeno en año 2 (2012) luego de la aplicación de manejos alternativos de trébol de olor blanco como abono verde incorporado en diciembre del 2010 .....	46
Tabla 3.8. Contenido de proteína de centeno en año 2 (2012) luego de la aplicación de manejos alternativos de trébol de olor blanco como abono verde incorporado en diciembre del 2010 .....	47
Tabla 3.9. Producción de proteína bruta de centeno en año 2 (2012) luego de la aplicación de manejos alternativos de trébol de olor blanco como abono verde incorporado en diciembre del 2010 .....	47
Tabla 3.10. Contenido de nitratos en suelo bajo diferentes modalidades de incorporación de vicia como abono verde.....	48
Tabla 3.11. Contenido de materia orgánica y sus fracciones en suelo, en noviembre del año 1, del ensayo con manejos alternativos de vicia incorporada como abono verde en diciembre año 0 (2011) .....	48
Tabla 3.12. Producción de forraje de centeno en año 1 (2012) luego de la aplicación de manejos alternativos de vicia como abono verde incorporado en diciembre del 2011 ...	49
Tabla 3.13. Contenido de proteína de centeno en año 1 (2012) luego de la aplicación de manejos alternativos de vicia como abono verde incorporado en diciembre del 2011 ...	49
Tabla 3.14. Producción de proteína bruta de centeno en año 1 (2012) luego de la aplicación de manejos alternativos de vicia como abono verde incorporado en diciembre del 2011 .....	50
Tabla 3.15. Contenido residual de nitratos en suelo luego de 2 ciclos de centeno después de haber incorporado diferentes cantidades de fitomasa aérea de dos especies de leguminosas como abono verde .....	50
Tabla 3.16. Contenido residual de materia orgánica y sus fracciones en suelo luego de 2 ciclos de centeno donde se realizó la incorporación de diferentes cantidades de fitomasa aérea de dos especies de leguminosas como abono verde en noviembre 2011 .....	51
Tabla 3.17. Producción de forraje de centeno en año 1 (2010) luego de incorporar como abono verde en el año 0 (diciembre 2009) diferentes cantidades de dos leguminosas .....	52

Tabla 3.18. Producción de forraje en 2010 de centeno fertilizado con diferentes dosis de N.....	52
Tabla 3.19. Contenido de proteína de centeno en año 1 (2010) luego de incorporar como abono verde en el año 0 (diciembre 2009) diferentes cantidades de dos leguminosas .....	53
Tabla 3.20. Contenido de proteína en centeno en 2010 fertilizado con diferentes dosis de nitrógeno .....	53
Tabla 3.21. Producción de proteína bruta de centeno en año 1 (2010)luego de incorporar como abono verde en el año 0 (diciembre 2009) diferentes cantidades de dos leguminosas .....	54
Tabla 3.22. Producción de proteína bruta en 2010 de centeno fertilizado con diferentes dosis de nitrógeno.....	54
Tabla 3.23. Producción de forraje de centeno en año 2 (2011) luego de incorporar como abono verde en el año 0 (diciembre 2009) diferentes cantidades de dos leguminosas.....	55
Tabla 3.24. Producción de forraje de centeno en 2011 fertilizado con diferentes dosis de nitrógeno .....	55
Tabla 3.25. Contenido de proteína de centeno en año 2 (2011) luego de incorporar como abono verde en el año 0 (diciembre 2009) diferentes cantidades de dos leguminosas .....	56
Tabla 3.26. Contenido de proteína en centeno en 2011 fertilizado con diferentes dosis de nitrógeno .....	56
Tabla 3.27. Producción de proteína bruta de centeno en año 2 (2011) luego de incorporar como abono verde en el año 0 (diciembre 2009) diferentes cantidades de dos leguminosas .....	57
Tabla 3.28. Producción de proteína bruta de centeno en 2011 fertilizado con diferentes dosis de nitrógeno.....	57

## Lista de abreviaturas y/o símbolos

**A** arcilla

**cm** centímetros

**ha** hectárea

**kg** kilogramos

**L** limo

**mm** milímetros

**MO** materia orgánica

**MOj** materia orgánica joven

**MOt** materia orgánica total

**MOv** materia orgánica vieja

**MS** materia seca

**N** nitrógeno

**NE** noreste

**NW** noroeste

**PB** proteína bruta

**SW** suroeste

**t** tonelada

**Test** tratamiento testigo. Corte y remoción del centeno. Enterrado del remanente de centeno

**Tre-baja** se incorporó el equivalente a 800 kg MS de trébol de olor blanco por hectárea

**Tre-media** se incorporó el equivalente a 2400 kg MS de trébol de olor blanco por hectárea

**Tre-alta** se incorporó el equivalente a 4000 kg MS de trébol de olor blanco por hectárea

**TreRem** trébol de olor blanco y centeno. Corte y remoción del forraje de centeno y trébol de olor blanco. Enterrado del remanente de 10 cm de altura de ambas especies

**TrePIEnt** trébol de olor blanco y centeno. Enterrado del total de fitomasa aérea de la leguminosa acumulada desde septiembre hasta diciembre y el remanente de centeno

**ViRem** vicia y centeno. Corte y remoción del forraje de centeno y vicia. Enterrado del remanente de 10 cm de altura de ambas especies

**Vi-baja** se incorporó el equivalente a 800 kg MS de vicia por hectárea

**ViPIEnt** vicia y centeno. Enterrado del total de fitomasa aérea de la leguminosa acumulada desde septiembre hasta diciembre y el remanente de centeno

**Vi-media** se incorporó el equivalente a 2150 kg MS de vicia por hectárea

**Vi-alta** se incorporó el equivalente a 3500 kg MS de vicia por hectárea

## INTRODUCCIÓN

### **Antecedentes generales**

El principal cambio experimentado por el sector agropecuario argentino en las dos últimas décadas es sin duda la expansión de la agricultura, principalmente de la mano del crecimiento del cultivo de la soja (Aizen *et al.*, 2009). El gran aumento de la superficie sembrada con este cultivo provocó paralelamente una reducción importante de la superficie ganadera, teniendo que ceder la ganadería más de 13 millones de hectáreas a los cultivos de cereales y oleaginosas. El avance de la agricultura sobre el área ganadera no sólo hizo que disminuyese el stock, principalmente bovino, sino además provocó un reordenamiento territorial del mismo. En los últimos 16 años hubo un claro crecimiento ganadero en las regiones extrapampeanas acompañado de una disminución del stock en la Región Pampeana, sin embargo, a pesar de este desplazamiento de la ganadería, la Región Pampeana continúa siendo la principal contenedora de hacienda en nuestro país (Rearte, 2011).

Según Bragachini *et al.* (2011) hay alertas del sistema productivo argentino que delatan el incremento de la agriculturización, entre las que menciona ausencia de rotaciones de cultivos, baja reposición de nutrientes en la producción de granos y la caída de la materia orgánica (MO) del suelo, originada por una baja proporción de cultivos de gramíneas o por una labranza no adecuada en la secuencia de cultivos. Smith y Elliot (1990) afirman que los contenidos de MO en suelos de regiones semiáridas en el mundo han experimentado una significativa disminución debido al uso de prácticas de labranzas intensivas asociadas a la agriculturización. Según estos autores, la pérdida de MO produce una estructura de suelo más pobre, aumenta la resistencia a la penetración, disminuye la cantidad de nutrientes disponibles, disminuye la capacidad de retención de agua, incrementa la formación de costras, reduce la tasa de infiltración y acelera la erosión del suelo por viento y agua. En nuestro país según Viglizzo *et al.* (2002) la disminución de la MO en un suelo agrícola en un período de 20 años podría ser de aproximadamente un 35 % de la MO

original. Quiroga *et al.* (2007) encontraron que la disminución de MO en un suelo Haplustol éntico de la planicie medanosa de la región semiárida pampeana tuvo como consecuencia una menor estabilidad estructural y una disminución de la cantidad de agregados de 4 mm, un aumento de la densidad aparente máxima y una mayor susceptibilidad a la compactación. En la región semiárida pampeana, el uso de prácticas intensivas que estimulan la descomposición microbiana, provocando la disminución del contenido de MO, se traduce en menor estabilidad estructural y riesgos de compactación y erosión (Quiroga *et al.*, 2007). Zanotti y Buschiazzo (1997) estimaron para la provincia de La Pampa que el consumo de nitrógeno (N) atribuible a los cultivos representa sólo el 35 % de las pérdidas totales, correspondiendo el resto a otros fenómenos, principalmente erosión.

## Textura y Materia Orgánica

En la Región Semiárida Pampeana la textura del suelo, que es determinada por el % relativo de las fracciones de limo, arena y arcilla, tiene una gran influencia sobre la cantidad y el tipo de MO presente. En la región semiárida pampeana el suelo se caracteriza por presentar bajo contenido de arcilla, generando un pobre desarrollo de la estructura, con agregados de media a baja estabilidad (Quiroga y Bono, 2007). Romano *et al.* (2008) estudiaron el suelo del noreste de la provincia de La Pampa analizando la relación entre el contenido de limo y arcilla (L + A) y el contenido de MO, ambos expresados en porcentaje. Del estudio surgen los datos que se encuentran en las Figuras 1.1 y 1.2.

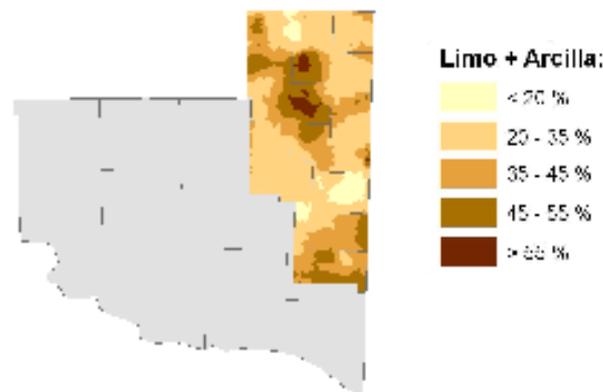


Figura 1.1 Contenidos de limo + arcilla en suelo de La Pampa

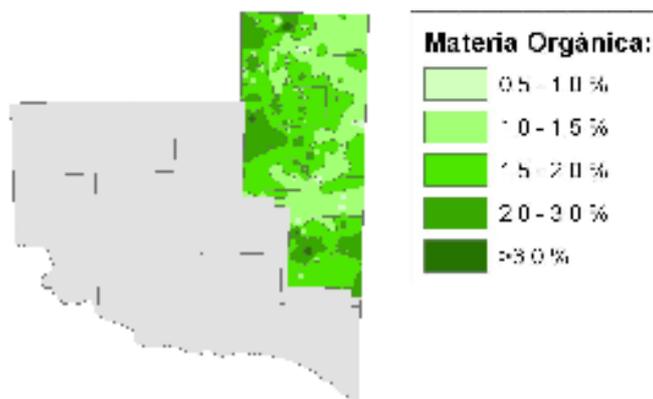


Figura 1.2 Contenidos de MO en suelo de La Pampa

El contenido de L + A en el noreste de La Pampa varía significativamente. En la Figura 1.1 podemos apreciar que esa región tiene una alta proporción de suelos arenosos (contenido de L + A menor a 30 %). Además de la variación que existe dentro y entre Departamentos, también dentro de un mismo lote podemos encontrar diferentes tipos de textura. El contenido de MO en el noreste de La Pampa también varía significativamente. En la Figura 1.2 se muestra que el noreste pampeano casi la totalidad de los suelos presentan un contenido de MO menores al 3 %. También existen variaciones de contenido de MO entre Departamentos y, aún dentro de cada lote. Dadas las grandes variaciones regionales en la composición textural de los suelos, para cada situación se espera que se utilicen manejos agronómicos diferenciales. En el presente trabajo se analizará una situación determinada y el posible tipo de manejo a utilizar. Un incremento en la proporción de fracciones finas L + A incrementan la capacidad de almacenaje de agua del suelo, la actividad biológica y por lo tanto las tasas de deposición de residuos al suelo, lo que se traduce en mayores contenidos de MO (Buschiazzo *et al.*, 1991). Debido a esta relación, se hace difícil comparar los contenidos de MO de un suelo determinado sin tener en cuenta la clase textural a la cual pertenece. Cualquier nivel de MO puede ser considerado alto, medio o bajo dependiendo de la textura del suelo (Quiroga *et al.*, 2007). Al momento de realizar un diagnóstico de fertilidad para un lote determinado el indicador de MO/(L + A) se presenta como una herramienta complementaria que nos permite una mejor interpretación de los resultados de la Región Semiárida Pampeana.

Buschiazzo *et al.* (2006) realizan una clasificación del suelo de la Región Semiárida Pampeana y de acuerdo a ella hacen una recomendación de tipo de labranza. La clasificación se realizó según las proporciones de L + A y porcentaje de MO. Cuando el contenido de L + A es menor que 30 %, siempre hablando en términos relativos, se lo clasifica como un suelo arenoso tipo “C”, que difícilmente contenga cantidades de MO mayores al 3 %, para este tipo de suelo la siembra directa es una práctica recomendable. Los suelos tipo “A” contienen una fracción de L + A mayor al 30%, y además un alto contenido de MO, mayor al 3 %, para este tipo de suelo puede utilizarse siembra directa o convencional. Finalmente, los suelos tipo “B”, con un contenido de L + A mayor al 30 % y con menos de 3 % MO son aquellos en los que se recomienda la práctica de siembra convencional combinada con labranza profunda, porque tienden a compactarse en profundidad. Teniendo en cuenta que la textura del suelo no es un aspecto modificable, el aspecto a mejorar para no tener restricciones físicas para los cultivos sería el incremento en la MO. El presente trabajo tiene como finalidad generar información permita un mayor aporte de MO a los suelos tipo “B” de la región, específicamente a través de manejos alternativos de abonos verdes.

En la MO del suelo se distingue una fracción lábil, disponible como fuente de nutrientes, que mantiene las características químicas de su material de origen (hidratos de carbono, ligninas, proteínas, taninos, ácidos grasos), y una fracción húmica, más estable, constituida por ácidos fúlvicos, ácidos húmicos y huminas (Galantini, 2002). La fracción húmica es conocida como MO vieja (MOv), que es estable en el tiempo, y la fracción lábil es conocida como MO joven (MOj), y es la que es aprovechada con mayor facilidad por el cultivo a corto plazo, por lo tanto, esta fracción es más relevante desde el punto de vista agronómico. La separación de las fracciones de la MO por métodos físicos, químicos y bioquímicos puede mejorar la comprensión del papel de la misma en el suelo (Galantini y Suñer, 2008). El trabajo de Quiroga *et al.* (1999) fue considerado a los fines del presente estudio, quienes analizaron la evolución de la MO del suelo según el tipo de manejo a través del tiempo. Para un suelo virgen, luego de 70 años se mantiene el valor original de MO en 4,5 %, siendo el 61 % de esta MO joven. Para un suelo en rotación con pasturas, se partió de un porcentaje de MO inicial de 4,5 %, siendo luego de 70 años de 2,3 %, dentro del cual el 32 % corresponde a MO joven. En suelo agrícola, la MO luego de 70 años disminuyó de 4,5 % a 1,5 %, con una proporción de 18% de MO joven. Los autores

comentan que en estos valores finales existiría un aparente equilibrio y se mantendría en el futuro. En el trabajo de Romeno y Ruiz (2001) utilizaron como abono verde melilotus incorporándolo durante 4 años sucesivos, logrando una mejora en las propiedades físicas del suelo, en el tratamiento de trébol enterrado el contenido de MOj aumentó significativamente de 0,32 % a 0,69 %. Esto explicó que la MO total se incrementara de 2,17 a 2,70 %. La MOj es muy importante para la interpretación de cambios en la fertilidad del suelo y podría ser utilizada como un índice de calidad de los mismos (Kapkiyai *et al.*, 1999).

### **Abono verde y N del suelo**

Experiencias de Buschiazzo *et al.* (1998) en la región subhúmeda y semiárida de La Pampa, demostraron que las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo mejoran con la mayor cantidad de residuos de plantas retenidos en la superficie o incorporados. Por ello, los abonos verdes incluidos en una rotación pueden lograr una mejora en la sustentabilidad del recurso suelo. Se denomina abono verde a la práctica de enterrar las plantas en el lugar donde crecen, y su objetivo es mejorar las condiciones físico-químicas del suelo a través de la descomposición del material enterrado. El uso de leguminosas anuales o perennes como abono verde aparece como una tecnología apropiada para mejorar la productividad de cultivos y pasturas subsiguientes, a través de las mejoras en la fertilidad físico-química del suelo. Las leguminosas pueden contribuir aportando importantes cantidades de N de origen simbiótico para los cultivos posteriores, así como proteger el suelo contra la erosión (Starovoytov *et al.*, 2010). Según se explica en el manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelo (FAO, 1997) las funciones del abono verde son: proteger la capa superficial del suelo; mantener elevadas tasas de infiltración de agua; atenuar la amplitud térmica del suelo y disminuir la evaporación aumentando la disponibilidad de agua para los cultivos; romper capas duras por medio del sistema radicular y promover la aireación y estructuración del suelo, induciendo su actividad biológica; promover el reciclaje de nutrientes; disminuir la lixiviación de nutrientes; promover la adición de N al suelo a través de la fijación biológica; reducir la población de malezas y activar, mediante su crecimiento y descomposición, el ciclo de muchas especies de macroorganismos y principalmente microorganismos del suelo, cuya actividad mejora la dinámica física y química del suelo.

La biomasa microbiana del suelo y la actividad de las enzimas se consideran componentes importantes de la fertilidad del suelo, y un medio para fomentar este aspecto es la incorporación directa de un abono verde (Toomsan *et al.*, 2000 y Elfstrand *et al.*, 2007).

Una mezcla de leguminosas con otros cultivos serían una combinación ideal de recuperación, al menos en parte, del N absorbido por los cultivos, así como también reducen el potencial de lixiviación del mismo (Sainju *et al.*, 2007). En comparación con los fertilizantes nitrogenados sintéticos, las leguminosas utilizadas como abono verde además de incorporar importantes cantidades de N por vía simbiótica, aportan grandes cantidades de carbono y otros nutrientes (Hargrove, 1986; Sharma y Mittra, 1988). Según Fernández *et al.* (2004) en trabajos realizados en la Región Semiárida Pampeana, en la Provincia de La Pampa, los requerimientos de N de los verdeos de invierno varían entre 20 y 30 kg t<sup>-1</sup> de MS producida para un promedio en dicha región de 2 a 3 t ha<sup>-1</sup> de MS, pero normalmente sólo disponen de 10 a 15 kg ha<sup>-1</sup>, por lo tanto para cubrir los requerimientos se deben utilizar fertilizantes químicos o abonos orgánicos. Una reducción en el uso de fertilizantes de N puede tener considerables beneficios económicos, energéticos y ambientales para un agroecosistema (Pimentel *et al.*, 2005 y Zentner *et al.*, 2001). El ingreso de N atmosférico a través de la fijación biológica que realizan las leguminosas anuales (vicia y trébol) oscila entre 50 a 150 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (Viglizzo *et al.*, 1995). Estos antecedentes junto a los de Romero y Ruiz (2001) concluyen en que el uso de leguminosas como forraje y abono verde sería una tecnología apropiada para reducir el uso de fertilizantes.

La incorporación de leguminosas como abono verde implica normalmente un aporte importante de N al sistema. Estudios de Valdivieso y Espinosa (1995), Agamennoni y Vanzolini (2006) utilizaron vicia como abono verde y tuvieron incrementos en el N del suelo. Wivstad (1997) utilizó trébol rojo y trébol amarillo como abono verde y encontró que luego de 8,5 meses de descomposición en el suelo se recuperó un 55% del N. Thorup Kristensen (2006) realizó un estudio 6 tipos de abonos verdes (*Vicia villosa*, *V. sativa*, *Trifolium incarnatum*, *T. alexandrinum*, *Secale cereale* y *Lolium multiflorum*). Los resultados mostraron un mayor contenido de N inorgánico en el suelo utilizado *V. villosa*, seguido de otras tres leguminosas (*V. sativa*, *T. incarnatum*, *T. alexandrinum*). Los

menores contenidos se observaron cuando se utilizó *Secale cereale* y *Lolium multiflorum* como abono verde, que son gramíneas y no fijadoras de N.

Una de las principales razones por las cuales se prefieren cultivos de leguminosas para ser usados como abono verde es la capacidad de estas especies para fijar N atmosférico, aunque no todas son igualmente eficientes. Torsten y Thorup Kristensen (2001) observaron que la fijación de N variaba fuertemente entre especies y difería entre los dos años estudiados. Las condiciones climáticas y la humedad del suelo, que son cruciales durante la germinación y el desarrollo temprano de las plantas, pueden ser una explicación para las diferencias que encontraron. Biederbeck *et al.* (1996) observaron que las leguminosas anuales como guisante (*Pisum sativum*) y lenteja (*Lens culinaris*) muestran un mejor equilibrio entre el uso del agua y su contribución de N que las leguminosas perennes. Muraoka *et al.* (2002) trabajaron con otras leguminosas (*Crotalaria* y *Mucuna*) como abono verde y concluyeron que eran una buena alternativa como fuente de N. Beltrán Morales *et al.* (2005) utilizaron frijol dolichus (*Lablab purpureus*) como abono verde en suelos de zonas áridas de Baja California Sur y encontraron que la incorporación de éste puede aportar al suelo hasta 240 kg N ha<sup>-1</sup>. En ensayos realizados por Martín *et al.* (2007) utilizando la leguminosa *Canavalia ensiformis* como abono verde, encontraron incrementos significativos en el N del suelo.

El abono verde puede constituir una alternativa eficaz al uso de fertilizantes sintéticos, siempre y cuando se tomen en cuenta de manera apropiada las diversas variables bióticas y abióticas que influyen sobre su descomposición en el suelo. Una forma de proceder es a través del empleo de diferentes indicadores que infieran su tasa de mineralización y capacidad de aporte nitrogenado (Hernández Mendoza *et al.*, 2007). La composición química del abono verde y la tasa de liberación de nutrientes tiene una importancia determinante sobre los beneficios que brinda esta práctica (Cherr *et al.*, 2006 y Sakala *et al.*, 2003). También el aporte de N por parte del abono verde varía de acuerdo a las condiciones ambientales (Carlen *et al.*, 2004; García *et al.*, 2000a, García *et al.*, 2000b y McCauley, 2011), así como también la profundidad de incorporación, tipo de labranza, tipo de suelo (Sarrantonio y Scott 1988 y Francis *et al.*, 1995). Las leguminosas (*Melilotus* y *Vicia*) contienen una alta cantidad de N y una baja relación C/N (Janzen y Kucey 1988), esta relación influye en la mineralización de residuos (Probert *et al.*, 2005). La relación

entre N mineralizado y la relación C/N tiene una correlación significativa y negativa (Yuwen *et al.*, 2003 y Chaves *et al.*, 2004). Otros autores (Becker *et al.*, 1994; Tejada y González 2006, Tejada *et al.*, 2008) señalaron que las relaciones lignina/N y tanino/N controlan la liberación de N y las tasas de descomposición.

## **Abono verde y Materia Orgánica**

En cuanto al efecto de los abonos verdes sobre la MO del suelo Uttam *et al.* (2003), Cherr *et al.* (2006), Kirkegaard *et al.* (2008), Herencia *et al.* (2008) y Beltrán Morales *et al.* (2006) demostraron que la adición de abono verde resulta en una mejora de la MO, lo que lleva a un mejor estado de agregación del suelo, menor densidad aparente y mejora en características de flujo de agua que benefician el crecimiento de los cultivos subsiguientes. El incremento en la MO y por lo tanto el incremento en la productividad (Brechelt, 2004) puede tardar varios años en manifestarse (Johnston *et al.*, 2009). Son *et al.* (2004), Agamennoni y Vanzolini (2006) y Derpsch *et al.* (1985) observaron valores de incrementos en la producción del cultivo subsiguiente luego de realizar un abono verde con vicia. Otros autores (Bongsu *et al.*, 2014; García *et al.*, 2000a y b; Muzilli *et al.*, 1980; Scherer y Baldissera, 1988; Yadav y Dey, 2000, Yadav 2004 y Treto *et al.*, 2001) utilizaron otras especies de leguminosas como abono verde y también encontraron incrementos en los cultivos subsiguientes.

Por lo expuesto, la utilización de cultivos de leguminosas anuales como abonos verdes puede ser una alternativa muy adecuada para incrementar el nivel de MO del suelo y proveer una fuente de nitrógeno disponible para ser aprovechados por los cultivos posteriores. En la Región Semiárida Pampeana la información existente sobre el tipo de leguminosas a utilizar como abono verde y distintas alternativas de manejo es escasa. Solo se dispone de información preliminar en el ámbito regional como las evaluaciones realizadas en la EEA Anguil de INTA, La Pampa, mostraron incrementos del 30 al 80% en el rendimiento de MS de los cultivos cuando se utilizó previamente como abono verde cultivos de trébol o alfalfa. Los incrementos en la producción fueron equivalentes a los obtenidos con niveles de fertilización nitrogenada que oscilan entre los 130 y 150 kg N ha<sup>-1</sup> (Romero y Ruiz, 2001). El presente trabajo apunta a generar información sobre esta

práctica agronómica bajo las condiciones edáficas y climáticas típicas de nuestra Región Semiárida Pampeana.

## **Hipótesis general**

La utilización como abono verde de leguminosas anuales (*Melilotus albus* Desr. y *Vicia villosa* Roth) mejora las propiedades del suelo. Como consecuencia de esa mejora, se produce un aumento en la producción y calidad de cultivos subsiguientes.

## **Hipótesis específicas**

- a. El contenido de nitratos y MO del suelo, y la producción de forraje y proteína de cultivos forrajeros subsiguientes dependerá del manejo y de la especie de leguminosa utilizada como abono verde precedentemente.
- b. El contenido de nitratos y MO del suelo, y la producción de forraje y proteína de cultivos forrajeros subsiguientes dependerá de la cantidad incorporada de la especie de leguminosa utilizada precedentemente como abono verde.

## **Objetivo General**

Evaluar el efecto de la utilización de leguminosas anuales como abonos verdes sobre las condiciones de fertilidad del suelo y la productividad de los cultivos subsiguientes en un suelo típico de la Región Semiárida Pampeana.

## **Objetivos específicos**

1. Evaluar manejos alternativos de dos especies de leguminosas anuales (*Melilotus albus* Desr. y *Vicia villosa* Roth) utilizadas como abono verde en un suelo Haplustol Éntico Franco Arenoso en la Región Semiárida Pampeana sobre:

- a) Los contenidos de nitratos y MO del suelo
  - b) La producción de forraje y contenido de proteína de los cultivos forrajeros subsiguientes
2. Evaluar el efecto de la incorporación, como abono verde, de diferentes cantidades de fitomasa aérea de dos especies de leguminosas anuales (*Melilotus albus* Desr. y *Vicia villosa* Roth) en un suelo Haplustol Éntico Franco Arenoso en la Región Semiárida Pampeana sobre:
- a) Los contenidos de nitratos y MO del suelo
  - b) La producción de forraje y contenido de proteína de los cultivos forrajeros subsiguientes

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 2.1 Características ambientales

##### 2.1.1. Clima del territorio argentino

La República Argentina tiene un territorio de 2.800.000 km<sup>2</sup> y se extiende ampliamente en el sentido norte a sur, hallándose casi su totalidad en la zona templada. Su clima presenta una gran variabilidad respecto a sus valores promedios (Ruggiero y Conti, 1988).

Esta gran superficie está representada por un 60 % de región árida, un 25 % de región húmeda y un 15 % de región semiárida, por lo tanto un 75 % de nuestro país se halla en condiciones de aridez o semiaridez (Glave, 1988), siendo el país de América Latina con mayor superficie con estas características áridas. Las tierras secas producen alrededor del 50 % de la producción agrícola y el 47 % de la ganadera, concentrando el 30 % de la población nacional. Estas regiones presentan cada vez mayores problemas de desertificación y salinización (FAO, 2002).

##### 2.1.2 Clima de la provincia de La Pampa

Thornthwaite (1948) realizó una clasificación climática basada en la distribución de la efectividad térmica e hídrica. Para la provincia de La Pampa, ubicada en el sector central del país, se determinaron tres tipos de clima: subhúmedo seco en el sector E - NE, semiárido en el sector central y árido en el extremo SW. El potencial productivo regional en La Pampa se encuentra fuertemente incidido por el clima, el que determina los ambientes naturales y la erosión del suelo (Covas y Glave, 1988).

### 2.1.2.1 Precipitaciones

La distribución de las precipitaciones en la provincia de La Pampa disminuyen en sentido NE al SW, la mayor precipitación se concentra en el NE correspondiente al sector subhúmedo. En la isohieta de los 400 mm se encuentra el límite entre la región semiárida y la árida y por último el sector árido se ubica al W, entre los 400 y 200 mm (Covas y Glave, 1988). En la Figura 2.1 pueden apreciarse las isohietas para la provincia de La Pampa en el período 1961-2000 (Casagrande *et al.*, 2012). Las mismas sufrieron un corrimiento en relación a las publicadas en el Inventario Integrado de los Recursos Naturales de La Pampa, en el que aparecía una situación de mayor deficiencia hídrica (Casagrande y Conti, 1980).

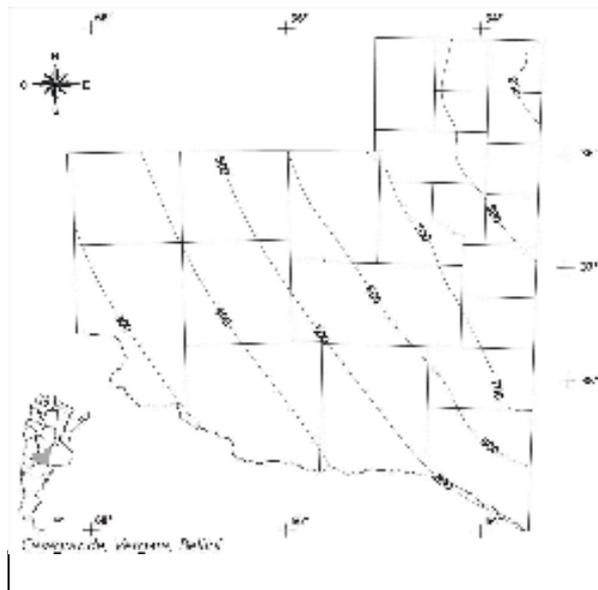


Figura 2.1 Precipitaciones medias anuales en la provincia de La Pampa para el período 1961-2000

Las precipitaciones se concentran principalmente en otoño y primavera, con estación seca en invierno y semiseca en verano, esta estacionalidad provoca sequías de relativa duración en invierno y cortas en verano (Covas y Glave, 1988).

La variabilidad de las precipitaciones interanuales es considerable, y además ha ido incrementándose en los últimos tiempos, encontrándose años en los cuales las mismas están muy por debajo de la media y otros muy por encima (Casagrande *et al.*, 2006).

El balance hídrico, calculado en base a la evapotranspiración potencial y precipitación, indica la ocurrencia de un gran déficit de octubre a marzo y uno de menor magnitud en agosto (Casagrande y Conti, 1980).

### 2.1.2.3 Vientos

Los vientos predominantes son del Norte al NW y del S al SW, con una velocidad media de 15 km/h, son más fuertes en primavera, coincidiendo con la salida del período de menor precipitación, por lo cual son altamente erosivos (Covas y Glave, 1988).

### 2.1.2.4 Temperaturas

El clima de la provincia de La Pampa corresponde al templado continental con temperaturas con una gran amplitud térmica que llega a los 16 °C, lo que refleja su carácter continental en incremento desde el este hacia el oeste. La temperatura media del mes más frío -julio- es de 8 °C al NE y 6 °C al SW, y la temperatura media del mes más cálido -enero- es de 24 °C en el NE y de 22 °C en el SW (Casagrande y Conti, 1980).

Las heladas adquieren importancia por su incidencia en la producción agrícola. La variabilidad en la fecha promedio tanto de la primera como de la última helada en La Pampa es entre 15 y 20 días, esto tiene grandes efectos en la producción agrícola (Casagrande y Conti, 1980).



Figura 2.2. Fechas promedio de probabilidad de la primera y última helada promedio del período 1961-2000 (Casagrande *et al.*, 2012).

### **2.1.2.5 Regiones agro-ecológicas de La Pampa**

La provincia de La Pampa presenta diferentes regiones agro-ecológicas. En base a factores edáficos y de aptitud de uso de la tierra se la puede dividir en cuatro regiones: a) Monte occidental, b) Caldenal, c) Planicie con tosca y d) Planicie medanosa (RIAP, 2006).

a. En el Monte occidental no se realizan actividades agrícolas, solamente cría de ganado bovino y caprino en campo natural.

b. El Caldenal comprende unas 5.500.000 ha que abarcan el centro de la provincia de La Pampa y sur de San Luis. Conforman un bosque caducifolio, que originalmente era abierto con un estrato gramíneo. Hace más de una centuria se inició la explotación ganadera primero con ovinos, y actualmente cría y cria de bovinos para carne. Se extiende entre las isohietas de 400 y 550 mm, las precipitaciones son principalmente de naturaleza primavero - estival, con una alta variabilidad mensual y en el total anual. El balance hídrico muestra déficit entre los meses de octubre a marzo. El caldenal de acuerdo al índice hídrico se ubica en un régimen semiárido (Llorens y Frank, 1999).

c. La Planicie con tosca se ubica en el centro-norte de La Pampa, limitando al norte con Córdoba y extendiéndose al sur hasta el límite con Buenos Aires. La característica de esta zona es la presencia de un manto con tosca sobre el que se depositó suelo arenoso, determinando un perfil poco profundo. Los sistemas productivos utilizan forrajeras implantadas perennes y anuales, y se complementan con una rotación con cultivos de cosecha, cuyos rendimientos son variables (RIAP, 2006).

d. La Planicie medanosa corresponde a un sector ubicado al noreste de La Pampa, con suelo de textura franco arenosa, sin límites de profundidad, representando el sector más productivo (RIAP, 2006). En esta última región se encuentra ubicado el sitio experimental.

### **2.1.2.6 Características del sitio experimental**

Dentro de la Planicie medanosa descrita anteriormente los ensayos se llevaron a cabo en la Estación Experimental Agropecuaria Anguil “Ing. Agr. Guillermo Covas” del INTA. Pertenece a la Región Semiárida Pampeana y se encuentra en el centro-este de la provincia de La Pampa.

## **2.2 Características de las especies utilizadas en los ensayos**

### **2.2.1 *Melilotus albus* Desr. (trébol de olor blanco). Fabáceas. Faboideas.**

Es una leguminosa nativa de Europa y de Asia. Fue introducida a Sudamérica en el siglo XVIII y a Norteamérica en el XVII como alimento de ganado. Actualmente tiene una dispersión cosmopolita desde Canadá a Argentina. Es típicamente bienal, pero en el país domina la variedad anual. Fija N atmosférico a partir de su simbiosis con bacterias del género *Rhizobium*. Burkart (1952a), Burkart (1952b) y Burkart (1952c) la describe como una especie anual, cultivada como forrajera.

### **2.2.2 *Vicia villosa* Roth (vicia). Fabáceas. Faboideas.**

Es una leguminosa originaria de Europa, anual, de desarrollo invierno-primaveral. Es una especie anual que por condiciones de manejo se comporta como bianual e inclusive como perenne por resiembra natural. Se desarrolla muy bien en suelos arenosos o arcillo-arenosos, con buen drenaje. (Burkart 1952a; Burkart 1952b; Burkart 1952c; Cairnie y Pérez Fernández, 1994).

### **2.2.3 *Secale cereale* L. (centeno). Poáceas. Poóideas.**

Se utilizó la variedad Quehué diploide originado en la E.E.A. Anguil “Ing. Agr. Guillermo Covas”. Cultivar de crecimiento inicial muy rápido, su capacidad de rebrote es muy buena y tiene muy buena tolerancia al frío. Es precoz, cumpliendo el ciclo de emergencia a espigazón en 90 días. (Amigone y Tomaso, 2014).

**Se realizaron 3 ensayos:**

**En respuesta al primer objetivo específico:**

Ensayo 1: Efecto del manejo alternativo de un cultivo de *Melilotus albus* utilizado como abono verde sobre las propiedades del suelo y la producción y proteína de los cultivos subsiguientes.

Ensayo 2: Efecto del manejo alternativo de un cultivo de *Vicia villosa* utilizado como abono verde sobre las propiedades del suelo y la producción y proteína de los cultivos subsiguientes.

**En respuesta al segundo objetivo específico:**

Ensayo 3: Efecto de la incorporación al suelo como abono verde de diferentes cantidades de biomasa aérea de dos leguminosas anuales sobre la producción y proteína del cultivo subsiguiente

## **2.3 Ensayos**

### **2.3.1 Ensayo 1. Efecto del manejo alternativo de un cultivo de *Melilotus albus* Desr. utilizado como abono verde sobre las propiedades del suelo y la producción y proteína de los cultivos subsiguientes**

Se caracterizó el sitio experimental realizando muestreos en 20 puntos en el área donde se realizó el ensayo (los puntos se tomaron sobre 2 diagonales en puntos equidistantes) en marzo de 2010 en los primeros 20 cm. El suelo es un Haplustol éntico con una textura Franco Arenosa (contiene 8 % de Arcilla, 44 % de Limo y 48 % de Arena), con 27,3 ppm de fósforo, pH 6,06, y las precipitaciones se distribuyen en la zona de la manera descrita en la Tabla 2.1 donde también se presenta la precipitación media mensual histórica entre el período de 1976-2011. En la Tabla 2.2 se estimó la diferencia entre la precipitación media histórica con lo sucedido en cada año de ensayo. Se analizó el contenido de MO total en 0 a 20 cm de profundidad por digestión húmeda de acuerdo a

Walkey y Black (1934), su valor fue de 2,30 % y de nitratos (AOAC, 1990) con un valor de 38,2 ppm.

Tabla 2.1. Precipitaciones promedio histórica y anual en Anguil, La Pampa. Ensayo 1 milímetros

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
1976-2011	102	87	112	58	32	21	20	25	48	76	81	97	760
2010	99	201	426	11	3	14	8	1	152	50	37	48	1050
2011	218	15	101	140	19	8	28	11	3	68	132	39	782
2012	85	82	116	70	14	3	0	126	0	223	52	116	886

Tabla 2.2. Diferencia entre la media histórica y la precipitación mensual de los años de ensayo 1 milímetros

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
2010	-3	114	314	-47	-30	-7	-12	-24	104	-26	-44	-49	290
2011	116	-71	-11	82	-14	-12	8	-14	-45	-8	51	-58	22
2012	-17	-5	4	12	-18	-18	-20	101	-48	147	-30	19	127

Las temperaturas presentan una gran amplitud entre sus valores máximos y mínimos, habiéndose encontrado temperaturas absolutas de valores -13,5 °C y 42,2 °C. En la Tabla 2.3 se observan las T° medias históricas y las anuales del período estudiado (2011 y 2012).

Tabla 2.3. Temperatura media promedio histórico y anual (2010, 2011, 2012). Ensayo 1

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
1973-2011	22,9	21,6	19,5	15,2	11,1	7,9	7,3	9,4	12,2	15,6	18,8	21,8	15,3
2010	24,5	21,9	20,9	14,2	11,8	9,4	6,8	8,8	12,9	15,8	19,4	23,5	15,8
2011	22,9	21,4	19,8	15,8	11,8	7,5	7,7	8,6	14,0	15,0	20,7	22,5	15,6
2012	25,2	21,9	21,0	15,0	12,9	8,7	6,7	10,0	13,1	15,9	20,0	21,4	16,0

Se llevó a cabo un experimento en parcelas con un diseño en bloques al azar con 4 repeticiones. Este ensayo se realizó durante los años 2010 (año 0), 2011 (año 1) y 2012

(año 2). Se utilizó la forrajera leguminosa trébol de olor blanco (*Melilotus albus* Desr.) sembrada junto con centeno (*Secale cereale* cv. Quehué). Se realizaron 3 tratamientos un tratamiento testigo con centeno puro y dos tratamientos de trébol de olor blanco. Los materiales se sembraron en el 15 de marzo de 2010 (año 0). Las densidades de siembra que se utilizaron fueron para el tratamiento testigo 60 kg ha<sup>-1</sup> de centeno y en los tratamientos con trébol de olor blanco 7 kg ha<sup>-1</sup> para trébol de olor blanco y 30 kg ha<sup>-1</sup> para centeno. La leguminosa se sembró en surcos separados y alternados con centeno a 20 cm, un total de 9 surcos de 6 metros de largo. Para la determinación de producción de MS se delimitó una parcela de 5m<sup>2</sup> (1m de ancho y 5m de largo, dejando como bordura en cada extremo 50 cm y de cada lado 2 surcos) y se cortó con una motoguadañadora (marca Gravelly) con 10 cm de altura y un ancho de corte de 1 m.

En el año 0 en las mismas parcelas se realizó el corte, extracción de la parcela y posterior medida y toma de submuestras para determinar el % MS. Los cortes se ocurrieron el 1° corte 2-6-10 y el 2° corte 22-9-10. A partir de octubre no se realizaron cortes de las parcelas hasta diciembre de este mismo año. Durante este período el crecimiento del centeno fue despreciable. En diciembre del año 0 se aplicaron los siguientes tratamientos:

Test: tratamiento testigo. Corte y remoción del centeno. Enterrado del remanente de centeno.

TreRem: trébol de olor blanco y centeno. Corte y remoción del forraje de centeno y trébol de olor blanco. Enterrado del remanente de 10 cm de altura de ambas especies.

TrePIEnt: trébol de olor blanco y centeno. Enterrado del total de fitomasa aérea de la leguminosa acumulada desde septiembre hasta diciembre y el remanente de centeno.

Durante el año 0 el objetivo no fue medir la producción, porque se deseaba obtener el forraje de leguminosas para poder realizar los tratamientos de manejo alternativo de abonos verdes. Sin embargo se midió la producción de los 3 tratamientos (Test, TreRem y TrePIEnt) que tuvieron producciones similares de MS de centeno (2 cortes en este ciclo de crecimiento) de las mismas parcelas estuvo en el orden de las 3,3 t MS ha<sup>-1</sup>. Se realizó la determinación del contenido de PB. Para el primer corte el contenido de PB fue de 18,9 % y para el segundo corte fue de 19,4 %. Los kg de PB ha<sup>-1</sup> año fueron de 621.

En diciembre del año 0 en el tratamiento en Test se pasó una rastra de 6 discos (3 discos delanteros y 3 traseros) con un ancho de labor de 120 cm y una profundidad de labor de 20 cm luego de realizar el corte a 10 cm y remoción del forraje de centeno. En el mismo día en TreRem el forraje se cortó a 10 cm y se extrajo, se pesó y se pasó la rastra incorporando solamente el remanente de centeno y trébol de olor blanco. También el mismo día TrePIEnt se incorporó el forraje de leguminosa como abono verde, se midió en las mismas parcelas y el valor promedio fue de 2,33 t MS ha<sup>-1</sup> con 13,05 % de PB, equivalente a 48,7 kg N ha<sup>-1</sup>. El forraje de trébol de olor blanco en TrePIEnt se cortó a 10 cm, se pesó y se esparció el material en la parcela para luego ser incorporado por la rastra a 20 cm de profundidad.

Al año siguiente, año 1 (2011), se sembró centeno en los tratamientos Test, TreRem y TrePIEnt. Se realizaron cortes durante el período de crecimiento con la misma metodología del año anterior. Los mismos fueron 3: 19-5-11, 13-7-11 y 29-12-11. Se realizó muestreo de centeno en todos los cortes para el análisis de PB de todos los cortes.

Al siguiente año, año 2 (2012), se sembró centeno en las mismas parcelas, siguiendo con la metodología del año anterior. Se realizaron 2 cortes: 1-06-12 y 3-10-12. Se tomó muestra de centeno para el análisis de PB en ambos cortes. En el segundo corte no se pudo cuantificar la producción de MS.

Las parcelas se mantuvieron libres de malezas y de plagas durante los años evaluados. Los barbechos realizados entre diciembre y la siembra de centeno fueron a suelo desnudo libre de malezas.

### **2.3.1.1 Variables medidas en el suelo**

Para detectar el efecto de los tratamientos noviembre del año 1 y 2 se realizaron las siguientes determinaciones: 1) contenido de MO de 0 a 20 cm de profundidad y sus fracciones MO total (MOt), MO vieja (MOv) y MO joven (MOj) por el método de Cambardella y Elliott (1993), 2) contenido de nitratos.

### 2.3.1.2 Variables medidas en la planta

Sobre el forraje de centeno testigo y el producido en asociación con leguminosa y en los años posteriores como cultivo puro se determinó la producción de MS y el contenido de PB (AOAC, 1990).

Sobre el forraje de trébol de olor blanco en el último corte donde se realizó la incorporación en el tratamiento TrePIEnt en diciembre del año 0 se determinó de producción de MS y contenido de PB del material de trébol de olor blanco incorporado.

Se realizó un análisis estadístico utilizando ANOVA y test LSD Fisher para separación de medias utilizando el programa InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2013).

### 2.3.2 Ensayo 2. Efecto del manejo alternativo de un cultivo de *Vicia villosa* Roth utilizado como abono verde sobre las propiedades del suelo y la producción y proteína de los cultivos subsiguientes

Se caracterizó el sitio experimental realizando muestreos en 20 puntos en el área donde se realizó el ensayo (los puntos se tomaron sobre 2 diagonales en puntos equidistantes) en marzo de 2011 en los primeros 20 cm. El suelo es un Haplustol éntico con una textura Franco Arenosa (contiene 8 % de Arcilla, 44 % de Limo y 48 % de Arena), con 27,3 ppm de fósforo, pH 6,06, las precipitaciones se distribuyen en la zona de la manera descrita en la Tabla 2.4 donde también se presenta la precipitación media mensual histórica entre el período de 1976-2011. En la Tabla 2.5 se estimó la diferencia entre la precipitación media histórica con lo sucedido en cada año de ensayo. Se analizó el contenido de MO total en 0 a 20 cm de profundidad por digestión húmeda, su valor fue de 2,30 % y de nitratos con un valor de 38,2 ppm.

Tabla 2.4. Precipitaciones promedio histórica y anual en Anguil, La Pampa. Ensayo 2 milímetros

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
1976-2011	102	87	112	58	32	21	20	25	48	76	81	97	760
2011	218	15	101	140	19	8	28	11	3	68	132	39	782
2012	85	82	116	70	14	3	0	126	0	223	52	116	886

Tabla 2.5. Diferencia entre la media histórica y la precipitación mensual de los años de ensayo 2

milímetros													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
2011	116	-71	-11	82	-14	-12	8	-14	-45	-8	51	-58	22
2012	-17	-5	4	12	-18	-18	-20	101	-48	147	-30	19	127

Las temperaturas presentan una gran amplitud entre sus valores máximos y mínimos, habiéndose encontrado temperaturas absolutas de valores -13,5 °C y 42,2 °C. En la Tabla 2.6 se observan las T° medias históricas y las anuales del período estudiado (2011 y 2012).

Tabla 2.6. Temperatura media promedio histórico y anual (2011 y 2012). Ensayo 2

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
1973-2011	22,9	21,6	19,5	15,2	11,1	7,9	7,3	9,4	12,2	15,6	18,8	21,8	15,3
2011	22,9	21,4	19,8	15,8	11,8	7,5	7,7	8,6	14,0	15,0	20,7	22,5	15,6
2012	25,2	21,9	21,0	15,0	12,9	8,7	6,7	10,0	13,1	15,9	20,0	21,4	16,0

Se llevó a cabo un experimento en parcelas con un diseño en bloques al azar con 4 repeticiones. Este ensayo se realizó durante los años 2011 (año 0) y 2012 (año 1). Se utilizó la forrajera leguminosa vicia (*Vicia villosa* Roth) sembrada junto con centeno (*Secale cereale* cv. Quehué). Se realizaron 3 tratamientos un tratamiento testigo con centeno puro y dos tratamientos de vicia. Los materiales se sembraron en el 18 de marzo de 2011 (año 0). Las densidades de siembra que se utilizaron fueron para el tratamiento testigo 60 kg ha<sup>-1</sup> de centeno y en los tratamientos con vicia 10 kg ha<sup>-1</sup> para vicia blanco y 30 kg ha<sup>-1</sup> para centeno. La leguminosa se sembró en surcos separados y alternados con centeno a 20 cm, un total de 9 surcos de 6 metros de largo. Para la determinación de producción de MS se delimitó una parcela de 5m<sup>2</sup> (1m de ancho y 5m de largo, dejando como bordura en cada extremo 50 cm y de cada lado 2 surcos) y se cortó con una motoguadadora (marca Gravelly) con 10 cm de altura y un ancho de corte de 1 m.

En el año 0 a las mismas parcelas se realizó el corte, extracción de la parcela y posterior medida y toma de submuestras para determinar el % MS. Los cortes ocurrieron el

1° corte 19-5-11, el 2° corte 13-7-11 y el 3° corte 29-12-11. A partir de octubre no se realizaron cortes de las parcelas hasta diciembre de este mismo año. Durante este período el crecimiento del centeno fue despreciable. En diciembre del año 0 se aplicaron los siguientes tratamientos:

Test: tratamiento testigo. Corte y remoción del centeno. Enterrado del remanente de centeno.

ViRem: vicia y centeno. Corte y remoción del forraje de centeno y vicia. Enterrado del remanente de 10 cm de altura de ambas especies.

ViPIEnt: vicia y centeno. Enterrado del total de fitomasa aérea de la leguminosa acumulada desde septiembre hasta diciembre y el remanente de centeno.

Durante el año 0 el objetivo no fue medir la producción, porque se deseaba obtener el forraje de leguminosas para poder realizar los tratamientos de manejo alternativo de abonos verdes. Sin embargo se midió la producción de los 3 tratamientos (Test, ViRem y ViPIEnt) que tuvieron producciones similares de MS de centeno (2 cortes en este ciclo de crecimiento) de las mismas parcelas estuvo en el orden de las 1 t MS ha<sup>-1</sup>. Se realizó la determinación del contenido de PB. Para el primer corte el contenido de PB fue de 23,8 % y para el segundo corte fue de 14,13 %. Los kg de PB ha<sup>-1</sup> año fueron de 170,7.

En diciembre del año 0 en el tratamiento en Test se pasó una rastra de 6 discos (3 discos delanteros y 3 traseros) con un ancho de labor de 120 cm y una profundidad de labor de 20 cm luego de realizar el corte a 10 cm y remoción del forraje de centeno. En el mismo día en ViRem el forraje se cortó a 10 cm y se extrajo, se pesó y se pasó la rastra incorporando solamente el remanente de centeno y vicia. También el mismo día ViPIEnt se incorporó el forraje de leguminosa como abono verde, se midió en las mismas parcelas y el valor promedio fue de 1,92 t MS ha<sup>-1</sup> con 22,5 % de PB, equivalente a 69 kg N ha<sup>-1</sup> para el tratamiento ViPIEnt. El forraje de vicia en ViPIEnt se cortó a 10 cm, se pesó y se esparció el material en la parcela para luego ser incorporado por la rastra a 20 cm de profundidad.

Al año siguiente, año 1 (2012), se sembró centeno en los tratamientos Test, ViRem y ViPIEnt. Se realizaron cortes durante el período de crecimiento con la misma

metodología del año anterior. Se realizaron 2 cortes: 1-06-12 y 3-10-12. Se tomó muestra centeno para el análisis de PB en ambos cortes. En el segundo corte no se pudo cuantificar la producción de MS.

Las parcelas se mantuvieron libres de malezas y de plagas durante los años evaluados. Los barbechos realizados entre diciembre y la siembra de centeno fueron a suelo desnudo libre de malezas.

### **2.3.2.1 Variables medidas en el suelo**

Para detectar el efecto de los tratamientos noviembre del año 1 se realizaron las siguientes determinaciones: 1) contenido de MO de 0 a 20 cm de profundidad y sus fracciones MO total (MOt), MO vieja (MOv) y MO joven (MOj), 2) contenido de nitratos.

### **2.3.2.2 Variables medidas en la planta**

Sobre el forraje de centeno testigo y el producido en asociación con leguminosa y en los años posteriores como cultivo puro se determinó la producción de MS y el contenido de PB.

Sobre el forraje de vicia en el último corte donde se realizó la incorporación en el tratamiento ViPIEnt en diciembre del año 0 se determinó de producción de MS y contenido de PB del material de vicia incorporado.

Se realizó un análisis estadístico utilizando ANOVA y test LSD Fisher para separación de medias utilizando el programa InfoStat.

## **3.1 Ensayo 3. Efecto de la incorporación al suelo como abono verde de diferentes cantidades de biomasa aérea de dos leguminosas anuales sobre la producción y proteína del cultivo subsiguiente**

Se caracterizó el sitio experimental realizando muestreos en 20 puntos en el área donde se realizó el ensayo (los puntos se tomaron sobre 2 diagonales en puntos equidistantes) en noviembre de 2009 en los primeros 20 cm. El suelo es un Haplustol

éntico con una textura Franco Arenosa (contiene 10 % de Arcilla, 44 % de Limo y 46 % de Arena), con 28 ppm de fósforo, pH 6 y las precipitaciones se distribuyen en la zona de la manera descrita en la Tabla 2.7 donde también se presenta la precipitación media mensual histórica entre el período de 1976-2011. En la Tabla 2.8 se estimó la diferencia entre la precipitación media histórica con lo sucedido en cada año de ensayo, teniendo en cuenta esta diferencia, en los meses en que la media histórica era superior a la media mensual se regó llevando al menos al valor de la media mensual. El contenido de MO fue de 2,50 % y 49 ppm de nitratos.

Tabla 2.7. Precipitaciones promedio histórica y anual en Anguil, La Pampa. Ensayo 3 milímetros

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
1976-2011	102	87	112	58	32	21	20	25	48	76	81	97	760
2010	99	201	426	11	3	14	8	1	152	50	37	48	1050
2011	218	15	101	140	19	8	28	11	3	68	132	39	782

Tabla 2.8. Diferencia entre la media histórica y la precipitación mensual de los años de ensayo 3 milímetros

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
2010	-3	114	314	-47	-30	-7	-12	-24	104	-26	-44	-49	290
2011	116	-71	-11	82	-14	-12	8	-14	-45	-8	51	-58	22

Las temperaturas presentan una gran amplitud entre sus valores máximos y mínimos, habiéndose encontrado temperaturas absolutas de valores -13,5 °C y 42,2 °C. En la Tabla 2.9 se observan las T° medias históricas y las anuales del período estudiado (2011 y 2012).

Tabla 2.9. Temperatura media promedio histórico y anual (2010 y 2011). Ensayo 3

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
1973-2011	22,9	21,6	19,5	15,2	11,1	7,9	7,3	9,4	12,2	15,6	18,8	21,8	15,3
2010	24,5	21,9	20,9	14,2	11,8	9,4	6,8	8,8	12,9	15,8	19,4	23,5	15,8
2011	22,9	21,4	19,8	15,8	11,8	7,5	7,7	8,6	14,0	15,0	20,7	22,5	15,6

El ensayo se ejecutó de acuerdo a un diseño en bloques completamente aleatorizados en bloques completos al azar. En diciembre de 2009 (año 0) se realizaron cortes de la parte aérea de trébol de olor blanco y vicia en estado de floración en cultivos de vicia y trébol de olor blanco de cultivos cercanos a la zona del experimento. El material se secó y cortó en trozos de 20 cm. Este material se dispersó e incorporó con una rastra (de 6 discos y ancho de labor de 120 cm y con una profundidad de 20 cm) en febrero de 2010 sobre las parcelas del ensayo de acuerdo a los tratamientos; que simulaban tres niveles de producción de cada leguminosa (bajo, medio y alto) utilizada como abono verde según:

Testigo: sin incorporación de biomasa aérea. Sobre suelo desnudo, luego de una pasada de rastra.

Vi-baja: se incorporó el equivalente a 800 kg MS de vicia por hectárea con 22 % PB, lo que representó un aporte de 23,04 kg N ha<sup>-1</sup>.

Vi-media: se incorporó el equivalente a 2150 kg MS de vicia por hectárea con 22 % PB, lo que representó un aporte de 69,12 kg N ha<sup>-1</sup>.

Vi-alta: se incorporó el equivalente a 3500 kg MS de vicia por hectárea con 22 % PB, lo que representó un aporte de 115,2 kg N ha<sup>-1</sup>.

Tre-baja: se incorporó el equivalente a 800 kg MS de trébol de olor blanco por hectárea con 18 % PB, lo que representó un aporte de 28,16 kg N ha<sup>-1</sup>.

Tre-media: se incorporó el equivalente a 2400 kg MS de trébol de olor blanco por hectárea con 18 % PB, lo que representó un aporte de 75,68 kg N ha<sup>-1</sup>.

Tre-alta: se incorporó el equivalente a 4000 kg MS de trébol de olor blanco por hectárea con 18 % PB, lo que representó un aporte de 123,2 kg N ha<sup>-1</sup>.

La incorporación de material se realizó con una rastra. En todos los tratamientos, incluyendo el testigo (suelo desnudo), al momento de la incorporación se realizó la misma labor con rastra. Para evaluar el efecto del forraje incorporado como abono verde sobre los cultivos subsiguientes el 15 de marzo de 2010 (año 1) se sembró de centeno sobre las mismas parcelas. Durante el primer año se midió producción de MS. Para la determinación

de producción de MS se delimitó una parcela de 5m<sup>2</sup> (1m de ancho y 5m de largo, dejando como bordura en cada extremo 50 cm y de cada lado 2 surcos) y se cortó con una motoguadañadora (marca Gravely) con 10 cm de altura y un ancho de corte de 1 m.

Las mismas parcelas durante el período de crecimiento se realizaron el corte y remoción para hacer la estimación de producción. Los cortes ocurrieron los días 1-6-10, 24-9-10 y 26-10-10, de todos ellos se tomaron muestras para realizar el análisis de PB.

Al año siguiente (2011, año 2) se sembró el 3 de marzo centeno en las mismas parcelas del año anterior, durante el período de crecimiento se realizó el corte y remoción para estimar la producción. Los cortes ocurrieron los días 8-6-11 y 18-10-11, de todos los cortes se tomaron muestras para realizar el análisis de PB.

Las parcelas se mantuvieron libres de malezas y de plagas durante los años evaluados. Los barbechos realizados entre diciembre y la siembra de centeno fueron a suelo desnudo libre de malezas.

### **2.3.3.1 Variables medidas en el suelo**

Para detectar el efecto residual de los tratamientos, al finalizar el año 2 del ensayo se realizaron las siguientes determinaciones: 1) contenido de MO y sus fracciones MOt, MOv y MOj de 0 a 20 cm de profundidad, 2) contenido de nitratos.

### **2.3.3.2 Variables medidas en la planta**

Sobre el forraje de centeno producido como cultivo subsiguiente se determinó la producción de MS y el contenido de PB durante el ciclo del centeno en los 2 años evaluados posteriores a la incorporación de abono verde.

Se realizó un análisis estadístico utilizando ANOVA y test LSD Fisher para separación de medias con el paquete estadístico InfoStat.

### **2.3.3.3 Estimación de Equivalente Nitrógeno**

En el mismo sitio experimental y con las mismas condiciones del ensayo 3 se condujeron ensayos de parcela para estimar a qué dosis de fertilización nitrogenada era equivalente el aporte de los diferentes tratamientos con abonos verdes.

El experimento tuvo un diseño en bloques al azar con 4 réplicas con 6 niveles de N. El 23 de marzo de 2010 (año 1) se realizó la siembra de centeno sobre un suelo desnudo. Este ensayo se utilizó para detectar los cambios productivos mediante una fertilización con 6 niveles de N (0, 40, 60, 80, 100 y 120 kg N ha<sup>-1</sup>). La fertilización se realizó a la siembra con urea.

Durante este año se midió producción de MS de centeno. Para hacer la estimación de la producción se realizó el corte y remoción en las mismas parcelas. Los cortes fueron los días 2-6-10, 22-9-10 y 26-10-10, todos los cortes se muestrearon para el análisis de PB.

Al año siguiente (2011, año 2) el ensayo se repitió en otro lugar del mismo sitio experimental. Se sembró 3 de marzo centeno en las mismas parcelas fertilizando con las diferentes dosis de N. Para hacer la estimación de la producción se realizó el corte y remoción en las mismas parcelas fue cortado durante el período de crecimiento. Los cortes fueron los días 13-7-11 y 17-10-11, en todos los cortes se tomó muestra para realizar el análisis de PB.

Durante ambos años los tratamientos fueron regados durante el ciclo de crecimiento llevando a valores al menos similares a la media histórica.

#### **2.3.3.3.1 Variables medidas en la planta**

Sobre el forraje de centeno se determinó la producción de MS y el contenido de PB para los dos años de evaluación.

Se realizó un análisis estadístico utilizando ANOVA y test LSD Fisher para separación de medias utilizando el programa InfoStat.

**RESULTADOS**

**3.1 Ensayo 1**

**3.1.1 Determinaciones en suelo**

**3.1.1.1 Contenido de nitratos**

En marzo del año 0 el suelo contaba con 38,2 ppm de nitratos. En noviembre del año 1 y 2 se muestreó para determinar el contenido de nitratos en los primeros 20 cm de profundidad. La Tabla 3.1 al finalizar el año 1 no se ven diferencias significativas para ninguno de los tratamientos. En cambio al finalizar el año 2, se ve una diferencia significativa de 30 ppm entre el tratamiento TrePIEnt y el Test.

Tabla 3.1. Contenido de nitratos en suelo del ensayo con manejos alternativos de trébol de olor blanco incorporado como abono verde en diciembre año 0 (2010)

Tratamientos	Noviembre año 1	Noviembre año 2
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (ppm)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (ppm)
Test	38,0 <sup>a</sup>	17,7 <sup>b</sup>
TreRem	39,0 <sup>a</sup>	26,0 <sup>b</sup>
TrePIEnt	44,0 <sup>a</sup>	47,4 <sup>a</sup>

En la misma columna, letras distintas indican diferencias significativas (p<0,05). Test: testigo sin incorporación de trébol de olor blanco al suelo; TreRem: incorporación de remanente de trébol de olor blanco y centeno; TrePIEnt: incorporación de planta entera de trébol de olor blanco y remanente de centeno; NO<sub>3</sub><sup>-</sup>: nitratos; ppm: partes por millón

**3.1.1.2 Contenido de Materia Orgánica**

En marzo del año 0 se realizó en el ensayo se muestreó en los primeros 20 cm de profundidad del área destinada al estudio para determinar el valor promedio de % MO. Este valor medio fue de 2,33 %. En Noviembre del año 1 (Tabla 3.2) se muestreó para determinar las fracciones de MO. Sólo se observaron diferencias significativas en MOv a favor del tratamiento TrePIEnt con respecto a TreRem y Test.

Tabla 3.2. Contenido de materia orgánica y sus fracciones en suelo, en noviembre del año 1, del ensayo con manejos alternativos de trébol de olor blanco incorporado como abono verde en diciembre año 0 (2010)

Tratamientos	MOj (%)	MOv (%)	MOT (%)
Test	0,75 <sup>a</sup>	1,35 <sup>b</sup>	2,10 <sup>a</sup>
TreRem	0,77 <sup>a</sup>	1,36 <sup>b</sup>	2,13 <sup>a</sup>
TrePIEnt	0,76 <sup>a</sup>	1,61 <sup>a</sup>	2,37 <sup>a</sup>

En la misma columna, letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). Test: testigo sin incorporación de trébol de olor blanco al suelo; TreRem: incorporación de remanente de trébol de olor blanco y centeno; TrePIEnt: incorporación de planta entera de trébol de olor blanco y remanente de centeno; MOj: materia orgánica joven; MOv: materia orgánica vieja; MOT: materia orgánica total

Al finalizar el año 2 (noviembre 2012) se analizaron nuevamente la MOT y sus fracciones MOv y MOj (Tabla 3.3). Sólo se observó una diferencia significativa en MOv a favor del tratamiento TrePIEnt con respecto a TreRem y Test.

Tabla 3.3. Contenido de materia orgánica y sus fracciones en suelo, en noviembre del año 2, del ensayo con manejos alternativos de trébol de olor blanco incorporado como abono verde en diciembre año 0 (2010)

Tratamientos	MOj (%)	MOv (%)	MOT (%)
Test	0,67 <sup>a</sup>	1,49 <sup>b</sup>	2,15 <sup>a</sup>
TreRem	0,63 <sup>a</sup>	1,51 <sup>b</sup>	2,33 <sup>a</sup>
TrePIEnt	0,73 <sup>a</sup>	1,70 <sup>a</sup>	2,24 <sup>a</sup>

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). Test: testigo sin incorporación de trébol de olor blanco al suelo; TreRem: incorporación de remanente de trébol de olor blanco y centeno; TrePIEnt: incorporación de planta entera de trébol de olor blanco y remanente de centeno; MOj: materia orgánica joven; MOv: materia orgánica vieja; MOT: materia orgánica total

### 3.1.2 Determinaciones en planta

#### 3.1.2.1 Producción de forraje de centeno en el primer año

En el año 1 se realizaron tres cortes de centeno. Durante el primer corte se ve diferencia significativa aumento en más de un 150 % a favor del tratamiento TrePIEnt, en el segundo corte no se observan diferencias significativas. En el 3er corte la producción de MS tuvo una diferencia significativa entre Test y TreRem. La producción total anual del centeno no difirió entre ninguno de los tratamientos (Tabla 3.4), aunque existió una tendencia ( $p < 0,10$ ) de mayor producción en los tratamiento con trébol de olor blanco con respecto al testigo, diferenciándose el tratamiento TrePIEnt del Test.

Tabla 3.4. Producción de forraje de centeno en año 1 (2011) luego de la aplicación de manejos alternativos de trébol de olor blanco como abono verde incorporado en diciembre del 2010

Tratamientos	Producción de forraje			Total año 1 t MS ha <sup>-1</sup>
	1° corte t MS ha <sup>-1</sup>	2° corte t MS ha <sup>-1</sup>	3° corte t MS ha <sup>-1</sup>	
Test	0,21 <sup>b</sup>	0,74 <sup>a</sup>	1,60 <sup>a</sup>	2,63 <sup>a</sup>
TreRem	0,29 <sup>b</sup>	0,74 <sup>a</sup>	2,02 <sup>b</sup>	2,97 <sup>a</sup>
TrePIEnt	0,73 <sup>a</sup>	0,70 <sup>a</sup>	1,86 <sup>ab</sup>	3,25 <sup>a</sup>

En la misma columna, letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). Test: testigo sin incorporación de trébol de olor blanco al suelo; TreRem: incorporación de remanente de trébol de olor blanco y centeno; TrePIEnt: incorporación de planta entera de trébol de olor blanco y remanente de centeno; t MS ha<sup>-1</sup>: tonelada de materia seca por hectárea

Durante el año 1 no se vieron diferencias significativas entre los valores de proteína del cultivo de centeno entre los tratamientos para ninguno de los cortes realizados (Tabla 3.5).

Tabla 3.5. Contenido de proteína de centeno en año 1 (2011) luego de la aplicación de manejos alternativos de trébol de olor blanco como abono verde incorporado en diciembre del 2010

Tratamientos	1° corte	2° corte	3° corte
	PB (%)	PB (%)	PB (%)
Testigo	23,1 <sup>a</sup>	14,6 <sup>a</sup>	10,7 <sup>a</sup>
TreRem	23,0 <sup>a</sup>	16,5 <sup>a</sup>	11,0 <sup>a</sup>
TrePIEnt	22,0 <sup>a</sup>	16,3 <sup>a</sup>	11,4 <sup>a</sup>

En la misma columna, letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). Test: testigo sin incorporación de trébol de olor blanco al suelo; TreRem: incorporación de remanente de trébol de olor blanco y centeno; TrePIEnt: incorporación de planta entera de trébol de olor blanco y remanente de centeno; PB: proteína bruta

Tomando en cuenta la producción de MS y su contenido de PB se calculó el total de PB por hectárea producida por el centeno (Tabla 3.6). En el primer corte del año 1 se vieron diferencias en un valor mayor en un 130% entre el tratamiento TrePIEnt y los tratamientos Test y TrePIEnt. En el segundo corte no hubo diferencias significativas entre ninguno de los tratamientos. En el tercer corte se vieron diferencias significativas entre TrePIEnt y TreRem y el tratamiento Test, con una diferencia de casi 40 kg. En el total anual, el tratamiento TrePIEnt fue superior en casi un 40 % al tratamiento Test.

Tabla 3.6. Producción de proteína de centeno en año 1 (2011) luego de la aplicación de manejos alternativos de trébol de olor blanco como abono verde incorporado en diciembre del 2010

Tratamientos	1° corte. kg PB ha <sup>-1</sup>	2° corte kg PB ha <sup>-1</sup>	3° corte kg PB ha <sup>-1</sup>	Total kg PB ha <sup>-1</sup>
Testigo	66,7 <sup>b</sup>	110,7 <sup>a</sup>	171,7 <sup>b</sup>	349 <sup>b</sup>
TreRem	48,7 <sup>b</sup>	127,6 <sup>a</sup>	221,5 <sup>a</sup>	398 <sup>ab</sup>
TrePIEnt	152,9 <sup>a</sup>	118,1 <sup>a</sup>	211,5 <sup>a</sup>	483 <sup>a</sup>

En la misma columna, letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). Test: testigo sin incorporación de trébol de olor blanco al suelo; TreRem: incorporación de remanente de trébol de olor blanco y centeno; TrePIEnt: incorporación de planta entera de trébol de olor blanco y remanente de centeno; kg PB ha<sup>-1</sup>: kilogramos de proteína bruta por hectárea

### 3.1.2.2 Producción de forraje de centeno en el segundo año

Durante del año 2 se midió la producción de MS del centeno sólo en el corte inicial, no observando diferencias significativas entre los tratamientos (Tabla 3.7).

Tabla 3.7. Producción de forraje de centeno en año 2 (2012) luego de la aplicación de manejos alternativos de trébol de olor blanco como abono verde incorporado en diciembre del 2010

Tratamientos	Producción de forraje
	1° corte t MS ha <sup>-1</sup>
Test	1,1 <sup>a</sup>
TreRem	1,1 <sup>a</sup>
TrePIEnt	0,9 <sup>a</sup>

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). Test: testigo sin incorporación de trébol de olor blanco al suelo; TreRem: incorporación de remanente de trébol de olor blanco y centeno; TrePIEnt: incorporación de planta entera de trébol de olor blanco y remanente de centeno, t MS ha<sup>-1</sup>: tonelada de materia seca por hectárea

En el año 2 (Tabla 3.8) se ven los datos de PB donde en el 1° corte se vieron diferencias entre los 3 tratamientos con 2 puntos de diferencia en PB entre el tratamiento Test y TrePIEnt, y en el 2° corte las diferencias fueron entre TrePIEnt y Testigo, con 3 puntos de PB de diferencia.

Tabla 3.8. Contenido de proteína de centeno en año 2 (2012) luego de la aplicación de manejos alternativos de trébol de olor blanco como abono verde incorporado en diciembre del 2010

Tratamientos	1° corte PB (%)	2° corte PB (%)
Testigo	22,0 <sup>c</sup>	13,5 <sup>b</sup>
TreRem	23,8 <sup>b</sup>	15,7 <sup>ab</sup>
TrePIEnt	24,7 <sup>a</sup>	16,6 <sup>a</sup>

En la misma columna, letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). Test: testigo sin incorporación de trébol de olor blanco al suelo; TreRem: incorporación de remanente de trébol de olor blanco y centeno; TrePIEnt: incorporación de planta entera de trébol de olor blanco y remanente de centeno; PB: proteína bruta

Tomando en cuenta la producción de MS y su contenido de PB se calculó el total de PB por hectárea producida por el centeno para el año 2 (Tablas 3.9). En el 1er corte no se vieron diferencias significativas.

Tabla 3.9. Producción de proteína bruta de centeno en año 2 (2012) luego de la aplicación de manejos alternativos de trébol de olor blanco como abono verde incorporado en diciembre del 2010

Tratamientos	1° corte kg PB ha <sup>-1</sup>
Testigo	240 <sup>a</sup>
TreRem	264 <sup>a</sup>
TrePIEnt	257 <sup>a</sup>

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). Test: testigo sin incorporación de trébol de olor blanco al suelo; TreRem: incorporación de remanente de trébol de olor blanco y centeno; TrePIEnt: incorporación de planta entera de trébol de olor blanco y remanente de centeno; kg PB ha<sup>-1</sup>: kilogramos de proteína bruta por hectárea

## 3.2 Ensayo 2

### 3.2.1 Determinaciones en suelo

#### 3.2.1.1 Contenido de nitratos

En marzo del año 0 del ensayo el suelo contaba con 38,0 ppm de nitratos. En noviembre del año 1 se muestreó para determinar el contenido de nitratos en los primeros 20 cm de profundidad. La Tabla 3.10 muestra una diferencia significativa entre el tratamiento ViPIEnt con un valor 3 veces superior al Test.

Tabla 3.10. Contenido de nitratos en suelo bajo diferentes modalidades de incorporación de vicia como abono verde

Tratamientos	Noviembre del año 1 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (ppm)
Test	17,7 <sup>b</sup>
ViRem	34,4 <sup>ab</sup>
ViPIEnt	53,8 <sup>a</sup>

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). Test: testigo sin incorporación de vicia al suelo; ViRem: incorporación de remanente de vicia y centeno, ViPIEnt: incorporación de planta entera vicia; NO<sub>3</sub><sup>-</sup>: nitratos; ppm: partes por millón

### 3.2.1.2 Contenido de Materia Orgánica

Al comienzo del ensayo se realizó un muestreo en los primeros 20 cm de profundidad del área destinada al estudio para determinar el valor promedio de % MO. Este valor medio fue de 2,46 %.

En noviembre del año 1 se analizaron las fracciones de la MO (Tabla 3.11). No se detectaron diferencias significativas en ninguna de las fracciones de MO.

Tabla 3.11. Contenido de materia orgánica y sus fracciones en suelo, en noviembre del año 1, del ensayo con manejos alternativos de vicia incorporada como abono verde en diciembre año 0 (2011)

Tratamientos	MOj (%)	MOv (%)	MOT (%)
Test	0,67 <sup>a</sup>	1,49 <sup>a</sup>	2,15 <sup>a</sup>
ViRem	0,69 <sup>a</sup>	1,48 <sup>a</sup>	2,17 <sup>a</sup>
ViPIEnt	0,69 <sup>a</sup>	1,55 <sup>a</sup>	2,24 <sup>a</sup>

En la misma columna, letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). Test: testigo sin incorporación de vicia al suelo; ViRem: incorporación de remanente de vicia y centeno, ViPIEnt: incorporación de planta entera de vicia; MOj: materia orgánica joven; MOv: materia orgánica vieja; MOT: materia orgánica total

## 3.2.2 Determinaciones en planta

### 3.2.2.1 Producción de forraje de centeno

En el año 1 se realizó un corte en el cultivo de centeno. En este corte se observó un incremento significativo, casi un 50% más, a favor del tratamiento ViPIEnt con respecto al Test (Tabla 3.12).

Tabla 3.12. Producción de forraje de centeno en año 1 (2012) luego de la aplicación de manejos alternativos de vicia como abono verde incorporado en diciembre del 2011

Tratamientos	Producción de forraje
	1° corte t MS ha <sup>-1</sup>
Test	1,09 <sup>b</sup>
ViRem	1,44 <sup>ab</sup>
ViPIEnt	1,61 <sup>a</sup>

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). Test: testigo sin incorporación de vicia al suelo; ViRem: incorporación de remanente de vicia y centeno, ViPIEnt: incorporación de planta entera de vicia; t MS ha<sup>-1</sup>: tonelada de materia seca por hectárea

### 3.2.2.2 Contenido de proteína en Centeno

Durante el año 1 (Tabla 3.13) no se vieron diferencias significativas en los valores de % PB entre ninguno de los tratamientos para ninguno de los cortes realizados.

Tabla 3.13. Contenido de proteína de centeno en año 1 (2012) luego de la aplicación de manejos alternativos de vicia como abono verde incorporado en diciembre del 2011

Tratamientos	1° corte	2° corte
	PB (%)	PB (%)
Testigo	23,1 <sup>a</sup>	14,6 <sup>a</sup>
ViRem	22,7 <sup>a</sup>	15,2 <sup>a</sup>
ViPIEnt	25,4 <sup>a</sup>	13,5 <sup>a</sup>

En la misma columna, letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). Test: testigo sin incorporación de vicia al suelo; ViRem: incorporación de remanente de vicia y centeno, ViPIEnt: incorporación de planta entera de vicia; PB: proteína bruta

Tomando en cuenta la producción de MS y su contenido de PB se calculó el total de PB producida por el centeno (Tabla 3.14). En el primer corte del año 1 se vieron diferencias entre el tratamiento Test, con valores menores en un 70% con respecto al tratamiento ViPIEnt y casi un 40% con respecto a ViRem.

Tabla 3.14. Producción de proteína bruta de centeno en año 1 (2012) luego de la aplicación de manejos alternativos de vicia como abono verde incorporado en diciembre del 2011

Tratamientos	1° corte kg PB ha <sup>-1</sup>
Testigo	240 <sup>b</sup>
ViRem	329 <sup>a</sup>
ViPIEnt	406 <sup>a</sup>

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). Test: testigo sin incorporación de vicia al suelo; ViRem: incorporación de remanente de vicia y centeno, ViPIEnt: incorporación de planta entera de vicia; kg PB ha<sup>-1</sup>: kilogramos de proteína bruta por hectárea

### 3.3 Ensayo 3

#### 3.3.1 Determinaciones en suelo

##### 3.3.1.1 Contenido de nitratos

En noviembre 2009 (año 0) el suelo del ensayo contaba con 49,0 ppm de nitratos. Al finalizar el año 2 (noviembre 2011), el nivel detectado fue muy bajo (promedio de 10,20 ppm), y sólo se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos Vi-baja y Tre-baja (Tabla 3.15).

Tabla 3.15. Contenido residual de nitratos en suelo luego de 2 ciclos de centeno después de haber incorporado diferentes cantidades de fitomasa aérea de dos especies de leguminosas como abono verde

Tratamientos	final NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (ppm)
Testigo	8,43 <sup>ab</sup>
Vi-baja	8,34 <sup>b</sup>
Vi-media	9,84 <sup>ab</sup>
Vi-alta	11,35 <sup>ab</sup>
Tre-baja	12,52 <sup>a</sup>
Tre-media	11,58 <sup>ab</sup>
Tre-alta	9,31 <sup>ab</sup>

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). Testigo: testigo sin incorporación de abono verde al suelo; Vi-baja, Vi-media y Vi-alta: incorporación de forraje de vicia (800, 2150, y 3500 kg MS ha<sup>-1</sup>); Tre-baja, Tre-media y Tre-alta: incorporación de forraje de Trébol de olor blanco (800, 2400, y 4000 kg MS ha<sup>-1</sup>); NO<sub>3</sub><sup>-</sup>: nitratos; ppm: partes por millón

### 3.3.1.2 Contenido de Materia Orgánica

En noviembre de 2009 se realizó un muestreo al comienzo del ensayo donde se determinó MOt dando un valor de 2,50 %.

En noviembre 2011 se determinó contenido de MO y sus fracciones (Tabla 3.16). Se vieron diferencias significativas en MOj que no se sostuvieron en MOt.

Tabla 3.16. Contenido residual de materia orgánica y sus fracciones en suelo luego de 2 ciclos de centeno donde se realizó la incorporación de diferentes cantidades de fitomasa aérea de dos especies de leguminosas como abono verde en noviembre 2011

Tratamientos	MOj (%)	MOv (%)	MOt (%)
Testigo	0,71 <sup>b</sup>	1,67 <sup>ab</sup>	2,38 <sup>a</sup>
Vi-baja	0,89 <sup>a</sup>	1,58 <sup>ab</sup>	2,47 <sup>a</sup>
Vi-media	0,67 <sup>b</sup>	1,81 <sup>a</sup>	2,47 <sup>a</sup>
Vi-alta	0,74 <sup>ab</sup>	1,78 <sup>a</sup>	2,51 <sup>a</sup>
Tre-baja	0,76 <sup>ab</sup>	1,65 <sup>ab</sup>	2,41 <sup>a</sup>
Tre-media	0,64 <sup>b</sup>	1,17 <sup>b</sup>	1,81 <sup>b</sup>
Tre-alta	0,77 <sup>ab</sup>	1,55 <sup>ab</sup>	2,32 <sup>ab</sup>

En la misma columna, letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). Testigo: testigo sin incorporación de abono verde al suelo; Vi-baja, Vi-media y Vi-alta: incorporación de forraje de vicia (800, 2150, y 3500 kg MS ha<sup>-1</sup>); Tre-baja, Tre-media y Tre-alta: incorporación de forraje de Trébol de olor blanco (800, 2400, y 4000 kg MS ha<sup>-1</sup>); MOj: materia orgánica joven; MOv: materia orgánica vieja; MOt: materia orgánica total

### 3.3.2 Determinaciones en planta

#### 3.3.2.1 Producción de forraje de centeno en el primer año

En el primer corte del año 1 (Tabla 3.17) Vi-alta tuvo la mayor producción. En el segundo corte no se vieron diferencias significativas entre los tratamientos. En el tercer corte se observó una diferencia significativa sólo entre los tratamientos Tre-media y Vi-media. En la producción total de este año 1 no hubo diferencias significativas entre los tratamientos.

Tabla 3.17. Producción de forraje de centeno en año 1 (2010) luego de incorporar como abono verde en el año 0 (diciembre 2009) diferentes cantidades de dos leguminosas

Tratamientos	Producción de forraje			Total año 1 t MS ha <sup>-1</sup>
	1° corte t MS ha <sup>-1</sup>	2° corte t MS ha <sup>-1</sup>	3° corte t MS ha <sup>-1</sup>	
Testigo	2,60 <sup>ab</sup>	2,02 <sup>a</sup>	1,12 <sup>ab</sup>	5,75 <sup>a</sup>
Vi-baja	2,18 <sup>b</sup>	2,03 <sup>a</sup>	1,12 <sup>ab</sup>	5,33 <sup>a</sup>
Vi-media	2,31 <sup>b</sup>	2,05 <sup>a</sup>	0,99 <sup>b</sup>	5,34 <sup>a</sup>
Vi-alta	2,96 <sup>a</sup>	1,76 <sup>a</sup>	1,10 <sup>ab</sup>	5,81 <sup>a</sup>
Tre-baja	2,13 <sup>b</sup>	1,79 <sup>a</sup>	1,11 <sup>ab</sup>	5,02 <sup>a</sup>
Tre-media	2,23 <sup>b</sup>	2,81 <sup>a</sup>	1,25 <sup>a</sup>	6,29 <sup>a</sup>
Tre-alta	2,32 <sup>b</sup>	2,09 <sup>a</sup>	1,10 <sup>ab</sup>	5,48 <sup>a</sup>

En la misma columna, letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). Testigo: testigo sin incorporación de abono verde al suelo; Vi-baja, Vi-media y Vi-alta: incorporación de forraje de vicia (800, 2150, y 3500 kg MS ha<sup>-1</sup>); Tre-baja, Tre-media y Tre-alta: incorporación de forraje de Trébol de olor blanco (800, 2400, y 4000 kg MS ha<sup>-1</sup>); t MS ha<sup>-1</sup>: tonelada de materia seca por hectárea

Paralelamente durante el año 2010 se midió la producción de centeno (donde se realizaron 3 cortes) en el ensayo adyacente denominado “Equivalente N”. No se observaron diferencias significativas entre los tratamientos, salvo entre los tratamientos fertilizados con 60 y 80 kg de N por hectárea, con una diferencia de 1,3 t MS ha<sup>-1</sup> (Tabla 3.18).

Tabla 3.18. Producción de forraje en 2010 de centeno fertilizado con diferentes dosis de N

Dosis de fertilizante kg N ha <sup>-1</sup>	Producción de forraje t MS ha <sup>-1</sup>
0	6,15 <sup>ab</sup>
40	6,36 <sup>ab</sup>
60	6,92 <sup>a</sup>
80	5,67 <sup>b</sup>
100	6,02 <sup>ab</sup>
120	6,48 <sup>ab</sup>

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). kg N ha<sup>-1</sup>: kilogramos de nitrógeno por hectárea; t MS ha<sup>-1</sup>: tonelada de materia seca por hectárea

En la Tabla 3.19 se muestra el contenido de proteína en centeno en cada corte. No se encontraron diferencias significativas en el contenido de PB entre los tratamientos para ningunos de los 3 cortes evaluados del año 1.

Tabla 3.19. Contenido de proteína de centeno en año 1 (2010) luego de incorporar como abono verde en el año 0 (diciembre 2009) diferentes cantidades de dos leguminosas

Tratamientos	1° corte PB (%)	2° corte PB (%)	3° corte PB (%)
Testigo	20,7 <sup>a</sup>	16,9 <sup>a</sup>	16,0 <sup>a</sup>
Vi-baja	21,6 <sup>a</sup>	17,4 <sup>a</sup>	15,8 <sup>a</sup>
Vi-media	21,9 <sup>a</sup>	16,9 <sup>a</sup>	15,5 <sup>a</sup>
Vi-alta	21,0 <sup>a</sup>	18,0 <sup>a</sup>	16,1 <sup>a</sup>
Tre-baja	21,9 <sup>a</sup>	18,0 <sup>a</sup>	16,2 <sup>a</sup>
Tre-media	20,0 <sup>a</sup>	18,3 <sup>a</sup>	16,5 <sup>a</sup>
Tre-alta	22,0 <sup>a</sup>	18,4 <sup>a</sup>	15,5 <sup>a</sup>

En la misma columna, letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). Testigo: testigo sin incorporación de abono verde al suelo; Vi-baja, Vi-media y Vi-alta: incorporación de forraje de vicia (800, 2150, y 3500 kg MS ha<sup>-1</sup>); Tre-baja, Tre-media y Tre-alta: incorporación de forraje de Trébol de olor blanco (800, 2400, y 4000 kg MS ha<sup>-1</sup>); PB: proteína bruta

En el ensayo paralelo “Equivalente N” se realizaron también los análisis de PB para cada corte en el año 1 de evaluación (Tabla 3.20). Sólo se vieron diferencias significativas en el segundo corte sólo se observó diferencia significativa de 3 puntos de PB entre el tratamiento fertilizado con 60 kg N ha<sup>-1</sup> con el tratamiento fertilizado con 100 kg N ha<sup>-1</sup> y en el tercer corte las diferencias significativas de menos de 1 punto de PB se observaron entre los tratamientos fertilizado con 80 y 120 kg N ha<sup>-1</sup>.

Tabla 3.20. Contenido de proteína en centeno en 2010 fertilizado con diferentes dosis de nitrógeno

Tratamientos kg N ha <sup>-1</sup>	1° corte PB (%)	2° corte PB (%)	3° corte PB (%)
0	25,6 <sup>a</sup>	24,1 <sup>ab</sup>	14,4 <sup>ab</sup>
40	26,9 <sup>a</sup>	24,3 <sup>ab</sup>	15,0 <sup>ab</sup>
60	26,0 <sup>a</sup>	26,1 <sup>a</sup>	14,6 <sup>ab</sup>
80	26,2 <sup>a</sup>	25,2 <sup>ab</sup>	14,2 <sup>b</sup>
100	26,7 <sup>a</sup>	23,4 <sup>b</sup>	15,2 <sup>ab</sup>
120	26,0 <sup>a</sup>	24,3 <sup>ab</sup>	15,3 <sup>a</sup>

En la misma columna, letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). kg N ha<sup>-1</sup>: kilogramos de nitrógeno por hectárea; PB: proteína bruta

En el ensayo de abono verde, tomando en cuenta la producción de MS y su contenido de PB se calculó el total de PB producida por hectárea por el centeno (Tabla 3.21). En el primer corte del año 1 el mayor valor se observó en el tratamiento Vi-alta con diferencias significativas con los tratamientos Vi-baja (con una diferencia de 87 kg de PB a favor del tratamiento con Vicia con respecto al tratamiento Test), Tre-baja y Tre-media

(quienes presentaron valores inferiores al tratamiento Test). En el segundo corte no se presentan diferencias significativas entre los tratamientos. En el tercer corte sólo el tratamiento Tre-media se diferenció significativamente del tratamiento Vi-media. En el total anual no hubo diferencias significativas entre los tratamientos.

Tabla 3.21. Producción de proteína bruta de centeno en año 1 (2010) luego de incorporar como abono verde en el año 0 (diciembre 2009) diferentes cantidades de dos leguminosas

Tratamientos	1° corte kg PB ha <sup>-1</sup>	2° corte kg PB ha <sup>-1</sup>	3° corte kg PB ha <sup>-1</sup>	Total Año 1 Kg PB ha <sup>-1</sup>
Testigo	536 <sup>ab</sup>	342 <sup>a</sup>	179 <sup>ab</sup>	1057 <sup>a</sup>
Vi-baja	472 <sup>b</sup>	352 <sup>a</sup>	177 <sup>ab</sup>	1002 <sup>a</sup>
Vi-media	509 <sup>ab</sup>	355 <sup>a</sup>	155 <sup>b</sup>	1019 <sup>a</sup>
Vi-alta	623 <sup>a</sup>	319 <sup>a</sup>	177 <sup>ab</sup>	1119 <sup>a</sup>
Tre-baja	471 <sup>b</sup>	328 <sup>a</sup>	179 <sup>ab</sup>	979 <sup>a</sup>
Tre-media	441 <sup>b</sup>	525 <sup>a</sup>	206 <sup>a</sup>	1172 <sup>a</sup>
Tre-alta	508 <sup>ab</sup>	388 <sup>a</sup>	170 <sup>ab</sup>	1066 <sup>a</sup>

En la misma columna, letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). Testigo: testigo sin incorporación de abono verde al suelo; Vi-baja, Vi-media y Vi-alta: incorporación de forraje de vicia (800, 2150, y 3500 kg MS ha<sup>-1</sup>); Tre-baja, Tre-media y Tre-alta: incorporación de forraje de Trébol de olor blanco (800, 2400, y 4000 kg MS ha<sup>-1</sup>); kg PB ha<sup>-1</sup>: kilogramo de proteína bruta por hectárea

En cambio en el mismo año en el ensayo adyacente “Equivalente N” (Tabla 3.22) se observaron diferencias significativas entre el tratamiento fertilizado con 60 kg N ha<sup>-1</sup> y los tratamientos fertilizados con 0, 80 y 100 kg N ha<sup>-1</sup>, con diferencia entre tratamiento de 266 kg de PB.

Tabla 3.22. Producción de proteína bruta en 2010 de centeno fertilizado con diferentes dosis de nitrógeno

Tratamientos kg N ha <sup>-1</sup>	Total kg PB ha <sup>-1</sup>
0	1281 <sup>b</sup>
40	1344 <sup>ab</sup>
60	1482 <sup>a</sup>
80	1200 <sup>b</sup>
100	1266 <sup>b</sup>
120	1348 <sup>ab</sup>

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). kg N ha<sup>-1</sup>: kilogramos de nitrógeno por hectárea; kg PB ha<sup>-1</sup>: kilogramos de proteína bruta por hectárea

### 3.3.2.2 Producción de forraje de centeno en el segundo año

En el año 2 del ensayo con incorporación de abono verde (Tabla 3.23) sólo en el primer corte el tratamiento Testigo presentó un menor valor de producción del orden de los 300 kg MS diferenciándose estadísticamente de los tratamientos Vi-alta y Tre-alta.

Tabla 3.23. Producción de forraje de centeno en año 2 (2011) luego de incorporar como abono verde en el año 0 (diciembre 2009) diferentes cantidades de dos leguminosas

Tratamientos	Producción de forraje		
	1° corte t MS ha <sup>-1</sup>	2° corte t MS ha <sup>-1</sup>	Total año 2 t MS ha <sup>-1</sup>
Testigo	0,91 <sup>b</sup>	2,27 <sup>a</sup>	3,18 <sup>a</sup>
Vi-baja	1,32 <sup>ab</sup>	2,50 <sup>a</sup>	3,81 <sup>a</sup>
Vi-media	1,22 <sup>ab</sup>	2,76 <sup>a</sup>	3,98 <sup>a</sup>
Vi-alta	1,43 <sup>a</sup>	2,10 <sup>a</sup>	3,53 <sup>a</sup>
Tre-baja	1,38 <sup>ab</sup>	2,57 <sup>a</sup>	3,94 <sup>a</sup>
Tre-media	1,40 <sup>ab</sup>	2,33 <sup>a</sup>	3,73 <sup>a</sup>
Tre-alta	1,54 <sup>a</sup>	2,81 <sup>a</sup>	4,34 <sup>a</sup>

En la misma columna, letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). Testigo: testigo sin incorporación de abono verde al suelo; Vi-baja, Vi-media y Vi-alta: incorporación de forraje de vicia (800, 2150, y 3500 kg MS ha<sup>-1</sup>); Tre-baja, Tre-media y Tre-alta: incorporación de forraje de Trébol de olor blanco (800, 2400, y 4000 kg MS ha<sup>-1</sup>); t MS ha<sup>-1</sup>: tonelada de materia seca por hectárea

En el ensayo adyacente de “Equivalente N” en el año 2, donde se realizaron 2 cortes (Tabla 3.24), la producción de MS de centeno no tuvo diferencias significativas entre las dosis de fertilización.

Tabla 3.24. Producción de forraje de centeno en 2011 fertilizado con diferentes dosis de nitrógeno

Tratamientos kg N ha <sup>-1</sup>	Total t MS ha <sup>-1</sup>
0	5,11 <sup>a</sup>
40	4,60 <sup>a</sup>
60	4,98 <sup>a</sup>
80	5,03 <sup>a</sup>
100	4,79 <sup>a</sup>
120	4,68 <sup>a</sup>

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ )  
kg N ha<sup>-1</sup>: kilogramos de nitrógeno por hectárea; t MS ha<sup>-1</sup>:  
tonelada de materia seca por hectárea

En el ensayo de abono verde en el año 2 (Tabla 3.25), en el primer corte, únicamente el tratamiento Tre-media mostró diferencia significativa 3,3 puntos superior con respecto al testigo. En el segundo corte no se vieron diferencias significativas.

Tabla 3.25. Contenido de proteína de centeno en año 2 (2011) luego de incorporar como abono verde en el año 0 (diciembre 2009) diferentes cantidades de dos leguminosas

Tratamientos	1° corte PB (%)	2° corte PB (%)
Testigo	17,3 <sup>b</sup>	7,5 <sup>a</sup>
Vi-baja	18,8 <sup>ab</sup>	8,1 <sup>a</sup>
Vi-media	18,3 <sup>ab</sup>	9,0 <sup>a</sup>
Vi-alta	19,1 <sup>ab</sup>	7,3 <sup>a</sup>
Tre-baja	19,0 <sup>ab</sup>	8,4 <sup>a</sup>
Tre-media	21,6 <sup>a</sup>	8,3 <sup>a</sup>
Tre-alta	20,4 <sup>ab</sup>	7,2 <sup>a</sup>

En la misma columna, letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). Testigo: testigo sin incorporación de abono verde al suelo; Vi-baja, Vi-media y Vi-alta: incorporación de forraje de vicia (800, 2150, y 3500 kg MS ha<sup>-1</sup>); Tre-baja, Tre-media y Tre-alta: incorporación de forraje de Trébol de olor blanco (800, 2400, y 4000 kg MS ha<sup>-1</sup>); PB: proteína bruta

En el año 2, para el ensayo “Equivalente N” (Tabla 3.26) en ningún corte se vieron diferencias significativas de % PB entre los tratamientos.

Tabla 3.26. Contenido de proteína en centeno en 2011 fertilizado con diferentes dosis de nitrógeno

Tratamientos kg N ha <sup>-1</sup>	1° corte %PB	2° corte %PB
0	23,5 <sup>a</sup>	10,0 <sup>a</sup>
40	21,9 <sup>a</sup>	11,3 <sup>a</sup>
60	23,5 <sup>a</sup>	10,6 <sup>a</sup>
80	24,2 <sup>a</sup>	10,6 <sup>a</sup>
100	22,7 <sup>a</sup>	10,0 <sup>a</sup>
120	22,7 <sup>a</sup>	10,8 <sup>a</sup>

En la misma columna, letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). kg N ha<sup>-1</sup>: kilogramos de nitrógeno por hectárea; PB: proteína bruta

En el ensayo de abono verde en el año 2 tomando en cuenta la producción de MS y su contenido de PB se calculó el total de PB producida por hectárea por el centeno (Tabla 3.27). No se observaron diferencias significativas entre los tratamientos en ninguno de los cortes, ni en la suma total anual.

Tabla 3.27. Producción de proteína bruta de centeno en año 2 (2011) luego de incorporar como abono verde en el año 0 (diciembre 2009) diferentes cantidades de dos leguminosas

Tratamientos	1° corte. PB (kg ha <sup>-1</sup> )	2° corte PB (kg ha <sup>-1</sup> )	Total año 2 PB (kg ha <sup>-1</sup> )
Testigo	571 <sup>a</sup>	244 <sup>a</sup>	816 <sup>a</sup>
Vi-baja	740 <sup>a</sup>	313 <sup>a</sup>	1053 <sup>a</sup>
Vi-media	757 <sup>a</sup>	386 <sup>a</sup>	1143 <sup>a</sup>
Vi-alta	675 <sup>a</sup>	258 <sup>a</sup>	933 <sup>a</sup>
Tre-baja	735 <sup>a</sup>	347 <sup>a</sup>	1083 <sup>a</sup>
Tre-media	813 <sup>a</sup>	323 <sup>a</sup>	1135 <sup>a</sup>
Tre-alta	879 <sup>a</sup>	312 <sup>a</sup>	1192 <sup>a</sup>

En la misma columna, letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). Testigo: testigo sin incorporación de abono verde al suelo; Vi-baja, Vi-media y Vi-alta: incorporación de forraje de vicia (800, 2150, y 3500 kg MS ha<sup>-1</sup>); Tre-baja, Tre-media y Tre-alta: incorporación de forraje de Trébol de olor blanco (800, 2400, y 4000 kg MS ha<sup>-1</sup>); kg PB ha<sup>-1</sup>: kilogramo de proteína bruta por hectárea

En el año 2 para el ensayo equivalente N no se vieron diferencias entre tratamientos en los valores de producción de PB (Tabla 3.28).

Tabla 3.28. Producción de proteína bruta de centeno en 2011 fertilizado con diferentes dosis de nitrógeno

Tratamientos kg N ha <sup>-1</sup>	Total 2° Año kg PB ha <sup>-1</sup>
0	875 <sup>a</sup>
40	815 <sup>a</sup>
60	875 <sup>a</sup>
80	923 <sup>a</sup>
100	816 <sup>a</sup>
120	822 <sup>a</sup>

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). kg N ha<sup>-1</sup>: kilogramos de nitrógeno por hectárea; kg PB ha<sup>-1</sup>: kilogramos de proteína bruta por hectárea

### DISCUSIÓN

#### 4.1 Efectos del abono verde sobre el contenido de nitratos y MO del suelo

En los ensayos 1 y 2 en diciembre del año 0 se incorporó al suelo como abono verde el forraje de los tratamientos TrePIEnt y ViPIEnt. En promedio, para vicia se incorporaron 2,33 t MS ha<sup>-1</sup> con 13,05 % PB, lo que fue equivalente a 48,7 kg N ha<sup>-1</sup>, y para trébol de olor blanco se incorporaron en promedio 1,92 t MS ha<sup>-1</sup> con 22,5 % PB, equivalente a 69 kg N ha<sup>-1</sup>. Al finalizar los ensayos, luego de 1 o 2 años de cultivos extractivos sin fertilizar (Tablas 3.1 y 3.10), se observaron diferencias significativas en la cantidad residual de nitratos disponibles a favor de los tratamientos con incorporación de trébol de olor blanco y vicia como abono verde, salvo para trébol en el Año 1 en el que sólo se detectó una tendencia ( $p < 0,10$ ) a favor del tratamiento TrePIEnt. Los resultados de los Ensayos 1 y 2 concuerdan con los encontrados por Agamennoni y Vanzolini (2006) y Valdivieso y Espinoza (1995) quienes luego de utilizar vicia como abono verde encontraron incrementos en el N disponible. En nuestros resultados el nivel de nitratos obtenidos con la incorporación de planta entera como abono verde superó en casi 3 veces al obtenido en tratamiento testigo.

En el Ensayo 3, pese a haber incorporado cantidades crecientes de abono verde (entre 23,04 y 115,2 kg N ha<sup>-1</sup> y entre 28,16 kg N ha<sup>-1</sup> 123,2 kg N ha para vicia y trébol de olor blanco respectivamente), las mismas no se vieron reflejadas posteriormente en el contenido residual de nitratos (Tabla 3.15).

Estas inconsistencias en las respuestas obtenidas en los diferentes ensayos podrían deberse a diferencias en las condiciones ambientales en las que se llevaron a cabo y a diferencias en el proceso de descomposición del material incorporado, lo que está influido por múltiples factores.

Si bien el contenido de nitratos es un indicador del N disponible para los cultivos, debe tenerse en cuenta que es un parámetro muy variable y que depende de las condiciones ambientales, en particular la cantidad y distribución de las precipitaciones en relación al momento de estudio. Las condiciones de precipitaciones durante los ensayos del presente trabajo fueron muy variables. Si bien en el año 2010 llovieron en total de precipitaciones de 1050 mm (Tabla 2.1), es importante destacar que el 60 % de las mismas se registraron entre los meses de febrero y marzo durante el período de barbecho, lo que constituyó una situación poco usual, teniendo en cuenta las medias históricas. Así mismo, durante el año 2011 también hubo precipitaciones por arriba de la media (marzo y abril), mientras que el 2012 las precipitaciones se asemejaron a la media histórica.

El N orgánico que potencialmente se mineraliza varía según el manejo al que es sometido el suelo, y el tipo y cantidad de material orgánico depositado de manera natural (Carlen *et al.*, 2004). Según Cherr *et al.* (2006) la composición química del abono verde tiene una importancia determinante sobre los beneficios que brinda esta práctica, haciendo que la liberación de N de los residuos sea más lenta o más rápida. En el presente estudio se utilizaron dos especies de leguminosas y las diferencias entre ellas en la respuesta podrían deberse a su velocidad de descomposición, parámetro que no se midió en este trabajo. Con ambas leguminosas se obtuvieron aumentos en nitratos pero en ensayo 1 (trébol) se evidenció luego de dos ciclos de centeno, y en el ensayo 2 (vicia) luego de un ciclo de centeno.

La liberación de N no sólo se ve afectada por la relación C/N del abono y por el tiempo transcurrido, sino también por la profundidad de incorporación, el tipo de gestión de la labranza, el contenido de agua, y la textura del suelo (Sarrantonio y Scott 1988; Francis *et al.*, 1995). Los residuos de leguminosas como las utilizadas en nuestros ensayos, contienen generalmente una alta cantidad de N y tienen una baja relación C/N en comparación con los residuos de cereales (Janzen y Kucey 1988; Probert *et al.*, 2005). Inicialmente, la liberación del N del residuo al sistema podría ser de forma rápida, lo que le permitiría encontrarse disponible para el cultivo subsiguiente. Sin embargo, dependiendo de las condiciones del suelo y ambientales, una gran proporción de residuo de leguminosa puede ser inmovilizado en una forma de N que podría mejorar el suministro del mismo a largo plazo (McCauley, 2011). Este podría ser el caso del ensayo 1, donde recién al final

del 2do año de cultivo de centeno el tratamiento TrePIEnt mostró un valor mayor de nitratos con respecto a los tratamientos TreRem y Test.

Yuwen *et al.* (2003) y Chaves *et al.* (2004) observaron que el N mineralizado acumulado se correlacionó de manera significativa y negativa con la relación C/N de los materiales evaluados. La tendencia a la mineralización o a la inmovilización del N dependerá de la composición bioquímica del material, donde su relación C/N se asocia significativamente con la mineralización del N lábil del suelo, pero no así con la descomposición neta de los residuos (Hernández Mendoza *et al.*, 2007). Otros autores (Becker *et al.*, 1994; Tejada y González 2006; Tejada *et al.*, 2008; Chaves *et al.*, 2004) también señalaron que algunos componentes químicos del abono verde como la relación lignina/N y, la relación tanino/N controlan la liberación de N y las tasas de descomposición.

En cuanto al contenido residual de MO en el suelo (Tablas 3.2 y Tabla 3.3 para el ensayo 1, Tabla 3.11 para el ensayo 2 y Tabla 3.16 para el ensayo 3) no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos en ninguno de los ensayos. Esto podría deberse a que normalmente los incrementos de MO no son observables a corto plazo y en general son consecuencia de la incorporación reiterada de material vegetal como abono verde. En tal sentido Romero y Ruiz (2001) encontraron para un sitio experimental similar un incremento en la MO<sub>j</sub> y MO<sub>t</sub> luego de la incorporación de *Melilotus albus* como abono verde durante 4 años seguidos con respecto al tratamiento testigo.

Beltrán Morales *et al.* (2006) observaron que el contenido de MO y de nutrientes del suelo depende principalmente de la tasa de descomposición del abono verde, el tipo de material utilizado y el manejo agronómico. Por otra parte Hernández Mendoza *et al.* (2007) aseguran que la descomposición del abono y la subsecuente liberación de N dependen, en mayor medida, de la calidad y cantidad de los residuos, la humedad y la temperatura del suelo, la mineralización y el pH.

## **4.2 Efecto de la incorporación de leguminosas anuales como abono verde sobre la producción de MS y el contenido de proteína de cultivos subsiguientes**

En el Ensayo 1 en cuanto a la producción de forraje del cultivo de centeno en el primer año (Tabla 3.4) se vieron diferencias significativas en el 1º corte a favor del tratamiento TrePIEnt, y en el 3º corte hubo una tendencia ( $p < 0,10$ ) a favor de los tratamientos con leguminosa. En el total para el primer y segundo año (Tabla 3.4 y Tabla 3.7) no se vieron diferencias significativas, aunque hubo una tendencia positiva ( $p < 0,10$ ) en la producción entre los tratamientos (Testigo < TreRem < TrePIEnt) en el primer año. En el Ensayo 2 sólo se vieron diferencias significativas en la producción de forraje de centeno entre el tratamiento ViPIEnt (Tabla 3.12) y el tratamiento testigo, sin embargo con un  $p < 0,10$  hubo diferencias entre el tratamiento Test con los tratamientos TreRem y TrePIEnt.

En cuanto al contenido de PB del centeno, en el primer año luego de la incorporación de abono verde, no hubo diferencias significativas en ninguno de los dos ensayos (Tabla 3.5 para el ensayo 1 y Tabla 3.13 para ensayo 2). En el segundo año de evaluación en el Ensayo 1 (Tabla 3.8) hubo diferencias en ambos cortes a favor del tratamiento TrePIEnt.

Si analizamos la producción de PB ( $\text{kg PB ha}^{-1}$ ) del centeno, en cambio, se detectaron diferencias significativas en el primer año para los 2 ensayos. En la Tabla 3.6 para ensayo 1 se ve para el 1º corte una producción de PB de más del doble que el resto de los tratamientos, diferencia que en el 3º corte es menor, y en la producción anual se sostiene y es del 23%. Según los datos de la Tabla 3.14, para ensayo 2 hay una diferencia significativa en la cantidad de PB producida por año a favor del tratamiento ViPIEnt, por otro lado se ve una tendencia ( $p < 0,10$ ) Test < ViRem < ViPIEnt.

En resumen, en los Ensayos 1 y 2 hubo un efecto positivo, aunque limitado, del abono verde sobre la producción de forraje y PB del cultivo subsiguiente. Por otro lado, también quedó un remanente de nitratos en el suelo, por lo que podemos inferir que la mayor fertilidad no se tradujo totalmente en producción por limitaciones hídricas durante el ciclo del cultivo de centeno. Durante los años 2011 y 2012 en que se desarrollaron los

cultivos de centeno obtuvieron diferencias entre las lluvias mensuales promedio y los valores medios históricos. En el año 2011 hubo 6 meses con valores mensuales menores al histórico, mientras que en año 2012 esto ocurrió durante 5 meses.

Nuestros resultados conciben con los encontrados por otros autores que también detectaron efectos positivos significativos por la incorporación de abono verde. Usando vicia, Agamennoni y Vanzolini (2006) encontraron diferencias significativas en la producción y PB en un cultivo posterior de trigo, y Son *et al.* (2004) y Derpsch *et al.*, (1985) lograron incrementos en cultivos subsiguientes en arroz, maíz, frijol y soja.

Resultados similares fueron encontrados usando otras leguminosas como abono verde y otros cultivos subsiguientes. Yadav y Dey (2000) y Yavad (2004) utilizaron la leguminosa *Sesbania aculeata* como abono verde mejorando la producción de caña y arroz. Treto *et al.* (2001) con crotalaria (*C. juncea*) y vigna (*Vigna unguiculata*) como abono verde incrementaron los rendimientos de calabaza y Muzilli *et al.* (1980) y Scherer y Baldissera (1988) lograron incrementar la producción de maíz utilizando altramuza blanca (*Lupinus albus*) y mucuna (*Mucuna preta*) como abono verde, respectivamente. García *et al.* (2000a) utilizó *Mucuna aterrimum* y *Crotalaria juncea*, y García *et al.* (2000b) utilizó otra leguminosa (*Canavalia ensiformis*) como abono verde, logrando ambos sustituir parcialmente la aplicación de fertilizante de N para cubrir los requerimientos de cultivos de papa. Bongsu *et al.* (2014) con colza (*Brassica napus*) como abono verde incrementó el rendimiento en arroz.

Contrariamente al efecto positivo observado en los Ensayos 1 y 2, en el Ensayo 3, en los dos años evaluados no se vieron diferencias en producción de MS (Tabla 3.17 para el año 1 y Tabla 3.23 para el año 2) ni en contenido de PB (Tabla 3.19 para el año 1 y Tabla 3.25 para el año 2) del cultivo de centeno subsiguiente entre el testigo y los tratamientos con incorporación de diferentes cantidades de trébol de olor blanco o vicia como abono verde. Como analizamos anteriormente hubo momentos en que las lluvias medias mensuales fueron inferiores a las medias históricas, por lo que, como estaba previsto, este ensayo recibió riego complementario para que dicho déficit no afectara el crecimiento del cultivo de centeno. A pesar de la incorporación de abono verde, las producciones logradas en este ensayo fueron similares a las producciones medidas por

Amigone y Tomaso (2014) en Marcos Juárez y/o Bordenave, y las producciones de centeno cuando se utiliza como cultivo de cobertura en Anguil (Fernández com. pers.). En este ensayo el aporte de N que hizo el abono verde al sistema no se aprovechó, posiblemente por una o varias de las siguientes causas: porque una alta proporción del material incorporado no se llegó a descomponer, porque los nutrientes que pudieron ser liberados por el abono verde se lixiviaron total o parcialmente debido a las lluvias intensas que ocurrieron en los meses de febrero y marzo, o porque la adecuada fertilidad del lote hizo que no fuera necesario utilizar los nutrientes aportados por los abonos verdes para alcanzar una alta producción en el cultivo subsiguiente, en el que el rendimiento del testigo fue similar al del resto de los tratamientos.

La tasa de liberación de nutrientes puede tener diferentes efectos sobre la disponibilidad de N en el suelo. Una liberación rápida mejora la captación temprana de N por el cultivo siguiente, pero puede conducir a la pérdida de N por lixiviación si la demanda del cultivo es menor que la cantidad de N liberado. Por otro lado una liberación lenta garantizaría un suministro continuo de N al cultivo en la mayor parte de la temporada de crecimiento. Sin embargo, si la cantidad de N liberado es demasiado pequeña, su contribución al crecimiento de los cultivos puede ser no significativa (Sakala *et al.*, 2003).

En el ensayo de “Equivalente N” simultáneo al Ensayo 3 las diferentes dosis de fertilizante no se vieron reflejadas en un aumento en la producción de MS del centeno subsiguiente (Tabla 3.18 para el año 2010 y Tabla 3.24 para el año 2011) ni en su contenido de PB (Tabla 3.20 para el año 2010 y Tabla 3.25 para el año 2011). Como se comentara precedentemente si tenemos en cuenta que los rendimientos obtenidos en estos ensayos fueron similares a los encontrados por Amigone y Tomaso (2014), podríamos concluir que la fertilidad del lote en el tratamiento testigo fue suficiente para lograr rendimientos promedio esperados para la zona, habiendo sido innecesaria la incorporación adicional de nitrógeno.

### CONCLUSIONES

#### **Del presente estudio podemos concluir que:**

En un suelo Haplustol Éntico Franco Arenoso en la Región Semiárida Pampeana de fertilidad media cuando se evaluaron distintos manejos para la incorporación de trébol de olor blanco y vicia como abono verde se incrementó el nivel de nitratos del suelo, pero el contenido de MO no varió significativamente. La respuesta productiva en términos de MS y PB de cultivos de centeno subsiguientes fue también positiva, aunque limitada. Posiblemente las deficiencias hídricas durante el ciclo de estos cultivos no permitieron que el aporte de fertilidad nitrogenada de abono verde se tradujera en una mayor producción. Por otro lado, cuando se evaluó el efecto de la incorporación como abono verde de cantidades crecientes de fitomasa aérea de las mismas leguminosas, con la aplicación de riego complementario, no se observaron respuestas en los contenidos de nitratos y MO en suelo, ni en los niveles de producción de MS y PB en los cultivos subsiguientes.

Estas inconsistencias en los resultados obtenidos sugerirían la necesidad de profundizar la investigación en esta temática, evaluando la tasa de descomposición de las distintas fracciones (biomasa aérea y raíces) del material incorporado, bajo distintas condiciones ambientales, y en ensayos de mayor duración.

Asimismo sería importante llevar a cabo este tipo de estudios en suelos de fertilidad baja, también comunes en la Región Semiárida Pampeana.

## BIBLIOGRAFÍA

- Agamennoni R. y Vanzolini J. I. 2006. Diferentes manejos para la vicia y su efecto sobre el rendimiento y la calidad de trigo. En XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Salta-Argentina.
- Aizen M. A., Garibaldi L. A y Dondo M. 2009. Expansión de la soja y diversidad de la agricultura argentina. *Ecología Austral* 19: 45-54.
- Amigone M. A. y Tomaso J. C. Principales características de especies y cultivares de verdeos invernales. INTA E.E.A. Marcos Juárez. Publicado en Internet, disponible en [http://inta.gob.ar/documentos/principales-caracteristicas-de-especies-y-cultivares-de-verdeos-invernales/at\\_multi\\_download/file/INTA-caracter%C3%ADsticas%20de%20especies%20y%20cultivares%20de%20verdeos%20invernales.pdf](http://inta.gob.ar/documentos/principales-caracteristicas-de-especies-y-cultivares-de-verdeos-invernales/at_multi_download/file/INTA-caracter%C3%ADsticas%20de%20especies%20y%20cultivares%20de%20verdeos%20invernales.pdf). Activo Julio 2014.
- AOAC. 1990. Official methods of analysis of the association of analytical chemists. 15th Edition 3er supplement. Association of Official Analytical Chemists, Inc. Arlington, Virginia, USA, 70 pp.
- Becker M., Ladha J. K., Simpson I. C. and Ottow J. C. G. 1994. Parameters affecting residue N mineralization in flooded soils. *Soil Science Society of America* 58: 1666-1671.
- Beltrán Morales F. A., García-Hernández J. L., Valdez-Cepeda R. D., Murillo-Amador B., Troyo-Diéguez E., Larrinaga-Mayoral J., Ruiz-Espinoza F., Fenech-Larios L. y García-Rodríguez F. 2005. Sistemas de labranza, incorporación de abono verde y recuperación de la fertilidad de un yermosol háplico. *Terra Latinoamericana* 23: 381-387.
- Beltrán Morales F. A., García-Hernández J. L., Valdez- Cepeda R. D., Murillo-Amador B., Troyo-Diéguez E., Larrinaga J. y Beltrán Morales L.F. 2006. Efecto de sistemas de labranza e incorporación de abono verde (*Lablab purpureus* L.) sobre la respiración edáfica en un yermosol háplico. *Interciencia* 31: 226-230.
- Biederbeck V. O., Bouman O. T., Campbell C. A., Bailey L. D. and Winkleman G. E. 1996. Nitrogen benefits from four green-manure legumes in dryland cropping systems. *Canadian Journal of Plant Science* 76: 307-315.
- Bongsu Ch., Jung Eun L., Jwa Kyung S., Weon Tai J., Sang Soo L., Sang-Eun O., Jae E Y. and Yong Sik O. 2014. Effect of Rapeseed Green Manure Amendment on Soil Properties and Rice Productivity. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 45: 751-764.

- Bragachini M., Saavedra A., Méndez J. y Casini C. 2011. La evolución del Sistema Productivo Agropecuario Argentino. Mayor valor agregado en origen. 2º Jornada Nacional de Forrajes Conservados, EEA INTA Manfredi, Córdoba, Argentina. 1-17.
- Brechelt A. 2004. El manejo ecológico del suelo. Fundación Agricultura y Medio Ambiente (FAMA). Red de acción en plaguicidas y sus alternativas para América Latina (RAP-AL) (ed.). Santiago de Chile, Chile. 1-36.
- Burkart A. 1952a. Cuadro de conjunto de las leguminosas útiles. En: Las leguminosas argentinas silvestres y cultivadas. ACME AGENCY, Soc. de Resp. Ltda, (ed.). Buenos Aires. Argentina, pp. 72-88.
- Burkart A. 1952b. Tribu trifoliadas. En: Las leguminosas argentinas silvestres y cultivadas. ACME AGENCY, Soc. de Resp. Ltda, (ed.). Buenos Aires. Argentina, pp. 330-349.
- Burkart A. 1952c. Ensayo de clasificación de las leguminosas de interés agronómico, por los caracteres de la simiente. En: Las leguminosas argentinas silvestres y cultivadas. ACME AGENCY, Soc. de Resp. Ltda, (ed.). Buenos Aires. Argentina, pp. 438-476.
- Buschiazzo D. E., Quiroga A. R. and Stahr, K. 1991. Patterns of organic matter accumulation in soils of the Semiarid Argentinean Pampas. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk* 154: 437-441.
- Buschiazzo D. E., Panigatti J. L. and Unger P. W. 1998. Tillage effects on soil properties and crop production in the subhumid and semiarid Argentinean Pampas. *Soil & Tillage Research* 49: 105-116.
- Buschiazzo D. E., Peterson G. A., Unger P. W. and Payne, W. A. 2006. Management systems in southern South America. *Dryland Agriculture* 2: 395-425.
- Cairnie A. C. y Pérez Fernández J. 1994. Vicia: un buen acompañante de los verdes invernales. Informativo de Tecnología Agropecuaria para la Región Semiárida Pampeana, EEA INTA Anguil, La Pampa 99: 3 pp.
- Cambardella C. A. and Elliott E. T. 1993. Methods for physical separation and characterization of soil organic matter fractions. *Geoderma* 56: 449-457.
- Carlen Ch., Neyroud J. A., Carron C. A. and Rey CH. 2004. Effect of different organic nitrogen fertilizers on yield of aromatic and medicinal plants. *Revue Suisse de Viticulture, Arboriculture et Horticulture* 36: 263-267.
- Casagrande G. A. y Conti H. A. 1980. Clima. En: Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la Provincia de La Pampa. INTA, provincia de La

Pampa y Universidad Nacional de La Pampa. Editor E. Cano. Instituto Salesiano de Artes Gráficas. Buenos Aires, Argentina, pp. 19-32.

- Casagrande G. A., Vergara G. T. y Bellini Y. 2006. Cartas agroclimáticas de temperaturas, heladas y lluvias de la provincia de La Pampa (Argentina). Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de La Pampa. Vol. 17, 1/2: 15-22.
- Casagrande G. A., Deanna M. E., Farrel A. y Babinec F. 2012. Estadísticas agroclimáticas de la EEA Anguil “Ing. Agr. Guillermo Covas”. Publicación Técnica 88. 46 pp.
- Chaves B., Neve S., De Hofman G., Boeckx P. and Cleemput O. V. 2004. Nitrogen mineralization of vegetable root residues and green manures as related to their (bio) chemical composition. European Journal of Agronomy 21: 161-170.
- Cherr C. M., Scholberg J. M. S. and McSorley R. 2006. Green Manure approaches to crop production: a synthesis. Agronomy Journal 98: 302-319.
- Covas G. y Glave A. E. 1988. Provincia de La Pampa. En: El deterioro del ambiente en la Argentina. Suelo, agua, vegetación y fauna. Centro para la promoción de la conservación del suelo y del agua – PROSA- FECiC. Buenos Aires, Argentina, pp. 109-114.
- Derpsch R.; Sidiras N. y Heinzmann F. X. 1985. Manejo do solo com coberturas verdes de inverno. Pesquisa Agropecuária Brasileira 20: 761-773.
- Di Rienzo J. A., Casanoves F., Balzarini M. G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2013. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Elfstrand S., Bath B. and Martensson A. 2007. Influence of various forms of green manure amendment on soil microbial community composition, enzyme activity and nutrient levels in leek. Applied Soil Ecology 38: 70-82.
- FAO. 1997. Manual de Prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. Boletín de tierras y aguas de la FAO N°8, pp. 99-118.
- FAO. 2002. Evaluación de la degradación de tierras en zonas áridas. LADA Project. 17 pp.
- Fernández R., Funaro D. y Quiroga A. 2004. Aspectos del manejo del agua y la nutrición en verdes de invierno. Boletín de Divulgación Técnica INTA Anguil 80: 1-14.
- Francis G. S., Haynes R. J. and Williams P. H. 1995. Effects of the timing of ploughing-in temporary leguminous pastures and two winter cover crops on

- nitrogen mineralization, nitrate leaching, and spring wheat growth. *Journal of Agricultural Science* 124: 1-9.
- Galantini J. A. 2002. Contenido y calidad de las fracciones orgánicas del suelo bajo rotaciones con trigo en la región semiárida pampeana. INTA, Argentina. *RIA* 30: 125-146.
- Galantini J. A. y Suñer L. 2008. Las fracciones orgánicas del suelo: análisis en los suelos de la Argentina. *Agriscientia* 25: 41-45.
- García M., Treto E. y Alvarez M. 2000a. Los abonos verdes: una alternativa para la economía del nitrógeno en el cultivo de la papa. I. Estudio comparativo de diferentes especies. *Cultivos tropicales* 21: 5-11.
- García M., Treto E. y Alvarez M. 2000b. Los abonos verdes: una alternativa para la economía del nitrógeno en el cultivo de la papa. II. Efecto de la interacción abono verde-dosis de nitrógeno. *Cultivos Tropicales* 21: 13-19.
- Glave A. E. 1988. Manejo de suelos y agua en la región semiárida pampeana. En: *Erosión: sistemas de producción, manejo y conservación del suelo y del agua*. Fundación Cargill. Buenos Aires, Argentina. pp. 1-21.
- Hargrove W. L. 1986. Winter legumes as a nitrogen source for no-till grain sorghum. *Agronomy Journal* 78: 70-74.
- Herencia J. F., Ruiz J. C., Melero S., García Galavís P. A. and Maqueda C. 2008. A short-term comparison of organic vs. conventional agriculture in a silty loam soil using two organic amendments. *Journal of Agricultural Science* 146: 677-687.
- Hernández Mendoza T. M., Salcedo Pérez E., Arévalo Galarza G. y Galvis Spinola A. 2007. Evaluación de la concentración de lignina como indicador de la capacidad de aporte de nitrógeno de residuos orgánicos. *Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 13: 5-13.
- Janzen H. H. and Kucey R. M. N. 1988. C, N, and S mineralization of crop residues as influenced by crop species and nutrient regime. *Plant Soil* 106: 35-41.
- Johnston A. E., Poulton P. R. and Coleman K. 2009. Soil organic matter: its importance in sustainable agriculture and carbón dioxide fluxes. *Advances in Agronomy* 101: 1-57.
- Kapkiyai J., Karanja N., Qureshi J. Smithson P. and Woomer P. 1999. Soil organic matter in size fractions of soil texture and management. *Soil Biology & Biochemistry* 31: 1773-1782.
- Kirkegaard J., Christen O., Krupinsky J. and Layzell D. 2008. Break crop benefits in temperate wheat production. *Field Crops Research* 107: 185-195.

- Llorens E. M. y Frank E. O. 1999. Aspectos ecológicos del estrato herbáceo del caldenal y estrategias para su manejo. INTA y AACREA. INTA EEA Anguil. 81 pp.
- Martín G. M., Costa Rouws J. R., Urquiaga S. y Rivera, R.A. 2007. Rotación del abono verde *Canavalia ensiformis* con maíz y micorrizas arbusculares en un suelo nitisol ródico éutrico de Cuba. *Agronomie Tropicale* 57: 313-321.
- McCauley A. M. 2011. Nitrogen fixation by annual legume green manures in a semi-arid cropping system. Tesis Doctoral. Montana State University, Bozeman, Montana, EEUU, 131 pp.
- Muraoka T., Ambrosano E. J., Zapata F., Bortoletto N., Martins A. L. M., Trivelin P. C. O., Boaretto A. E, y Scivittaro W. B. 2002. Eficiencia de abonos verdes (crotalaria y mucuna) y urea, aplicados solos o juntamente, como fuentes de N para el cultivo de arroz. *Terra* 20: 17-23.
- Muzilli O., Vieira M. J. y Parra, M. S. 1980. Adubação verde. En: Manual Agropecuario para o Paraná, Capítulo 3, Fundação Instituto Agrônômico do Paraná. pp. 76-93.
- Pimentel D., Hepperly P., Hanson J., Douds D. and Seidel R. 2005. Environmental, energetic, and economic comparisons of organic and conventional farming systems. *Bioscience* 55: 573-582.
- Probert M. E., Delve R. J., Kimani S. K. and Dimes J. P. 2005. Modelling nitrogen mineralization from manures: representing quality aspects by varying C/N ratio of sub-pools. *Soil Biology & Biochemistry* 37: 279-287.
- Quiroga A. R., Buschiazzo D. E. and Peinemann N. 1999. Soil compaction is related to management practices in the semi-arid Argentine pampas *Soil and Tillage Research* 52: 21-28.
- Quiroga A. R. y Bono A. 2007. Materia Orgánica del Suelo. Publicación técnica INTA Anguil 71: 23-34.
- Quiroga A., Fernández R., Ormeño O., Manera E. y Fuente N. 2007. Efectos del sistema de labranza y la ganadería sobre propiedades de un haplustol éutrico, En: Aspectos de la evaluación y el manejo de los suelos de la región semiárida pampeana. Ensayos de larga duración. Publicación Técnica 69: 3-18.
- Rearte D. H. 2011. El rol de las pasturas cultivadas y pastizales en el nuevo escenario de la ganadería en Argentina. En: Producción Animal en Pastoreo. Cangiano C.A. y Brizuela M.A. (ed.). 2ª. Ed. Buenos Aires, Argentina. Ediciones INTA, pp. 13-28.

- RIAP, 2006. Zonas Agro-ecológicas de La Pampa (EEA Anguil). Newsletter RIAP Año 1, N°3. EEA Anguil, CR La Pampa –San Luis. 5 pp.
- Romano N. F., Roberto Z. y Kloster N. S. 2008. Contenidos de Limo + Arcilla y su relación con la materia orgánica en los suelos del este de la provincia de La Pampa. XXI Congreso Argentino de la Ciencia de Suelo. Potrero de los Funes, San Luis. Actas de Congreso.
- Romero N. A. y Ruiz M. de los A. 2001. Efectos de la alfalfa y del melilotus usados como forraje y abono verde, sobre la producción de pasturas y cultivos. Boletín de Divulgación Técnica INTA Anguil 7: 42-47.
- Ruggiero R. A. y Conti H. A. 1988. Síntesis climática. En: El deterioro del ambiente en la Argentina. Suelo, agua, vegetación y fauna. Centro para la promoción de la conservación del suelo y del agua – PROSA- FECiC. Buenos Aires, Argentina. pp. 25-46.
- Sainju U. M., Singh B. P., Whitehead W. F. and Wang S. 2007. Accumulation and crop uptake of soil mineral nitrogen as influenced tillage, cover crops, and nitrogen fertilization. *Agronomy Journal* 99: 982-691.
- Sakala W. D., Kumwenda J. D. T. and Saka A. R. 2003. The potential of green manures to increase soil fertility and maize yields in Malawi. *Biological Agriculture and Horticulture* 21: 121-130.
- Sarrantonio M. and Scott T.W. 1988. Tillage effects on availability of N to corn following a winter green manure crop. *Soil Science Society of America Journal* 52: 1661-1668.
- Scherer E. E. Y Baldissera I. T. 1988. Mucuna: proteção do solo em pavoura de milho. *Agropecuaria Catarinense, Florianópolis*. 1: 21-25.
- Sharma A. R. and Mitra B. N. 1988. Effect of green manuring and mineral fertilizer on growth and yield of crops in rice-based cropping system on acid lateritic soil. *Journal of Agricultural Science* 110: 605–608.
- Smith J. and Elliot L. 1990. Tillage and residue management effects on soil organic matter dynamics in semiarid regions. *Advances in Soils Science* 13: 69-88.
- Son B. K., Cho J. S., Lee D. J., Kim Y. J., Jin S .Y. and Cha G. S. 2004. Paddy rice growth and yield as affected by incorporation of green barley and Chinese milk vetch. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* 37: 156-164.
- Starovoytov A., Gallagher R. S., Jacobsen K. L., Kaye J. P. and Bradley B. 2010. Management of small grain residues to retain legume-derived nitrogen in corn cropping systems. *Agronomy Journal* 102: 895–903.

- Tejada M. and Gonzalez J. L. 2006. Crushed cotton gin compost on soil biological properties and rice yield. *European Journal of Agronomy* 25: 22-29.
- Tejada M., Gonzalez J. L., García-Martínez A. M., Parrado and J. 2008. Effects of different green manures on soil biological properties and maize yield. *Bioresource Technology* 99: 1758-1767.
- Thornthwaite C. W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. *EEUU. Geographical Review* 38: 55-94.
- Thorup Kristensen K. 2006. Root growth and nitrogen uptake of carrot, early cabbage, onion and lettuce following a range of green manures. *Soil Use Manage* 22: 29-38.
- Toomsan B., Cadish G., Srichantawong M., Thongsodsang C., Guiller K. and Limpinuntana V. 2000. Biological N<sub>2</sub> fixation and residual N benefit of pre-rice leguminous crop and green manures. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 48: 19-29.
- Torsten M. and Thorup Kristensen K. 2001. N-fixation of selected green manure plants in an organic crop rotation. *Biological agriculture & horticulture* 18: 345-363.
- Treto E., García M., Martínez R. y Febles J. M. 2001. Avances en el manejo de los suelos y la nutrición orgánica. Transformando el campo cubano. Avances de la agricultura sostenible. Eds. F. Funes *et al.*, Asociación Cubana de Técnicos Agrícolas y Forestales. La Habana, Cuba, 167-189.
- Uttam K. M., Gurcharan S., Victor U.S. and Sharma K. L. 2003. Green manuring: its effect on soil properties and crop growth under rice-wheat cropping system. *European Journal of Agronomy* 19: 225-237.
- Valdivieso C. y Espinoza A. 1995. Utilización de la vicia y arveja como abono verde en la producción de maíz, poroto y zapallo. *Agroecología y desarrollo*. Santiago de Chile. Publicado en Internet, disponible en [www.abcargo.com/fertilizantes/abonos\\_verdes.asp](http://www.abcargo.com/fertilizantes/abonos_verdes.asp) o en <http://www.virtual.chapingo.mx/dona/paginaIntAgronomia/abonoverde3.pdf> f. Activo abril 2014.
- Viglizzo E. F., Roberto Z. E., Filippin M. C. and Pordomingo A. J. 1995. Climate variability and agroecological change in the Central Pampas of Argentina. *Agriculture Ecosystems & Environment* 55: 7-16.
- Viglizzo E. F., Pordomingo A., Castro M. G. y Lértora F. A. 2002. La sustentabilidad ambiental del agro pampeano. Programa Nacional de Gestión Ambiental Agropecuaria, INTA Anguil, La Pampa, Argentina, 84 pp.

- Walkey A. and Black I. A. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37: 29-38.
- Wivstad M. 1997. Green-manure crops as a source of nitrogen in cropping systems. SLU, Doctoral thesis. Swedish University of Agriculture Sciences. Uppsala. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae. Agraria* 34. (Sweden).
- Yadav D. V. and Dey P. 2000. Increasing productivity of soils and sugarcane through green manure crop intercropped with late planted sugarcane. En: *Proc. International Conference on Managing Natural Resources for Sustainable Agricultural Production in the 21st Century*. New Delhi, India, pp. 34-36.
- Yadav R. L. 2004. Enhancing efficiency of fertilizer N use in rice-wheat systems of Indo-Gangetic plains by intercropping *Sesbania aculeata* in direct seeded upland rice for greenmanuring. *Bioresource Technology* 93: 213-215.
- Yuwen L., Tsangshen L. and Chungho W. 2003. Study on N mineralization characteristics of organic materials. *Journal of Agricultural Research of China* 52: 178-190.
- Zanotti N. y Buschiazzo D. 1997. El suelo: Un cálculo económico de la degradación. En: *Horizonte Agropecuario*. Santa Rosa, La Pampa, Argentina, Marzo, p. 4.
- Zentner R. P., Campbell C. A., Biederbeck V. O., Miller P. R., Selles F. and Fernandez M. R. 2001. In search of a sustainable cropping system for the semiarid Canadian prairies. *Journal Sustainable Agriculture* 18: 117-136.