

CALIDAD DE CULTIVOS DE COBERTURA EN SISTEMAS DE SIEMBRA DIRECTA DEL SUDOESTE BONAERENSE

EDUARDO de SÁ PEREIRA^{1*}; JUAN GALANTINI² & ALBERTO QUIROGA³

Recibido: 18-10-16

Recibido con revisiones: 05-06-17

Aceptado: 10-07-17

RESUMEN

El sistema de siembra directa con cultivos de cobertura (CC) de otoño/invierno asegura proveer elevadas cantidades de diferentes tipos de residuos orgánicos al suelo. La composición bioquímica de cada residuo, en especial su relación C:N y Lignina, asumen un papel relevante frente a la dinámica del nitrógeno (N) y el carbono (C) en el suelo, así como sobre la disponibilidad de nutrientes para el cultivo siguiente. Este trabajo tuvo como objetivo evaluar los parámetros de calidad de CC en función de la característica de los residuos aportados. Las experiencias se realizaron en Arguidioles típicos del partido de Coronel Suárez (Pcia. de Bs. As.). Las especies utilizadas como CC fueron: Avena (*Avena sativa* L.) Thell.), Vicia (*Vicia sativa* L.), Trébol persa "pastoreo" (*Trifolium resupinatum* L. var. "Laser"), Trébol persa "cobertura" (*Trifolium resupinatum* L. var. "Lightning"). Las determinaciones realizadas fueron: a) producción de biomasa aérea (Mg MS ha⁻¹), b) N, c) fibra detergente neutra (FDN) y ácida (FDA), carbohidratos no estructurales (CHne), C, y lignina. La biomasa aérea de vicia presentó la mayor concentración de N en la materia seca (MS) producida. Cuando la avena fue fertilizada se lograron incrementar en hasta un 50% los aportes de N al suelo presentes en la biomasa aérea del residuo. La biomasa aérea de vicia presentó las mayores producciones y concentraciones de lignina. Los diferentes CC presentaron relaciones de C:N y LIG:N que estuvieron en función de las cantidades de MS producida por cultivo y su estado fenológico al momento de secado. La temperatura y el momento de evaluación modificaron cantidad y calidad de los residuos. Los parámetros evaluados fueron sensibles a estos cambios.

Palabras clave. Plantas de cobertura, celulosa, hemicelulosa, lignina.

QUALITY OF COVER CROPS IN SOUTHWEST BONAERENSE UNDER NO TILLAGE SYSTEMS

ABSTRACT

No-tillage system with fall/winter cover crop (CC) ensures that large amounts of different types of organic residue are supplied to the soil. The biochemical composition of each residue, especially its C:N ratio and lignin, plays an important role in nitrogen (N) and carbon (C) soil dynamics, as well as the availability of nutrients for the next crop. The objective of this study was to evaluate the quality parameters of CC based on the quantity and quality of the residue contributed. The experiments were carried out on Arguidioles typical of the Coronel Suárez (Pcia. de Bs. As.) Species used as cover crops were: Oats (*Avena sativa* L.), Hairy vetch (*Vicia sativa* L. Thell.), Clover persia "grazing" (*Trifolium resupinatum* L. var. "Lightning"), Clover persia "coverage" (*Trifolium resupinatum* L. var. "Laser"). The determinations were: a) Production of forage (Mg MS ha⁻¹), b) N, c) neutral detergent fiber (NDF) and acid (FDA), nonstructural carbohydrates (CNES), carbon (C%) and Lignin. The aerial biomass of Hairy vetch presented the highest concentrations of N in the dry matter (MS) produced. When the oats were fertilized they were able to increase the contributions of N to the soil present in the aerial biomass of the residue to 50%. The aerial biomass of Hairy vetch presented the highest yields and concentrations of lignin. The different CC presented C:N and LIG:N ratios that were based on the amount of MS produced by the aerial biomass of the crop and its phenological state at the time of drying. The temperature and the moment of evaluation modified quantity and quality of the residues. The parameters evaluated were sensitive to these changes.

Key words. Coverage crops, cellulose, hemicellulose, lignin.

1. INTA AER Coronel Suárez (EEA Bordenave);

2. Comisión Investigaciones Científicas, CERZOS (UNS-CONICET) y Departamento de Agronomía (UNS);

3. INTA EEA Anguil - Pcia. La Pampa; Argentina.

* Autor de contacto: desapereira.eduardo@inta.gob.ar

INTRODUCCIÓN

La descomposición de los residuos de cultivos aportados al suelo es realizada, esencialmente, por microorganismos heterótrofos que utilizan micro y macro elementos para su nutrición y el carbono necesario para la producción de energía y formación de tejidos microbianos (Aita *et al.*, 2001). Asimismo, distintos factores abióticos y bióticos determinan la velocidad del proceso de descomposición y definen la persistencia de estos residuos en la superficie del suelo (Acosta, 2009).

La tasa de descomposición de los cultivos de cobertura (CC) depende de su naturaleza (composición química, relación carbono (C): nitrógeno (N) y relación C:N), de su volumen, de la fertilidad del suelo, del manejo de la cobertura y de las condiciones climáticas, principalmente precipitaciones y temperaturas. Estos factores influyen directamente en el metabolismo de los organismos descomponedores del suelo (Alvarenga *et al.*, 2007).

El incremento de materia orgánica en sistemas de siembra directa (SD) es regulado principalmente por los contenidos de C y N existentes en los residuos orgánicos mantenidos sobre la superficie del suelo. Cuando la cobertura proviene de residuos vegetales que poseen una relación C:N alta, se observa una disminución en la mineralización de la materia orgánica (MO) y un aumento en la inmovilización de los nutrientes contenidos en ella, nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S), sobre todo en la capa superficial del suelo. Esto es debido a una mayor oferta de C orgánico que estimula la actividad microbiana responsable por la inmovilización de N en el sistema suelo-planta. La inclusión de leguminosas en la secuencia de cultivos aporta N₂ proveniente de la fijación biológica que ayuda a minimizar los efectos de la inmovilización de N en la biomasa microbiana, resultando en una mayor acumulación de N total en el suelo (Amado *et al.*, 2000; Acosta *et al.*, 2011).

Entre los factores que interfieren en la actividad microbiana, resultan relevantes: la tasa de descomposición de los residuos (Schomberg & Steiner, 1994; Amado *et al.*, 2000), el régimen hídrico (Parton *et al.*, 2007), la disponibilidad de N inorgánico en el suelo (Wiethölter, 1993; Duval *et al.*, 2016), la temperatura (Koenig & Cochran, 1994), las relaciones C:N (Tian *et al.*, 1992; Jama & Nair, 1996; Janssen, 1996; Mary *et al.*, 1996) y lignina:N (LIG:N) (Buchanan & King, 1993), las concentraciones de lignina y de polifenoles (Palm & Sánchez, 1991; Tian *et al.*, 1992; Koenig & Cochran, 1994; Jama & Nair, 1996) y la concentración de N en el tejido vegetal (Mary *et al.*, 1996; Parton

et al., 2007). Entre estos factores, la relación C:N de los residuos adicionados al suelo asume un rol importante en la descomposición y en la relación entre mineralización/inmovilización de N a la solución del suelo.

Janssen (1996), analizando varios estudios relacionados a la mineralización de N, observó que la fracción de N orgánico mineralizada está inversamente relacionada con la relación C:N y, de manera idéntica, con la descomposición de los residuos. A su vez, trabajando con residuos de lenteja, encontró inmovilización neta en los períodos iniciales de descomposición, aún cuando la relación C:N fue igual a 15. En la bibliografía se encuentran diversos valores de relación C:N a partir de los cuales ocurre inmovilización neta de N (Kumar & Goh, 2003). No obstante, éstos varían con el tipo de planta y el estadio de maduración en que son adicionados al suelo (Monteiro *et al.*, 2002; Fernández *et al.*, 2007). La inmovilización puede ocurrir en cualquier fase de descomposición de los residuos. Resultados preliminares obtenidos por Barraco *et al.* (2009), demostraron que los CC pueden producir altos volúmenes de biomasa, logrando con esto mejorar la cobertura superficial del suelo, aportando además otros nutrientes (S) y (P) que son capturados durante el invierno-principio de primavera. Dependiendo del estado fenológico al momento del corte del CC y de su especie, estos nutrientes en las formas orgánicas serán posteriormente liberados de manera más o menos rápida en función de su relación C:N, inmovilización/mineralización de nutrientes. Recientemente, Sá Pereira (2013) informó que en Argiudoles de la Región N-NE del Sistema Ventania, el potencial de acumulación de N está asociado con las características entre especies de gramíneas y leguminosas utilizadas como CC y que la tasa de descomposición de sus residuos está directamente asociada con la relación C:N de sus residuos. El efecto benéfico de la disponibilidad de N sobre la performance de gramíneas, cuando están asociadas a leguminosas, ha sido demostrado en diversos trabajos.

Vaughan & Evanylo (1998), por ejemplo, verificaron que hubo mayor predominancia de centeno (*Secale cereale* L.) en asociación con (*Vicia villosa* Roth), cuando la cantidad de N disponible en el suelo era de 45 mg kg⁻¹, pero no cuando era de 25 mg kg⁻¹. Esto debe haber beneficiado a la gramínea, debido a una mayor demanda de N del centeno que la vicia, aumentando su competitividad en relación a la leguminosa.

Por otro lado, en investigaciones llevadas adelante por Amado *et al.* (2000) en un Hapludalf, se encontró que para

que los CC aporten N en los períodos críticos de demanda de este nutriente por los cultivos subsiguientes, es necesaria una descomposición en sincronía con la demanda del cultivo en sucesión. En este sentido, Sá Pereira *et al.* (2014) encontraron que los residuos de vicia (*Vicia villosa* Roth.), con una relación C:N baja, muestran una descomposición inicial más rápida y un aporte de N más temprano, y en el caso de avena (*Avena sativa* L.), con una relación C:N más alta, ese aporte se produce más tardíamente durante el ciclo del cultivo siguiente. Combinar los aportes de N de las gramíneas y leguminosas de los CC constituye un desafío para técnicos y agricultores en países del cono sur (Brasil, Uruguay y Argentina). Una significativa cantidad de N puede existir en la parte aérea de los CC, la cantidad real de N que quedará disponible para el cultivo siguiente dependerá de la extensión de la descomposición de los residuos dentro de la estación de crecimiento del cultivo de valor económico y de la dinámica de mineralización/inmovilización de cada tipo y cantidad de residuo aportado al suelo (Amado, 1997; Sá Pereira, 2013). En investigaciones realizadas por Giacomini (2001), se comprobó que la cantidad de N y C depende no solamente de su concentración en los residuos de cultivos sino también de la cantidad de MS incorporada al suelo por los CC.

Existe una coincidencia de estos resultados obtenidos entre los diferentes autores citados, sugiriendo a la avena como una excelente opción para la producción de biomasa, además de tener una elevada persistencia de sus residuos en el suelo luego de su eliminación química o mecánica. No obstante, la disponibilidad de N para el maíz (*Zea mays* L.) en sucesión, está frecuentemente comprometida en función de la inmovilización microbiana de N durante la descomposición de su material orgánico con elevada relación C:N. La vicia tiene ventajas por su capacidad de fijar el N₂ atmosférico y dejarlo disponible para el cultivo siguiente. Sin embargo, la rápida descomposición de sus residuos la hacen poco eficiente en la protección del suelo contra los efectos de erosión.

Existe una necesidad de asociar leguminosas y gramíneas como CC para proporcionar una producción de biomasa de otoño/invierno que provea, simultáneamente, protección al suelo contra la erosión y abastecimiento de N al maíz en sucesión en cantidad y momento oportuno. La caracterización del material vegetal a través de la información sobre el contenido de fibra medida por medio del método de fibra detergente ácido (FDA), utilizada para discriminar entre materiales similares, excluye otras fraccio-

nes de igual o mayor relevancia en la valoración de la calidad de un forraje (Pordomingo *et al.*, 2004). El contenido relativo de carbohidratos solubles (CHne, lignina y C) son también indicadores importantes de la calidad, los que analizados junto con los contenidos de proteína bruta (PB) y FDA permiten una mejor valoración del potencial de cada recurso (Pordomingo *et al.*, 2004). La información sobre la producción y el perfil de calidad de CC de otoño/invierno en la región subhúmeda pampeana es escasa, en especial incluyendo los CHne, lignina y la relación LIG:N (Sá Pereira, 2013).

En cuanto al C, lignina y CHne se ha comprobado que los CC pueden realizar un aporte significativo, incidiendo tanto sobre la cantidad como la calidad de la MO (Wander & Traina, 1996; Andriulo *et al.*, 2001; Álvarez *et al.*, 2006b; Sá Pereira, 2013). En base a los antecedentes expuestos, el objetivo de este trabajo fue evaluar la producción y los parámetros de calidad de la biomasa aérea de CC de invierno en sistemas de agricultura continua bajo SD.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características del área bajo estudio

El trabajo fue realizado en un radio de 40 km de la localidad de Coronel Suárez, provincia de Buenos Aires (37°25' 47,6" de latitud sur y 61°44' 59" de longitud oeste a 243 m snm) en las campañas agrícolas de 2005/6, 2006/2007 y 2007/08. Los suelos del sector bajo estudio corresponden a Argiudoles típicos INTA/CIRN 1989 (Mapa de suelos de la provincia de Buenos Aires, 1989) con un desarrollo morfológico Ap-BA-Bt-BC-C (Soil Survey Staff, 2010) de textura franco-arcillo-limosa (69,3% limo+arcilla) en el horizonte Ap. Las características de los diferentes sitios de ensayo se muestran en la Tabla 1.

Cultivos de cobertura.

Las especies utilizadas como CC de invierno fueron: avena, vicia, trébol persa var. "Laser" "pastoreo" (tardía), trébol persa var. "Lightning" "cobertura" (precoz), avena + vicia y un testigo (barbecho químico). Todos los ensayos se sembraron bajo el sistema de SD. La densidad de siembra fue de 40 kg ha⁻¹ para vicia, 10 y 12 kg ha⁻¹ para trébol pastoreo y cobertura respectivamente, 100 kg ha⁻¹ para avena y (55 + 45 kg ha⁻¹) para avena + vicia. Los tratamientos comunes a todos los años fueron avena, vicia y testigo. En el año 2007 se evaluaron avena fertilizada, avena + vicia y trébol cobertura como CC alternativos en todos los sitios y en el E₄ y E₅, respectivamente.

Los tratamientos fueron dispuestos en bloques al azar con tres repeticiones y en parcelas de 150 m². Se repitió el ensayo en cinco sitios sobre antecesor trigo: E₁ (2005/06): "La Emilia",

Tabla 1. Condiciones de muestreo de los cultivos de cobertura (CC) evaluados en el experimento. Características de los sitios de ensayos.

Table 1. Sampling Conditions of cover crops evaluated in the experiment. Characteristics of the experimental sites.

Ensayo	COT (mg g ⁻¹)	pH	P (ppm)	Fecha de Siembra	Cultivo de Cobertura evaluado	Lluvias	Días de crecimiento
E1	34,1	6,77	14,0	01/04/05	Vicia, Avena, Av. + Vic., Tr. Cob., Tr. Past.	187	252
E2	46,4	6,79	27,8	01/03/06	Vicia, Avena, Av. + Vic., Tr. Cob., Tr. Past.	369	239
E3	35,2	6,44	10,5	01/03/07	Vicia, Av. Fert., Avena, Av. + Vic.	348	237
E4	34,1	6,48	21,0	07/03/07	Vicia, Av. Fert., Avena, Tr. Cob.	415	237
E5	27,4	6,81	14,0	07/03/07	Vicia, Av. Fert., Avena	414	237

Vicia; Avena + vicia (Av. + Vic.); trébol cobertura (Tr. Cob.); trébol pastoreo; (Tr. Past.); avena fertilizada (Av. Fert.); avena sin fertilizar (Avena). Profundidad de muestreo (0-20 cm).

Hairy vetch (Vicia); oats + Hairy vetch (Av. + Vic.); clover coverage (Tr. Cob.); clover grazing (Tr. Past.); fertilized oats (Av. Fert.) unfertilized oats (Avena). Sampling depth (0-20 cm).

37°33'06''S y 62°01'33''W; E₂ (2006/07): "Paraje G8", 37°38'43''S y 61°59'94''W; E₃ (2007/08): "La Uruguaya", 37°35'26''S y 62°02'47''W; E₄ (2007/08): "El Hinojo", 37°41'05''S y 62°05'45''O y E₅ (2007/08): "Cura Malal-Cascada", 37°23'13''S y 62°11'27''W. El secado de los cultivos de cobertura fue realizado 252, 239 y 237 días después de la siembra, en 2005, 2006 y 2007, respectivamente. El secado se realizó con rolo "faca" y herbicida glifosato + 2,4D a una dosis de 4 L ha⁻¹ y 500 cc de *i.a.* ha⁻¹, respectivamente. Se realizaron dos cortes de materia verde de evaluación a los 152 y 241 días (campaña 2005/06), 122 y 226 (campaña 2006/07) y a un corte solamente a los 227 (campaña 2007/2008) días de la siembra. En los dos primeros años los cultivos soportaron 80 heladas durante el otoño-invierno y parte de la primavera. En los momentos de evaluación final, la avena se encontraba en estado de plena floración y la vicia en inicio de floración.

Las muestras de material verde de los CC fueron recolectadas con un marco de 0,25 m² con tres submuestras por tratamiento y repetición. El material fue recolectado en bolsas y pesado en húmedo en el campo y luego se llevó una alícuota a estufa con circulación de aire forzada a 60 °C hasta lograr

un peso constante y determinar contenido de materia seca (MS). Posteriormente, se tomaron sub-muestras del material seco que fue molido en un triturador de forraje, el proceso fue realizado con un molino Willey equipado con maya de 40 mesh. Sobre esa fracción seca y molida se procedió a realizar las siguientes determinaciones: a) Producción de forraje (Mg MS ha⁻¹); b) contenido de materia seca; c) contenido de N total por el método de Kjeldahl (Bremner, 1996); d) composición química en laboratorio a través de los parámetros de: fibra detergente neutra (FDN) y ácida (FDA) (Goering & Van Soest, 1970), carbohidratos no estructurales (CHne, Bailey, 1958; Ovejero, 1987) y lignina (LIG.); e) C (%), Analizador automático LECO Carbon analyzer, LECO Corporation St. Joseph, MI, USA) y f) celulosa (CEL.) (Goering & Van Soest, 1970) y las relaciones LIG:N y C:N.

El análisis de la variancia (ANOVA) se realizó, para cada año por separado y en el tercer año cada ensayo por separado. El diseño experimental fue realizado en bloques completamente aleatorizados con tres repeticiones. Para los factores de naturaleza cualitativa (CC puros o asociados), las medias de los tratamientos fueron comparadas a través del Test de

Diferencias Mínimas Significativas (Fisher-LSD) ($p \leq 0,05$). Para todos los ANOVA se utilizó el programa INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2008). Para el factor producción total de MS se realizó análisis de regresión.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Producción de MS de los cultivos de cobertura.

En todos los tratamientos, la producción de MS del año 2005 fue inferior a la obtenida en los años 2006 y 2007 (Tabla 2). En 2006 y 2007 los valores medios de producción de MS de cada una de las especies utilizadas como CC superaron en un 67% a las medias en el año 2005. La MS total producida avena + vicia, común a los tres años, fue 90 y 50% mayor en 2006 que en 2005 y 2007, respectivamente. Estas especies en consociación o solas expresaron su máximo potencial de producción en el año 2006, lo que puede ser atribuido a dos factores: a) por un lado, las precipitaciones acumuladas durante el período de marzo a octubre en los años 2006 y 2007 superaron a las del 2005 en 200 y 300 mm, respectivamente, y b) la siembra de los CC en el año 2005 se realizó 30 días más tarde que en los años siguientes.

En el año 2005 la emergencia de los CC fue muy lenta y tuvo, posteriormente, en otoño e invierno lluvias muy por debajo de la media histórica, que se normalizaron en los meses de septiembre y octubre y permitieron el desarrollo normal de los CC.

La producción de MS de la avena, varió entre 0,47 y 6,43 Mg ha⁻¹ (Tabla 2) con diferencias según épocas y años, siendo significativamente mayor en los tratamientos que incluyeron gramíneas. La vicia y los tréboles presentaron producciones de MS menores que avena y avena fertilizada en los tres años evaluados. La mayor producción de la avena en relación a la vicia también fue observada por otros autores (Aita *et al.*, 1994; Da Ros & Aita, 1996; Heinrichs *et al.*, 2001) en estudios realizados en suelos del sur de Brasil. En la Argentina, en condiciones similares de suelo y clima, los resultados fueron semejantes a los obtenidos por Barraco *et al.* (2009) y Quiroga *et al.* (2009). La elevada producción de MS de la avena en el segundo año (6,43 Mg ha⁻¹) fue inferior a las producciones en kg ha⁻¹ obtenidos en Argiudoles típicos de Marcos Juárez (8,04 Mg) por Capurro *et al.* (2009). Quiroga *et al.* (2009), trabajando con centeno (*Secale cereale*L.) encontró valores más altos cuando se fertilizó (4,91 Mg ha⁻¹) que en el testigo sin

fertilizar en Hapludoles de la región subhúmeda pampeana.

La MS total de avena + vicia fue, en promedio, de 1,56 y 3,34 Mg ha⁻¹ para las evaluaciones de julio (2005 y 2006) y octubre de (2005, 2006 y 2007 (un solo ensayo)), respectivamente, superando a la de vicia y a la de avena pura determinadas en el mes de octubre, en un 37 y 10%, respectivamente (Tabla 2). Comportamientos similares fueron obtenidos para la consociación avena + vicia tanto por Baigorria & Cazorla (2009) en la Argentina como por Amado *et al.* (2000) y Heinrichs *et al.* (2001) en el sur de Brasil. También en condiciones de clima templado, las asociaciones de centeno con trébol encarnado (*Trifolium incarnatum*L.) y de centeno con vicia villosa (*Vicia villosa*Roth.), proporcionaron más MS cuando fueron sembradas asociadas que cuando fueron cultivadas solas (Ranells & Waggoner, 1996; Vaughan & Evanylo, 1998). Cuando analizado dos de los tratamientos de CC (avena y avena + vicia) en el año 2006, la mayor producción de la avena sola o avena + vicia y las diferencias en relación a los resultados obtenidos por Baigorria & Cazorla (2009) y Quiroga *et al.* (2009) pueden ser atribuidas a tres factores. En primer lugar, la mayor disponibilidad de N en el suelo en el E₂ del año 2006 como consecuencia de la fijación biológica de N₂ por parte de la leguminosa, asociado a un nivel más alto de MO y fertilidad del suelo que en los sitios del año 2005 y 2007. Otro factor importante fue la alta acumulación de precipitaciones durante el período de crecimiento y desarrollo de los CC. El efecto benéfico de la disponibilidad de N sobre la performance de gramíneas, cuando están asociadas a leguminosas, es relatado en diversos trabajos (Vaughan & Evanylo, 1998). Estos resultados indican que, además de la densidad de siembra de cada especie en la asociación entre avena + vicia, la mayor producción de MS de vicia en el año 2006, en los dos muestreos realizados, con respecto a la producción de esta misma especie en los años 2005 y 2007, son atribuidos a precipitaciones superiores al promedio histórico de los últimos 30 años. A través de estos resultados se podría inferir que, en años con elevadas precipitaciones en el período anterior a la eliminación de los CC, la producción de MS de avena + vicia pueden ser equivalentes o superior a la de leguminosa pura.

Cuando analizamos la producción de MS de los CC alternativos, en la evaluación de octubre de 2006 de los tréboles cobertura y pastoreo (1,57 Mg ha⁻¹) y en el 2007 de trébol cobertura (1,18 Mg ha⁻¹), superaron en más del 100% a la producción del año 2005 (Tabla 2).

En la evaluación de julio de 2005 comparada con la de octubre del mismo año, la disminución en la producción de MS de los tréboles fue debido a las escasas precipitaciones que se produjeron durante el ciclo de crecimiento (otoño/invierno). Estos factores determinaron una competencia de malezas que hicieron disminuir su producción. Estas especies fueron poco estudiadas en la Argentina como CC. Estos resultados indican que, probablemente, en suelos con mayor disponibilidad de N, como en el 2006, en el caso de la avena del corte de octubre ($6,43 \text{ Mg ha}^{-1}$) presentó mayor tasa de crecimiento que la vicia, siendo su producción de MS en un 25 y 50% superior a la avena + vicia y vicia, respectivamente, compitiendo de esta manera mejor por los nutrientes del suelo, por el agua disponible y por la luz. Es de destacar que ninguno de estos CC fue fertilizado, reflejando aún más la buena fertilidad del suelo. La producción media de MS de todos los CC evaluados en el mes de octubre, en los tres años, fue de $2,49 \text{ Mg ha}^{-1}$, siendo de $2,21 \text{ Mg ha}^{-1}$ en los CC sembrados solos sin fertilizar y de $3,03 \text{ Mg ha}^{-1}$ en la avena fertilizada y de $3,34 \text{ Mg ha}^{-1}$ en aquéllos asociados (avena + vicia) (Tabla 2). Estos resultados indican que los CC asociados (avena + vicia) son una alternativa viable en relación a los cultivos puros de cada especie, ya que fue posible aumentar la producción de MS en un 51% en los sembrados solos sin fertilizar y en un 10% más en relación al cultivo de avena sola y fertilizada. Resultados semejantes fueron obtenidos por Giacomini (2001) trabajando con CC fertilizados y asociados (avena + vicia).

Nitrógeno acumulado en la biomasa aérea de los cultivos de cobertura.

La cantidad de nutrientes acumulada en la biomasa aérea de los CC depende de la concentración de estos nutrientes o compuestos carbonados en el tejido vegetal y de la MS producida (Barraco *et al.*, 2009). El N acumulado por la vicia pura en 2005, 2006 y 2007 fue superior al acumulado por la avena con y sin fertilizante y por los tréboles (Tabla 3). En promedio de los cinco ensayos evaluados, la vicia acumuló cerca de 90 kg ha^{-1} de N, la avena fertilizada, 67 kg ha^{-1} de N, la consociación avena + vicia, $63,6 \text{ kg ha}^{-1}$ de N, la avena sin fertilizar, 38 kg ha^{-1} de N y los tréboles, $25,31 \text{ kg ha}^{-1}$ de N (Tabla 3).

La elevada cantidad de N aportado por la vicia en relación a la avena se debe a la fijación simbiótica de N_2 y la cantidad de MS producida. Las cantidades de N acumuladas por la avena dependen, principalmente, de la capacidad de absorber el N aportado por el suelo. Resultados similares a este estudio fueron obtenidos por Acosta (2009). La cantidad de N acumulado por la asociación de avena + vicia en los dos primeros años no difirió de la vicia pura en la mayoría de los muestreos realizados y, en general, siempre fueron superiores a la avena sin fertilizar, fertilizada y a los tréboles. En el segundo año la cantidad de N en la asociación de avena + vicia fue superior en un 50% a la avena y en un 40% a la avena fertilizada en el último año (Tabla 3). Estudios realizados por Basso (1999), Amado *et al.* (2000) y Heinrichs *et al.* (2001) evidenciaron que la asociación de avena + vicia, puede proporcionar una acumu-

Tabla 2. Producción media de materia seca (MS) de la biomasa aérea de los cultivos de cobertura.
Table 2. Average aboveground biomass dry matter production of cover crops.

Año	Corte/ensayo	MS (Mg ha^{-1})					
		Vicia	Av. Fert.	Avena	Av. + Vic.	Tr. Cob.	Tr. Past.
2005	Julio/E ₁	0,51 ab		0,47 ab	0,57 a	0,19 b	0,32 ab
	Octubre/E ₁	1,29 c		3,40 a	2,11 b	0,56 d	0,56 d
2006	Julio/E ₂	2,95 a		2,06 c	2,56 b	0,63 d	0,46 d
	Octubre/E ₂	3,22 bc		6,43 a	5,31 ab	1,83 c	1,32 c
2007	Octubre/E ₃	3,13 a	3,34 a	1,89 b	2,61 ab		
2007	Octubre/E ₄	1,73 a	1,81 b	1,25 b		1,18 b	
2007	Octubre/E ₅	2,92 ab	3,93 a	2,40 a			

Avena fertilizada (Av. Fert.); Avena; avena + vicia (Av. + Vic.); trébol cobertura (Tr. Cob.); trébol pastoreo (Tr. Past). Medias seguidas de la misma letra dentro de cada fila, no difieren entre sí ($p > 0,05$) según el test Fisher-LSD 5%. Hairy vetch (Vicia); fertilized oats (Av. Fert.); oats (Avena); oats + hairy vetch (Av. + Vic.); clover cover (Tr. Cob.); clover grazing (Tr. Past). Averages followed by the same letter within each row do not differ from each other ($p > 0,05$) according to the Fisher-LSD 5% test.

lación de N equivalente al de las leguminosas puras, y superior al de las gramíneas. Estas características, junto con la producción de MS, indican que la asociación entre avena y vicia es una alternativa promisoría para sistemas que necesitan, simultáneamente, de la protección del suelo contra los procesos erosivos y oferta de N a los cultivos en sucesión.

En los tres años de experimentación la cantidad de N acumulado por la siembra de una mezcla de leguminosa y gramínea (55% avena + 45% vicia) se alcanzó en promedio el 78% del N acumulado por la siembra de vicia sola. Estos resultados son semejantes a los obtenidos por Giacomini *et al.* (2004) que obtuvieron un 79% del N acumulado por la vicia, utilizando una mezcla a la siembra de 45% de avena y 55% de vicia. Estos resultados demuestran que el potencial de la vicia para producir MS y fijar N decae cuando está asociada con una gramínea.

Según resultados obtenidos por Giacomini (2001), las diferencias en las cantidades de MS y de N de avena + vicia, asociadas en diferentes proporciones deben condicionar la dinámica de descomposición y liberación de N después de su eliminación. Analizando las cantidades de N acumulado por la avena en la Tabla 3 y para el tercer año, cuando la avena no fue fertilizada acumuló en promedio (33,6 kg N ha⁻¹), cuando fue fertilizada se obtuvo un 50% más de N. Tales resultados confirman aquellos obtenidos por Aita *et al.* (2001) demostrando que la avena, además de contribuir con la incorporación de MS y carbono al suelo,

también, puede contribuir para la disminución de las pérdidas de N por lixiviación de nitratos en el perfil del suelo durante el otoño/invierno. Los resultados obtenidos en la acumulación de N por los CC evidencian la superioridad de la vicia en relación a la avena, cuando se presenta en cultivos puros. Cuando estas dos especies son asociadas, es posible combinar la capacidad de la avena en absorber el N disponible del suelo y de la vicia en fijar el N₂ atmosférico. En cuanto a los tréboles utilizados, el promedio de aporte de N al sistema fue de tan sólo un 28% del obtenido con vicia.

Cantidad de C en los cultivos de cobertura.

La cantidad de C de los CC es uno de los parámetros de calidad de mayor importancia para la sustentabilidad de los sistemas y la cantidad total acumulada estaría directamente relacionado con los niveles de MO en el suelo (Wander & Traina, 1996; Andriulo *et al.*, 2001; Giacomini, 2001; Álvarez *et al.*, 2006a). En la Tabla 4 se muestran los contenidos medios de C medidos en g kg⁻¹ confirmando que no existen grandes variaciones entre diferentes especies y momentos (364 y 430 g kg⁻¹). Resultados similares fueron obtenidos por Acosta (2009).

Contenido de celulosa, hemicelulosa, carbohidratos no estructurales solubles y lignina.

Una característica todavía poco estudiada en los CC es la concentración en la biomasa de los parámetros de ca-

Tabla 3. Acumulación media de nitrógeno (N) en la biomasa aérea de los cultivos de cobertura.
Table 3. Average accumulation of nitrogen (N) in the aerial biomass of cover crops.

Año	Corte/Ensayo	N (kg ha ⁻¹)					
		Vicia	Av. Fert.	Avena	Av. + Vic.	Tr. Cob.	Tr. Past.
2005	Julio/E ₁	53,1 a		32,8 b	43,8 ab	23,7 b	26,1 b
	Oct./E ₁	33,9 a		38,6 a	31,0 a	15,1 b	16,6 b
2006	Julio/E ₂	104,0 a		32,1 c	54,0 b	22,3 b	15,0 d
	Oct./E ₂	106,0 a		65,8 b	96,1 a	48,3 bc	37,0 c
2007	Oct./E ₃	124,0 a	71,5 b	35,0 c	93,2 b		
	Oct./E ₃	74,0 a	60,1 a	27,7 b		37,5 b	
	Oct./E ₃	130,0 a	70,0 b	38,3 b			

Avena fertilizada (Av. Fert.); avena + vicia, (Av. + Vic.); trébol cobertura (Tr. Cob.); trébol pastoreo (Tr. Past.). Medias seguidas de la misma letra en cada fila, no difieren entre sí ($p > 0,05$) según el test Fischer-LSD.

Hairy vetch (Vicia); fertilized oats (Av. Fert.); oats (Avena); oats + vetch (Av. + Vic); clover coverage (Tr. Cob.) and clover grazing (Tr. Past.). Averages followed by the same letter within each row do not differ from each other ($p > 0,05$) according to the Fisher-LSD 5% test.

Tabla 4. Parámetros de calidad de la biomasa aérea de los cultivos de cobertura (CC) evaluados durante tres años. Concentraciones de celulosa (Cel.); hemicelulosa (Hemi.); lignina; carbohidratos no estructurales solubles (CHne); nitrógeno (N); carbono (C); relaciones lignina:N (LIG:N) y C:N.

Table 4. Quality parameters of aerial biomass of cover crops (CC) evaluated over three years.

Concentrations cellulose (Cel.); hemicellulose (Hemi.); lignin; soluble nonstructural carbohydrates (CHne); nitrogen (N); carbon (C); lignin relations: N (LIG: N) and C:N.

Año	Corte/Ensayo	CC	Parámetros de calidad (g kg ⁻¹ MS)							
			Cel.	Hemi.	Lignina	CHne	N	C Leco	C:N	LIG:N
2005	Julio/E ₁	Vicia	248 ab	408 b	80,8 a	263 b	29,7 a	401	13,6 b	2,7ab
		Avena	192 c	411 b	35,1 c	361 a	21,2 c	427	20,1 a	1,7 c
		Av. + Vic.	198 c	408 b	37,9 bc	356 a	22,0 bc	421	19,2 a	1,7 c
		Tr. Cob.	291 ab	435 ab	51,4 b	222 b	26,2 ab	383	14,9 b	1,9 bc
		Tr. Past.	319 a	458 a	78,5 a	144 b	22,5 bc	381	16,9 b	3,4 a
	Oct./E ₁	Vicia	306 a	592 a	75,4 a	26 b	28,2 a	424	15,0 b	2,8 bc
		Avena	295 a	608 a	48,6 b	48 b	11,5 b	417	36,3 a	4,3 a
		Av. + Vic.	292 a	616 a	51,5 b	40 b	14,7 b	430	29,2 a	3,5 ab
		Tr. Cob.	214 b	332 b	50,4 b	403 a	26,6 a	416	15,4 b	1,9 c
		Tr. Past.	227 b	370 b	58,4 b	344 a	29,8 a	421	14,2 b	1,9c
2006	Julio/E ₂	Vicia	219 a	432 c	64,5 a	284 b	35,1 a	395	11,2 c	1,8 a
		Avena	229 a	550 a	47,2 a	173c	15,6 d	398	25,5 a	3,2 a
		Av. + Vic.	226 a	489 ab	39,7 a	244b	21,2 c	392	18,5 b	1,9 a
		Tr. Cob.	165 b	469 bc	71,5 a	293b	29,5 b	391	13,2 c	2,6 a
		Tr. Past.	131 b	377 d	68,7 a	422a	32,4 ab	400	12,3 c	2,1 a
	Oct./E ₂	Vicia	254 a	491 c	95,9 ab	157 c	32,2 a	398	12,3 c	2,9 bc
		Avena	279 a	644 a	68,9 bc	8,1d	10,2 d	398	39,0 a	6,8 a
		Av. + Vic.	261 a	553 a	65 bc	121c	19,1 c	364	19,1 b	3,4 bc
		Tr. Cob.	168 b	438 d	107 a	286 b	26,9 b	394	14,7 bc	3,9 b
		Tr. Past.	177 b	356 e	55,3 c	411a	28,1 b	395	14,0 c	1,9 c
2007	Oct./E ₃	Vicia	257 a	618 a	61,1 c	63,9 b	39,6 a	434	11 c	1,5 c
		Av. Fert.	209 b	619 a	110 ab	61,8 b	18,5 d	411	22,2 b	5,9 a
		Avena	235 ab	509 b	92,8 bc	163 a	21,8 c	427	19,6 a	4,3 b
		Av. + Vic.	180 b	610 a	135 a	74,7 b	35,4 b	433	12,3 c	3,8 b
	Oct./E ₄	Vicia	215 a	520 a	61,1 c	66,9 c	42,3 a	397	9,4 b	3,7 a
		Av. Fert.	211 a	615 ab	110 ab	48,1 c	22,2 c	401	18,0 b	2,9 a
		Avena	209 a	497 b	92,8 bc	201a	21,1 b	424	20,1 a	2,9 a
		Tr. Cob.	194 a	571 b	135 a	99,7 b	31,53 b	424	13,4 b	4,1 a
	Oct./E ₅	Vicia	248 a	625 a	74,7 a	52,3 b	44,4 a	422	9,5 b	1,7 b
		Av. Fert.	235 ab	629 a	81,3 a	54,7 b	17,7 b	409	23,0 a	5,1 a
Avena		213 b	535 b	92,3 a	159 a	16,0 b	417	26,0 a	5,3 a	

Medias seguidas de la misma letra en cada columna para cada Corte/Ensayo, no difieren entre sí ($p > 0,05$) según el test Fisher-LSD. Vicia; Avena + vicia (Av. + Vic.); trébol pastoreo (Tr. Past.); trébol cobertura (Tr. Cob.); avena fertilizada (Av. Fert.) y avena.

Means followed by the same letter within each column for each *Cut/Test*, do not differ ($p > 0,05$) according to Fischer-LSD test. Hairy vetch; (Vicia), oats + vetch (Av. + Vic.); clover grazing (Tr. Past.); clover coverage (Tr. Cob.); fertilized oats (Av. Fert.) and oats (Avena).

alidad de un forraje como son: celulosa, lignina y CHne. Estos parámetros son esenciales para definir la tasa de descomposición de sus residuos en el suelo (Sá Pereira *et al.*, 2017). Considerando la media de los tres años y las dos épocas

de muestreo, la concentración de celulosa del tejido vegetal de la vicia no hubo diferencias en comparación con la de avena, que estuvo en función de la cantidad de MS total producida (Fig 1). En el primer muestreo de julio de 2005

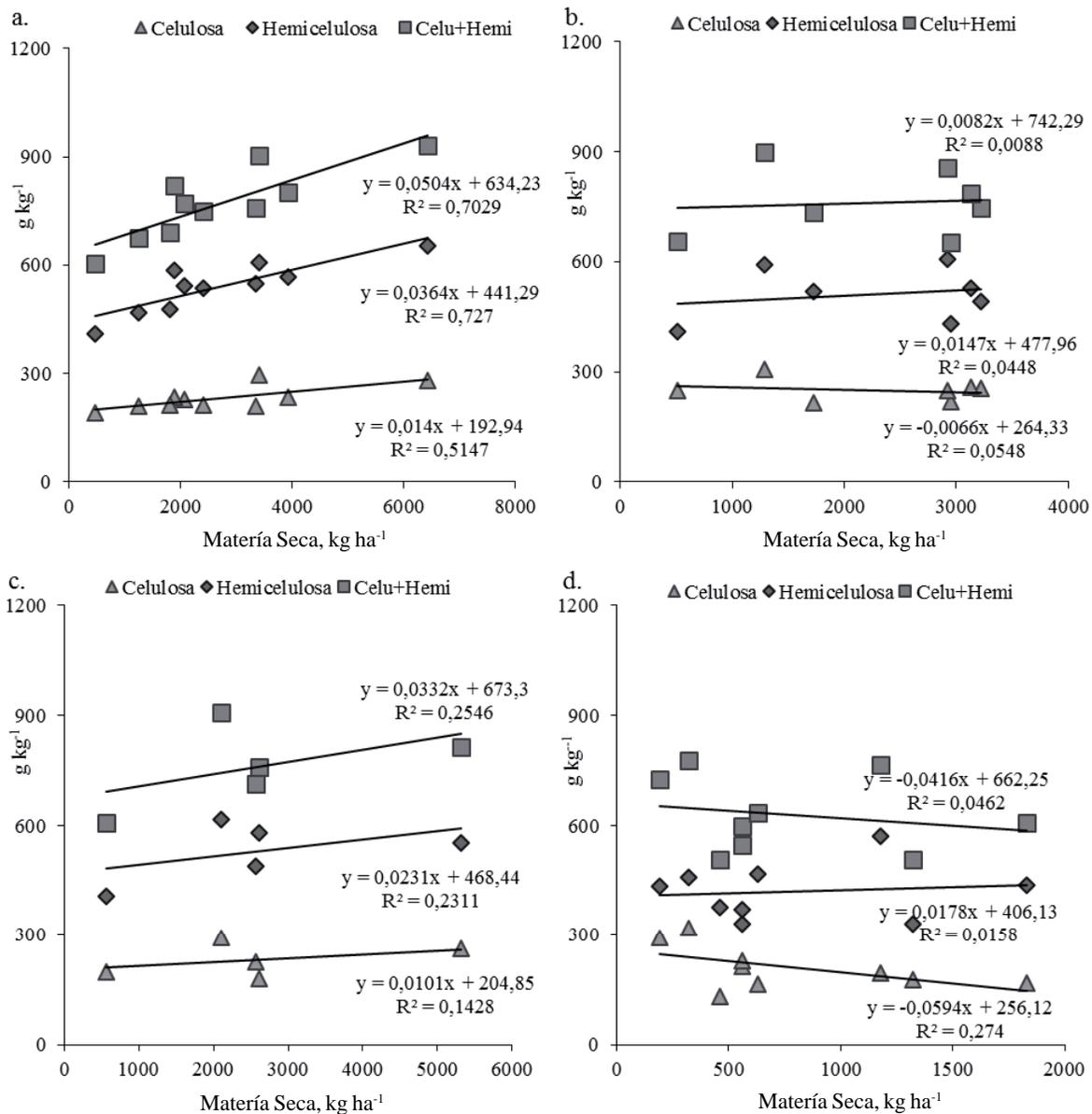


Figura 1. Concentración de celulosa, hemicelulosa y celulosa + hemicelulosa de los diferentes cultivos de cobertura (a) avena y avena fertilizada, b) vicia, c) avena + vicia, d) trébol cobertura y pastoreo en función de la cantidad de residuos aéreos aportados al suelo. Media del 2005, 2006 y 2007.

Figure 1. Concentration of cellulose, hemicellulose and cellulose + hemicellulose concentrations of different cover crops (a) oats and oats fertilizer, b) hairy vetch, c) oats + hairy vetch, d) clover coverage and grazing as a function of the amount of aboveground residues returned to the soil.

y 2006 para vicia y avena fueron de 233 vs 210 g kg^{-1} MS y en el segundo muestreo de octubre de los años 2005, 2006 y 2007, para las mismas especies, fue de 256 vs 246 g kg^{-1} MS (Tabla 4 y Fig 1). Cuando se analizó la concentración de lignina para el primer muestreo de julio de los años 2005 y 2006 se observó que la vicia superó en pro-

medio a la avena en 72,7 vs 41,2 g kg^{-1} MS y para el muestreo de octubre de los tres años 73,7 vs 79,1 g kg^{-1} MS, representando un 76% más y 7% menos de concentración de lignina en vicia que en avena (Tabla 4). En cuanto a los CHne evaluados en el año 2005 los niveles de concentración fueron superiores en la avena con respecto a la vicia,

inferiores en el 2006 y sin diferencias significativas en el 2007 (Tabla 4).

Las variaciones en la concentración de los parámetros de calidad de los CC estuvieron relacionadas a la especie y al estado fenológico en que las mismas fueron recolectadas en cada estudio.

Los cultivos en los dos primeros años soportaron un promedio de 80 heladas. Como consecuencia de un retraso en el crecimiento, la proporción de tallos con respecto a hojas en el primer y segundo año fue mayor que en el tercer año, en especial en el segundo muestreo. La vicia creció durante todo el otoño en óptimas condiciones e ingresó al invierno con un adecuado desarrollo para soportar las heladas del invierno y retomar su crecimiento en primavera.

Las diferencias en la proporción de tallos y hojas modifican la concentración de lignina y la relación C:N de los residuos, con efectos sobre la velocidad de descomposición posterior (Heinrichs *et al.*, 2001; Aulakh *et al.*, 1991; Mary *et al.*, 1996)

La proporción de lignina en la avena fue relativamente constante para las distintas cantidades de MS, mientras que los CHne mostraron una variación inversa a los conteni-

dos de celulosa y hemicelulosa (Fig 2b). Es decir, cuando no se dispone de datos de la calidad de los residuos es posible realizar una estimación en base a la producción de MS.

Relaciones C:N y LIG:N

Con la asociación de avena + vicia, además de incorporar N, se proporcionó una producción de MS con una relación C:N intermedia a la de aquellas especies en cultivo puro. La relación C:N de la avena + vicia se situó en un valor intermedio a la avena y las leguminosas (media 21,5) (Tabla 4 y Fig 3c). Con la inclusión de avena en asociación con vicia hay un aumento gradual en la relación C:N de la biomasa aérea, disminuyendo la oferta de N al maíz y aumentando la persistencia de los residuos en el suelo (Heinrichs *et al.*, 2001).

La utilización de vicia en asociación con avena no redujo el rendimiento de MS para la cobertura del suelo en relación al cultivo de avena solo (Bortolini *et al.*, 2000).

La vicia, el trébol pastoreo y trébol cobertura fueron las especies que presentaron la menor relación C:N (media 11,4, 13,5 y 14,5 respectivamente) comparada con la avena que fue de 28,2 para los tres años y la segunda época de evaluación (Fig 3 a, b y d). Tales resultados están de acuer-

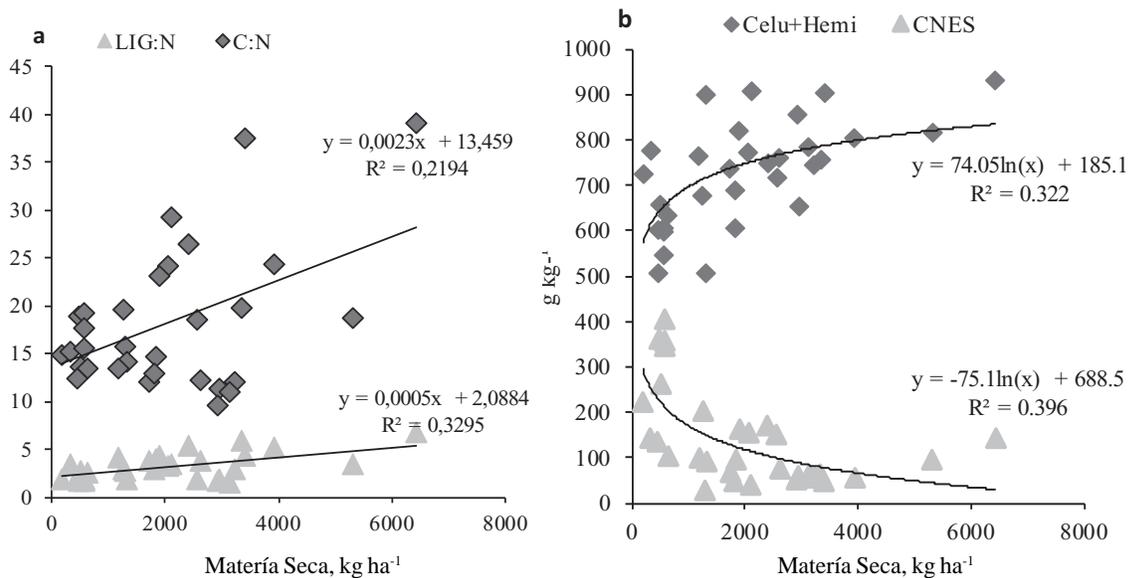


Figura 2. Relación entre a) relaciones C:N y lignina:N (LIG:N) y b) Concentración de celulosa + hemicelulosa y CHne de la biomasa aérea de todos los cultivos de cobertura evaluados, con las cantidades de residuo que aportaron al suelo.

Figure 2. Relation between a) ratios C:N and lignin:N (LIG:N) and b) Concentration of cellulose + hemicellulose and CHne of the aerial biomass of all the cover crops evaluated, with the amounts of residue that contributed to the soil.

do con aquellos obtenidos por Heinrichs *et al.*, 2001 donde la relación C:N de los cultivos de cobertura alcanzó un valor máximo de 33,9 con siembra de avena sola y un mínimo de 13,5 con vicia sola.

La utilización de la asociación de avena + vicia, provocó un aumento de los valores de C:N en la biomasa aérea. Con una mezcla de 45% vicia y 55% de avena en la densidad de semilla sembrada, esta relación aumentó de 12,9

a 21,4 respecto a la vicia pura (Tabla 4 y Figs 3 b y c). La influencia de la avena en la relación C:N de la asociación con vicia fue demostrada por Heinrichs *et al.* (2001) quienes informaron que dicha relación aumentó de 18,2 con un 10% de semilla de avena a la siembra en la mezcla hasta 27,2 cuando la proporción de avena se incrementó hasta un 75% de semilla de avena en la mezcla. Resultados similares fueron obtenidos por Barraco *et al.* (2009), tra-

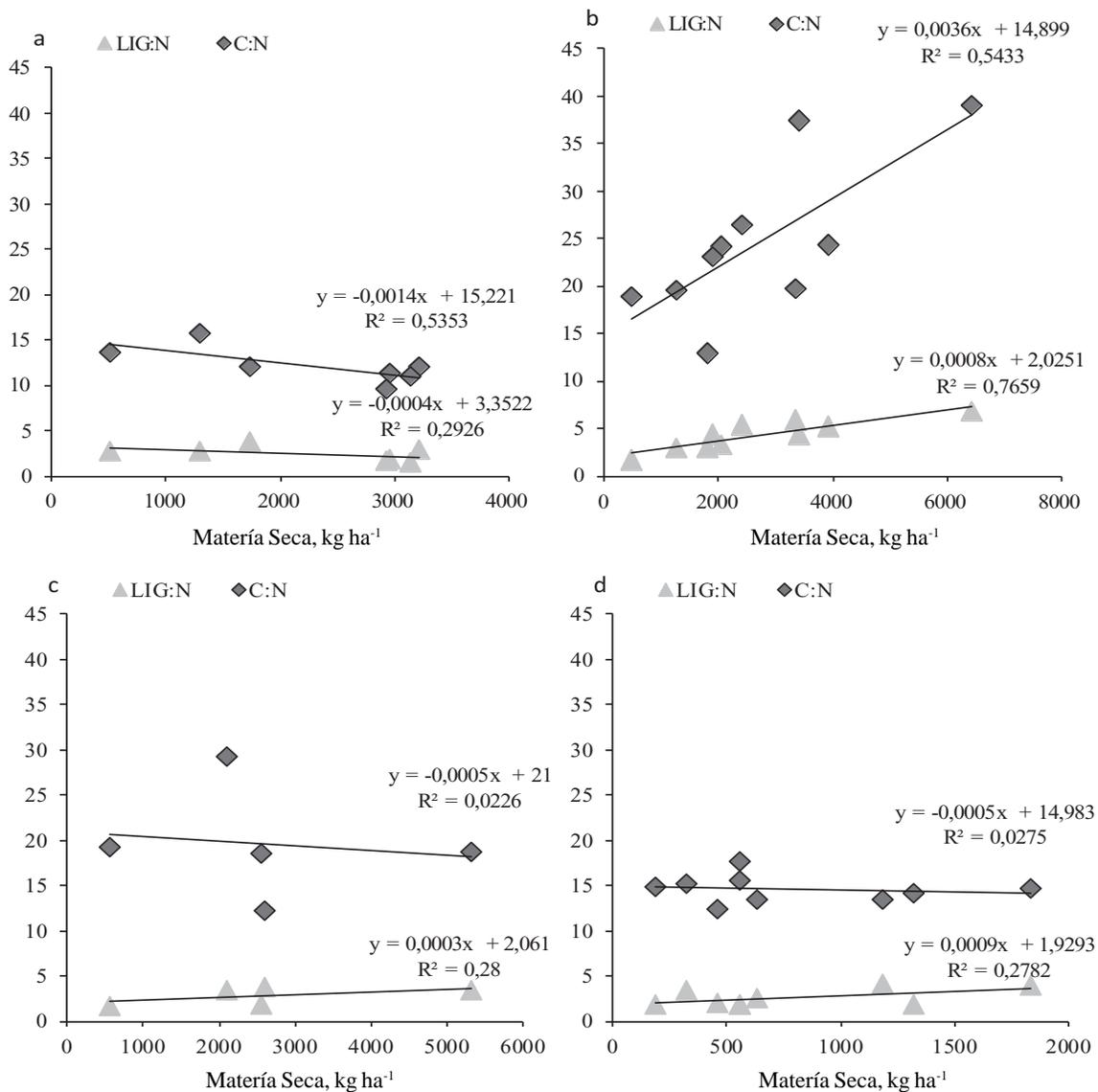


Figura 3. Relación C:N y LIG:N de los diferentes cultivos de cobertura en función de las cantidades de residuos aportados al suelo. Media 2005, 2006 y 2007. a) avena, b) vicia, c) avena + vicia, d) trébol cobertura y pastoreo

Figure 3. Relationship C:N and LIG:N of different cover crops depending on the quantities of residue applied to the soil. Average of 2005, 2006 and 2007. a) oats, b) Hairy vetch, c) oats + Hairy vetch, d) clover coverage and grazing.

bajando con mezclas de triticale + vicia y centeno + vicia con una relación C:N de 26,7 y 24,5, respectivamente.

La relación C:N de los materiales orgánicos ha sido el parámetro más estudiado para prever la ocurrencia de mineralización o inmovilización de N disponible durante su descomposición.

Según Allison (1966), cuando el valor de la relación se sitúa entre 25 y 30, hay un equilibrio entre mineralización e inmovilización. Utilizando estos valores como base, Giacomini *et al.* (2004) encontraron que en los tratamientos con vicia y nabo (*Brassica campestris* L.), la mineralización podía superar a la inmovilización, resultando en un aumento de la disponibilidad de N en el suelo durante la descomposición de los residuos de cultivos. Además del valor absoluto de la relación C:N, la calidad de los constituyentes carbonados y nitrogenados del tejido vegetal ejercen una fuerte influencia sobre la dinámica del N en el suelo (Handayanto *et al.*, 1997). A pesar de esto, todavía son escasos los resultados de investigación donde se tiene en cuenta la composición bioquímica de los CC y su influencia en la tasa de descomposición de sus residuos. En el primero y segundo año, la presencia de avena en la asociación con vicia, presentó valores de relación C:N inferiores a la de la avena sembrada sola (Tabla 4).

Tales resultados podrían ser atribuidos al aumento en la concentración de N en la avena cuando se asocia con vicia. Allí la población de plantas es menor que cuando se siembra sola; por esto, habría una menor competencia entre plantas por el N disponible en el suelo. Además, la senescencia precoz de nódulos, la descomposición de tejido vegetal, especialmente de hojas más viejas, y los exudados radicales ricos en N de la leguminosa pueden favorecer la acumulación de N por parte de la gramínea (Ta & Farris, 1987). Cuando se incorporan materiales de distinta calidad mezclados, la calidad individual de cada uno pierde protagonismo en función de la calidad "promedio" resultante de la mezcla.

Por ello, las posibles consecuencias de la incorporación de residuos de vicia combinados con residuos de avena dependen de la calidad resultante de la mezcla que en definitiva depende de la proporción de cada residuo en la masa total incorporada.

Los valores en la relación LIG:N fueron siempre menores que los de la relación C:N en todas las especies evaluadas (Fig 2a y Figs 3a,b,c y d). En la Tabla 4 se muestra que la relación LIG:N de los CC donde alcanzó un valor máximo

de 6,8, exclusivamente, en avena del corte de octubre del 2006 E₂ y un mínimo de 1,51 con vicia como cultivo puro en el año 2007 E₃. En la asociación de avena + vicia, la relación LIG:N varió de acuerdo a la época de corte. En el primero y segundo corte del año 2005 E₁ y 2006 E₂, esa relación fue de 3,43 mientras que, alcanzó el valor de 3,83 en el año 2007 E₃ (Tabla 4). Estas relaciones están dentro de los rangos críticos obtenidos por Quemada & Cabrera (1995). Este aumento en la relación LIG:N podría haber sido causado por una mayor presencia de esta gramínea a la siembra en la asociación con la leguminosa. La concentración de lignina y la relación LIG:N podrían ser utilizados como indicadores de predicción en la velocidad de descomposición de residuos de CC. Heinrichs *et al.* (2001) encontraron que la velocidad de descomposición está relacionada con la concentración de lignina y con la relación C:N de los residuos. Cuanto mayor es la concentración de lignina y la relación C:N, más lenta es la descomposición (Aulakh *et al.*, 1991; Mary *et al.*, 1996).

CONCLUSIONES

La biomasa aérea de avena presentó las menores concentraciones de N y las mayores correspondieron a vicia en todos los años evaluados.

Cuando la avena fue fertilizada se lograron incrementar los niveles de residuos y concentración de N aportados al suelo con respecto a la avena sin fertilizar. La cantidad de MS fue un buen indicador de su calidad. Las relaciones de C:N y LIG:N, así como los contenidos de celulosa, hemicelulosa y carbono, estuvieron en función a las cantidades de MS producida por la biomasa aérea de los diferentes CC.

La biomasa aérea de vicia presentó las mayores producciones y concentraciones de lignina, debido al estado de crecimiento en el momento del corte y a las condiciones climáticas favorables.

La temperatura y el momento de evaluación modificaron cantidad y calidad de los residuos. Los parámetros evaluados fueron sensibles a estos cambios.

La asociación entre diferentes especies de CC de otoño/invierno afectó la producción y la composición química de la biomasa producida en relación a los cultivos puros. Con el aumento de la producción de MS se modifica la calidad del material en forma variable, según las especies que integran la asociación y su proporción.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, JAA. 2009. Dinámica do nitrogênio sob sistema plantio direto e parâmetros para o manejo da adubação nitrogenada no milho. 200p. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria.
- Acosta, JAA; TJC Amado; A Neergaard De; M Vinther; LS Da Silva & RN Da Silveira. 2011. Effect of 15N labeled hairy vetch and nitrogen fertilization on maize nutrition and yield under no tillage. *R. Bras. Ci. Solo* 35: 1337-1345.
- Aita, C; CA Ceretta; AL Thomas; A Pavinato & C Bayer. 1994. Especies de invierno como fonte de nitrogênio para o milho no sistema de cultivo mínimo e feijão em plantio direto. *Revista Bras. Ci. Solo. Campinas* 18(1): 101-108.
- Aita, C; CJ Basso; CA Ceretta; CN Gonçalves & CO Da Ros. 2001. Plantas de cobertura de solo como fontes de nitrogênio ao milho. *R. Bras. Ci. Solo* 25: 157-165.
- Allison, FE. 1966. The fate of nitrogen applied tu soils. *Adv. Agron.* 18: 219-258.
- Alvarenga, RC; JC Cruz & EH Novotny. 2007. Plantas de cobertura de solo. Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de Produção. Disponível em 13/fev/2007: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho/ferverde.htm>.
- Álvarez, C; M Barraco; M Díaz-Zorita & C Scianca. 2006a. Uso de cultivos de cobertura en rotaciones con base soja: efecto sobre algunas propiedades edáficas y rendimiento de los cultivos en un Hapludol típico del noroeste bonaerense. *En: XXI Congreso argentino de la ciencia del suelo. Resúmenes. Anales, Salta, AACs, CD-ROM.*
- Álvarez, C; C Scianca; M Barraco & M Díaz-Zorita. 2006b. Impacto de cereales de cobertura sobre propiedades edáficas y producción de soja. *En: XXI Congreso argentino de la ciencia del suelo. Resúmenes. Anales, Salta AACs, CD-ROM.*
- Amado, TJC. 1997. Disponibilidade de nitrogênio para o milho em sistemas de cultura e preparo do solo. Tese (Doutorado em Agronomia-Ciência do Solo), Programa de Pósgraduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 201 f.
- Amado, TJC.; J Mielniczuk & SBV Fernandes. 2000. Leguminosas e adubação mineral como fontes de nitrogênio para o milho em sistemas de preparo do solo. *Revista Bras. Ci. Solo, Campinas* 24: 179-189.
- Andriulo, A; C Sasal & M Rivero. 2001. Los sistemas de producción conservacionistas como mitigadores de la pérdida de carbono edáfico. *En: Siembra Directa II, INTA.* 17-28.
- Aulakh, MS; JW Doran; DT Walters; AR Mosier & DD Francis. 1991. Crop residue type and placement effects on denitrification and mineralization. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55: 1020-1025.
- Baigorria, T & C Cazorla. 2009. Evaluación de especies como cultivo de cobertura en sistemas agrícolas puros en siembra directa. In: jornadas nacionales de sistemas productivos sustentables. AACs. Bahía Blanca.
- Bailey, RW. 1958. Reactions of Pentoses With Anthrone. *Bioch. J.* 68: 669.
- Barraco, M; C Álvarez & C Scianca. 2009. Aportes de nutrientes y rastros de diferentes especies utilizadas como cultivos de cobertura. *En: Jornadas nacionales de sistemas productivos sustentables. AACs. Bahía Blanca.*
- Basso, CJ. 1999. Épocas de aplicação o de nitrogênio para o milho cultivado em sucessão a plantas de cobertura de solo, no sistema plantio direto. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria. 91pp.
- Bortolini, CG; PRF Silva & G Argenta. 2000. Sistemas consorciados de aveia preta e ervilhaca comum como cobertura de solo e seus efeitos na cultura do milho na sucessão. *Revista Bras. Ci. Solo* 24: 887-903.
- Bremner, JM. 1996. Nitrogen Total. *In: DL Sparks (ed) Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods., SSSA-ASA, Madison, WI, USA.* 1085-1123.
- Buchanan, M & LD King. 1993. Carbon and phosphorus losses from decomposing crop residue in no-till and conventional till agroecosystems. *Agronomy journal madison* 85: 631-638.
- Capurro, J; J Surjack; J Andriani; MJ Dickie; C Gonzalez & A Vernizzi. 2009. Evaluación de cultivos de cobertura, 2º Año. *En: Jornadas Nacionales de Sistemas Productivos Sustentables. CD-ROM AACs. 10 y 11 de agosto de 2009. Bahía Blanca. 3 pp.*
- Das Ros, CO & C Aita. 1996. Efeito de espécies de invierno na cobertura do solo e fornecimento de nitrogênio ao milho em plantio direto. *Revista Bras. Ci. Solo Campinas* 20(1): 135-140.
- Di Rienzo, JA; F Casanoves; MG Balzarini; L González; M Tablada & CW Robledo. 2008. InfoStat, versión 2008. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Duval M; JA Galantini; JE Capurro; JM Martínez & FM López. 2016. Use of different winter cover crop species in soybean monoculture: effects on soil organic carbon and its fractions. *Soil & Tillage Research* 161: 95-105.
- Fernández, R; JA Galantini; MR Landriscini; A Marinissen & M Enrique. 2007. Fertilización con N y S en trigo con distinto antecesor: efecto sobre la nutrición, el rendimiento y la calidad. *Revista Investigaciones Agropecuarias (RIA)-INTA* 36(2): 29-48.
- Giacomini, SJ. 2001. Consorciação de plantas de cobertura no outono/inverno e fornecimento de nitrogênio ao milho em sistema plantio direto. Dissertação de Mestrado. Pp.115. Universidade Federal de Santa Maria. Pp. 91.
- Giacomini, SJ; C Aita; IC Chiapinotto; AP Hübner; MG Marques & F Cadore. 2004. Consorciação de plantas de cobertura antecedendo o milho em plantio direto: II - Nitrogênio acumulado pelo milho e produtividade de grãos. *Rev. Revista Bras. Ci. Solo* 28: 751-762.
- Goering, HK & PJ Van Soest. 1970. Forage fiber analyses (apparatus, reagents, procedures, and some applications). *Agric. Handbook* 379. ARS, USDA, Washington, DC.
- Handayanto, E; G Cadisch & KE Giller. 1997. Regulating N mineralization from plant residues by manipulation of quality. *In: Cadisch, G. & Giller, K.E. (org.) Driven by nature: plant litter quality and decomposition. London: University of London; CAB International* 175-185.
- Heinrichs, R; C Aita; TJC Amado & AL Fancelli. 2001. Cultivo consorciado de aveia e ervilhaca: Relação C/N da fitomassa e produtividade do milho em sucessão. *Revista de Ciência do Solo* 25: 331-340.
- INTA/CIRN 1989. Mapa de suelos de la provincia de Buenos Aires, escala 1:500000. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, INTA, CIRN-Instituto de Evaluación de Tierras.
- Jama, BA & PKR Nair. 1996. Decomposition -and nitrogen-mineralization patterns of *Leucaena leucacephala* na Casia siamea mulch under tropical semiarid conditions in Kenya. *Plant and Soil Netherland* 179: 275-285.

- Janssen, BH. 1996. Nitrogen mineralization in relation to C:N ratio and decomposability of organic materials. *Plant and Soil Netherland* 181: 39-45.
- Koeing, RT & VL Cochran. 1994. Decomposition and nitrogen mineralization from legume and non-legume crop residues in a subarctic agricultural soil. *Biologic Fertility Soil Berlin* 17: 269-275.
- Kumar, K & KM Goh. 2003. Nitrogen Release from crop residues and organic amendments as affected by biochemical composition. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* v. 34(17): 2441-2460.
- Mary, B; S Recous; D Darwis & D Robin. 1996. Interactions between decompositions of plant residues and nitrogen cycling in soil. *Plant and Soil* v. 181, p. 71-82.
- Monteiro, HCF; RB Cantarutti; JR Nascimento; AJ Regazzi & DM Fonseca. 2002. Dinâmica de decomposição e mineralização de nitrogênio em função da qualidade de resíduos de gramíneas e leguminosas forrageiras. *R. Bras. Zootec.* 31: 1092-1102.
- Ovejero, F. 1987. Evaluación química, biológica de los forrajes. Dirección de desarrollo de recursos humanos. COMCAL.
- Palm, CA & PA Sánchez. 1991. Nitrogen release from de leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents. *Soil Biologic Biochemistry* 23(1): 83-88.
- Parton, WJ; WL Silver & IC Burkel. 2007. Global-scale similarities in nitrogen release patterns during long-term decomposition. *Science* Vol.315. 19 de Janeiro de 2007.
- Pordomingo, AJ; AB Pordomingo; VA Barbeito; G Volpi Lagreca; M Gatti & A Quiroga. 2004. Producción y calidad del forraje de verdeos de invierno en siembra directa bajo fertilización nitrogenada y fosforada. *En: Producción y calidad de verdeos de invierno. Boletín de Divulgación técnica N° 80. Ediciones INTA.*
- Quemada, M & ML Cabrera. 1995. Carbon and nitrogen mineralized from leaves and stems of four cover crops. *Soil Sci. Am. J.* 59: 471-477.
- Quiroga, A; R Fernández; I Frasier & C Scianca. 2009. Cultivos de cobertura. Análisis de su inclusión en distintos sistemas de producción. *En: I Jornadas Nacionales de Sistemas Productivos Sustentables. Bahía Blanca. CD-ROM AACS 2009. Pp. 9.*
- Ranells, NN & MG Wagger. 1996. Nitrogen release grass and legume cover crop monocultures and bicultures. *Agron. J.* 88: 777-782.
- Sá Pereira, E de. 2013. Los cultivos de cobertura y la productividad del maíz en siembra directa: dinámica del nitrógeno, agua y fracciones orgánicas del suelo. Tesis de Doctorado en Agronomía, UNS, Bahía Blanca. Argentina, 166 pp.
- Sá Pereira, E de; JA Galantini; A Quiroga & MR Landriscini. 2014. Efecto de los cultivos de cobertura otoño invernales, sobre el rendimiento y acumulación de N en maíz en el sudoeste bonaerense. *Ciencia del Suelo* 32(2): 219-231.
- Sá Pereira, E de; M Duval & JA Galantini. 2017. Use of a three-compartment model to evaluate the dynamics of cover crop residues. *Archives of Agronomy and Soil Science*, DOI: 10.1080/03650340.2017.1296137.
- Schomberg, HH & JL Steiner. 1994. Nutrient dynamics of crop residues decomposing on a follow no-till surface. *Soil Science Society America Journal* 63: 607-013.
- Soil Survey Staff. 2010. *Keysto Soil Taxonomy*, 11th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC. 365 pp.
- Ta, TC & MA Farris. 1987. Species variation in the fixation and transfer on N from legumes to associated grasses. *Plant and Soil* 98: 265-274.
- Tian, G; BT Kang & L Brussaard. 1992. Biological effects of plant residues with contrasting chemical compositions under humid tropical conditions-decomposition and nutrient release. *Soil Biologic Biochemistry Exter.* 24: 1051-1060.
- Vaughan, JD & GK Evanylo. 1998. Corn response to cover crop species, spring desiccation time, and residue management. *Agron. J.* 90: 536-544.
- Wander, M & S Traina. 1996. Organic fractions from organically and conventionally managed soils: I. carbon and nitrogen distribution. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60: 1081-1087.
- Wiethölter, S. 1993. Adubação nitrogenada em triticales como base no teor materia orgânica do solo. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT. 25 pp.