



Estación Experimental
Agropecuaria Bordenave

1

Simulación de la dinámica de los residuos de cultivos de cobertura bajo siembra directa

Sá Pereira, E. de¹; Galantini, J.A.²; Quiroga, A.³

¹INTA AER Coronel Suárez – EEA Bordenave;

²CIC-CONICET-CERZOS y Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur;

³INTA EEA Anguil – Pcia La Pampa; Argentina.

Autor de contacto: *sapereirae@yahoo.com.ar*; San Martín 661 – (7540) Coronel Suárez,
Buenos Aires, Argentina; Tel: 02926-431422

Resumen

Los cultivos de cobertura (CC) brindan protección contra los procesos erosivos, por lo que su velocidad de descomposición, la que depende de su composición, determina el tiempo de permanencia sobre la superficie del suelo. El objetivo de este trabajo fue describir la evolución de la dinámica de descomposición de residuos de CC y ajustar ecuaciones matemáticas simples, con potencial de uso en modelos. El ensayo se realizó en macetas con un suelo Argiudol típico sin disturbar y sin cultivo colocadas en invernáculo. Se utilizaron residuos de los CC de avena, vicia y trébol, a los que se les determinó: N, celulosa, hemicelulosa, compuestos no estructurales y lignina. Se determinó el peso del residuo superficial remanente y las diferentes fracciones de MO a lo largo de un año. La velocidad de descomposición inicial fue mayor en vicia luego en avena y menor en trébol. Los valores de k fueron: 0,0040, 0,0044 y 0,0053 para Avena, Vicia y Trébol, respectivamente. La mayor descomposición se encontró en el suelo con Avena y vicia como CC. Los resultados de la aplicación del modelo matemático para la simulación de la descomposición de los diferentes residuos de los CC pusieron de manifiesto un buen ajuste con los datos reales. La tasa de descomposición de las coberturas puede ser utilizada para estimar la durabilidad de los residuos en el campo. Las fracciones más lábiles, carbono orgánico particulado, los carbohidratos totales y solubles fueron las más afectadas por el tipo de residuo en el corto plazo.

Introducción

Los rastrojos de los cultivos representan la fuente más importante para retornar MO al suelo, y mediante un adecuado manejo permiten conservar el agua, reducir el riesgo de erosión y proveer nutrientes durante su descomposición. Para lograr estos objetivos es necesario conocer el ritmo de descomposición, los factores que lo modifican y en qué forma lo hacen (Galantini et al., 1991; Cordone & Galantini, 1994; Gonçalves et al., 2010) de esta forma poder modificar mediante el manejo la cantidad de partida o su calidad.



Ministerio de
Agricultura, Ganadería y Pesca
Presidencia de la Nación



Estación Experimental
Agropecuaria Bordenave

2

La concentración de nutrientes (C y N), carbohidratos estructurales y otros componentes (Ej: lignina y otros polifenoles) han sido utilizados para caracterizar la calidad bioquímica de estos residuos. Determinaciones de carbohidratos solubles (CHs) (Kuo & Sainju, 1998), celulosa (Bending et al., 1998), o lignina (Giller & Cadisch, 1997) han sido relacionadas con la descomposición de residuos y/o tasas de mineralización de C y N. Los CHs representan una fracción carbonada altamente lábil de los carbohidratos totales (CHt) y corresponden a los polisacáridos extracelulares o no celulósicos predominantes de origen microbiano (Gregorich et al., 1994). En general, los carbohidratos presentan una variabilidad temporal más pronunciada que el CO, asociada a los cambios de la humedad del suelo, la temperatura y las precipitaciones (Haynes, 2005), así como a la cantidad y calidad de los residuos vegetales aportados al suelo. Kuo et al. (1997) encontraron que esta fracción puede ser un buen indicador de la calidad de la MO, en cortos períodos. De la misma forma, surgieron modelos y estudios para la obtención de tasas de descomposición que tienen en cuenta el rol de la temperatura, la humedad, niveles de nutrientes y sus interacciones (Ruffo & Bollero, 2003b). Teniendo en cuenta que en muchos estudios de la descomposición de residuos no tienen en cuenta las condiciones reales de descomposición, ya que los suelos son alterados y/o se incorporan los residuos en bolsas, es que resulta de especial importancia para los sistemas de SD obtener resultados en las mismas condiciones de campo utilizando muestras no alteradas.

El objetivo de este trabajo fue el de ajustar ecuaciones matemáticas simples, con potencial de uso en modelos, que expliquen la evolución de la dinámica de descomposición de residuos de CC de avena, vicia y trébol, obtenidas bajo condiciones controladas de humedad y temperatura.

Materiales y métodos

Se utilizó un suelo franco (Argiudol típico) con 2,74% de MO, 14 mg kg⁻¹ de P y 6,5 de pH de Coronel Suárez. Se obtuvieron 120 macetas sin disturbar a una profundidad de 0-15 cm, utilizando un extractor especialmente diseñado (Sá Pereira & Kruger 2008), y se colocaron al azar en invernáculo. Las macetas fueron colocadas en un invernáculo del CERZOS (CCT-Bahía Blanca) del CONICET. Los tratamientos fueron Avena (con el equivalente a 6 Mg de MS ha⁻¹), Vicia (equivalente a 6 Mg ha⁻¹), Trébol (equivalente a 3 Mg ha⁻¹) y Barbecho (sin aplicación de residuos), extraídos en el mes de octubre en estado de prefloración-floración.

Se controló periódicamente la humedad de las macetas, regando entre una y dos veces semanales según la estación. La temperatura fue controlada, gracias al equipamiento disponible y nunca superó los 28°C. Los muestreos se realizaron en un intervalo de tiempo de 370 días desde Noviembre de 2007 hasta Noviembre de 2008 con intervalos de 30 días, donde periódicamente se tomaron muestras destructivas, 3 repeticiones por tratamiento y por fecha, a los 21, 59, 93, 130, 201, 270 y 362 días desde el inicio de la experiencia. En cada una de las macetas se determinó el peso del residuo superficial remanente y el suelo se dividió en dos capas: 0-5 y 5-15 cm. Las muestras de suelo fueron secadas y molidas para la determinación de las diferentes fracciones de MO en el Laboratorio de Suelos, Plantas y Ambiente (CERZOS-Agronomía, UNS).



Ministerio de
Agricultura, Ganadería y Pesca
Presidencia de la Nación



Estación Experimental
Agropecuaria Bordenave

3

Las muestras de residuo remanente se secaron, se pesaron y posteriormente fueron molidas para determinar el contenido de cenizas. El material se secó en estufa hasta peso constante y se molió para determinar su calidad. Se determinó Fibra detergente ácida (FDA), Fibra detergente neutra (FDN), Carbohidratos no estructurales solubles (CNes), Nitrógeno y Lignina, en el laboratorio de la EEA Bordenave del INTA. Las muestras de suelos de 0-5 y 5-15 fueron secadas al aire y tamizadas por 2 mm. Posteriormente se aplicó el fraccionamiento de tamizado en húmedo descrito por Galantini (2008), Se obtuvieron de esta forma la fracción gruesa (100 a 2000 μm) y la fina (0-100 μm). En la fracción gruesa se determinó la cantidad de carbono orgánico particulado (COP) mediante combustión seca utilizando un analizador automático de carbono (LECO Corporation, USA). Los valores obtenidos fueron expresados con porciento de suelo utilizando el valor de fracción gruesa determinado en cada muestra. A las muestras se le determinó CHt y CHs (Puget et al., 1998).

Para simular los cambios en la cantidad de residuos remanente en cada tratamiento se utilizó una planilla de Cálculo del curso de postgrado "Modelos matemáticos de simulación aplicados a la investigación Agropecuaria" dictado por el Dr. Galantini (Escuela de Graduados de la UNS). El modelo es una descripción simple de los procesos de mineralización e inmovilización del N resultante de la descomposición del material orgánico del suelo. Sintéticamente, el modelo considera al residuo constituido por tres componentes diferentes: Carbohidratos no estructurales (CHne), celulosa más hemicelulosa (C+H) y lignina (Lig). Cada uno de estos compartimentos tiene una velocidad de descomposición distinta. Se utilizaron los valores propuestos por Seligman y van Keulen, (1981) los que demostraron buen ajuste en experiencias previas (Galantini et al., 1991)

Resultados y discusión

La dinámica de los residuos de avena, vicia y trébol remanentes en las macetas a lo largo del periodo estudiado (Figuras 1a, b y c) es coincidente con la reportada en la literatura (Gregory et al., 1985) para diferentes tipos de residuos, con una descripción de tipo exponencial negativa. La pérdida del residuo agregado de avena, vicia y trébol fue superior al 49, 61, 42 y 79, 84, 88 luego de 100 y 300 días, respectivamente. La velocidad de descomposición inicial fue mayor en vicia luego en avena y menor en trébol, en concordancia con la mayor cantidad de compuestos fácil degradación. Es de destacar, en el primer intervalo de muestreo (0-21 días) se nota una mayor tasa de descomposición en vicia que en avena y trébol, mientras que entre los 130 y 201 días, la mayor tasa de descomposición en avena y trébol tienden a igualar a la vicia. Tasas de descomposición más rápida fueron observados por Sá et al. (2009) entre los 107 y 133 días en el sur de Brasil trabajando con residuos de avena a campo. En el caso de los residuos de trébol, la mayor proporción de tallos y flores con mayor contenido de tejido lignificado debido al momento de eliminación de la cobertura vegetal podría ser la posible causa de una más lenta descomposición inicial. Cordone & Galantini (1994) y Gonçalves et al. (2010) encontraron el 50 y 25% de material orgánico remanente de avena y trigo en SD luego de 100 y 400 días, respectivamente.



Ministerio de
Agricultura, Ganadería y Pesca
Presidencia de la Nación



Estación Experimental
Agropecuaria Bordenave

4

En el experimento realizado el material orgánico remanente decreció exponencialmente y mostró una aceleración de la descomposición cuando los restos vegetales fueron de vicia y trébol (Figura 1b y c) y una disminución con avena (Figura 1a). Las ecuaciones obtenidas fueron:

Avena	$y = 4,293 e^{(-0,0040 * t)}$	$R^2 = 0,95$
Vicia	$y = 3,549 e^{(-0,0044 * t)}$	$R^2 = 0,97$
Trébol	$y = 2,553 e^{(-0,0053 * t)}$	$R^2 = 0,90$

Donde y es la cantidad de material remanente y t es el tiempo transcurrido en días

El valor de k , que marca la velocidad de descomposición promedio de cada uno de los residuos, fue 0,0040, 0,0044 y 0,0053 para Avena, Vicia y Trébol, respectivamente. Es decir, que si bien en trébol la descomposición inicial fue lenta, después de los 150 días se acelera respecto de los otros dos residuos utilizados. Los resultados demuestran que si bien es posible encontrar una ecuación con un buen ajuste que permite predecir la descomposición de los residuos en el largo plazo, existen desfases entre los datos observados y predichos en la etapa inicial de la descomposición. Seguramente, la muy rápida pérdida del material fácilmente utilizable por los microorganismos sea la responsable de estas diferencias. Debido a esta dinámica tan particular, es mucho más difícil un ajuste perfecto con un modelo con un solo compartimento (residuos) y más fácil cuando se consideran varios de los componentes del residuo: (lignina, carbohidratos, compuestos solubles, etc.). En este sentido, los modelos matemáticos tienden a considerar otros factores involucrados en el proceso de descomposición, como pueden ser la calidad del material y las condiciones de humedad y temperatura.

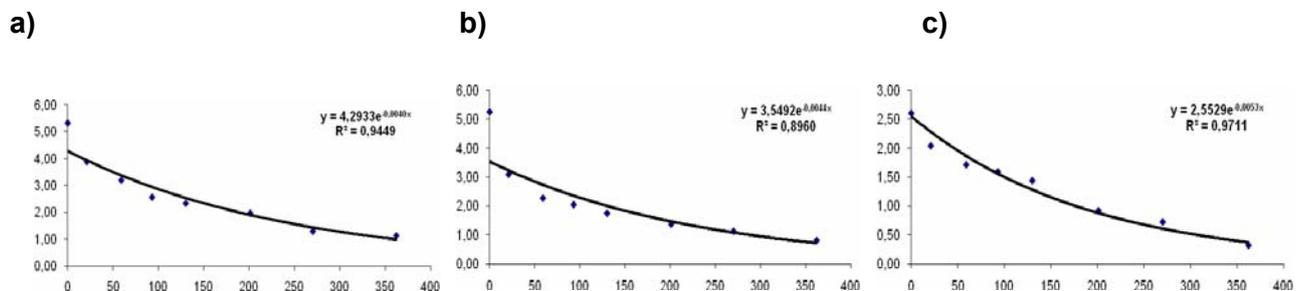


Figura 1: Material orgánico remanente a los 360 días de a) Avena b) Vicia c) Trébol





Estación Experimental
Agropecuaria Bordenave

5

Analizando los resultados de la descomposición de diferentes CC se observaron patrones distintos en la dinámica de descomposición en función de cada tipo de residuo, principalmente en la fase inicial de descomposición, en la cual el mayor contenido de N y la menor relación C:N favorecieron a una mayor tasa de descomposición (Figuras 2). A lo largo de los 370 días de la experiencia los residuos de vicia presentaron siempre mayor velocidad de descomposición, descomponiéndose de 40 a 50% de la MS en 30 días, después de colocados los residuos en las macetas (Figura 2a). Los residuos de avena presentaron mayor persistencia, siendo que después de 130 días todavía quedaba un remanente de material orgánico de 45%, reafirmando que el menor contenido de N y la mayor relación C:N deben haber dificultado su degradación (Figura 2b). Comparada con los residuos de avena y vicia, la composición de trébol, con valores intermedios de N y relación C:N, proporciono tasas de descomposición intermedias.

Al contrario de la tasa de descomposición, el proceso de liberación de N de los residuos fue influenciado de forma diferentes por la cantidad de residuos adicionado en las macetas de descomposición (Figuras 2a y 2b). El mayor aporte de residuos influenció en el proceso de mineralización e inmovilización de N en función de la relación C:N de cada CC. Entretanto, los residuos de vicia, con elevado contenido de N y baja relación C:N liberaron hasta el 32% del N acumulado en sus residuos en los primeros 30 días, pudiendo ofrecer al suelo cantidades que varían de 20 a 100 kg ha⁻¹ de N, según las mediciones realizadas a campo. Estas características de los residuos de vicia serían un complemento ideal de la fertilización nitrogenada con mayor producción de granos, aspectos que se verificaron en el cultivo de maíz posteriormente implantado durante los tres años de ensayos. Con los residuos de avena se observó una inmovilización inicial, siendo intensificada a medida que hubo aumento del aporte de residuos. La re-mineralización parcial al suelo, según las estimaciones del modelo, ocurrió a partir de los 60 días de colocado los residuos en las macetas.

Luego del secado de los cultivos de cobertura, la descomposición potencial de la MOP en la capa superficial de cada unos de los suelos se puede observar en la Figura 3. La mayor descomposición se encontró en el suelo con Avena y vicia como CC. Posiblemente, el mayor aporte de material orgánico de fácil descomposición pudo haber estimulado la pérdida, mientras que en el suelo en barbecho luego de un período prolongado sin aportes aumenta la proporción de material más resistente.

Los cambios en el contenido de CHt y CHs del suelo con barbecho siguieron una tendencia semejante a la descomposición del COP (Figura 4). Esto pone en evidencia que estos materiales son fácilmente utilizados por los microorganismos como sustrato y van agotándose con el tiempo.



Ministerio de
Agricultura, Ganadería y Pesca
Presidencia de la Nación



Estación Experimental
Agropecuaria Bordenave

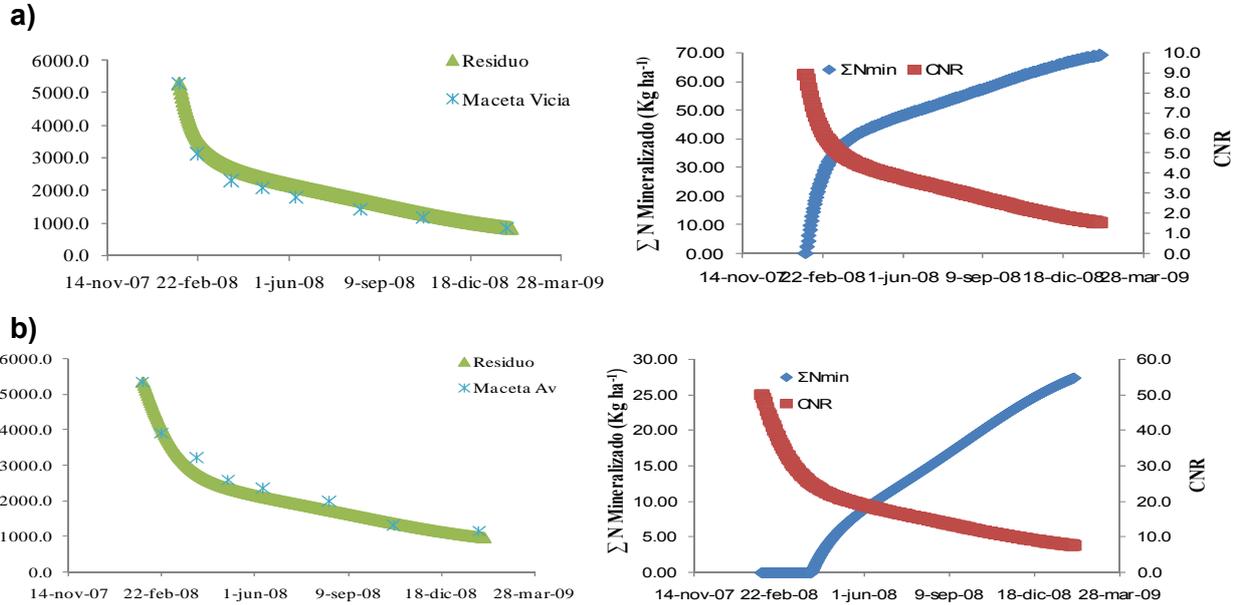


Figura 2 – MS remanente observada (*) y simulada (Δ) en las macetas con residuos de a) Vicia y b) Avena.

Cuando se analizan las figuras correspondientes a los diferentes CC se detectaron aumentos y disminuciones. En el caso de la avena, se observó una disminución inicial con un aumento posterior. En vicia, un aumento inicial, disminución y finalmente otro aumento, mientras que en Trébol, los valores fueron relativamente uniformes en el tiempo. Evidentemente, estos cambios estarían asociados a los procesos de transformación de los residuos y la utilización por la biota edáfica, donde la calidad del material y la disponibilidad de N son importantes reguladores. Suponiendo que la dinámica de los CHT del suelo con barbecho es semejante a la que se produce en los suelos con CC, sería posible estimar el aporte proveniente de los residuos incorporados.

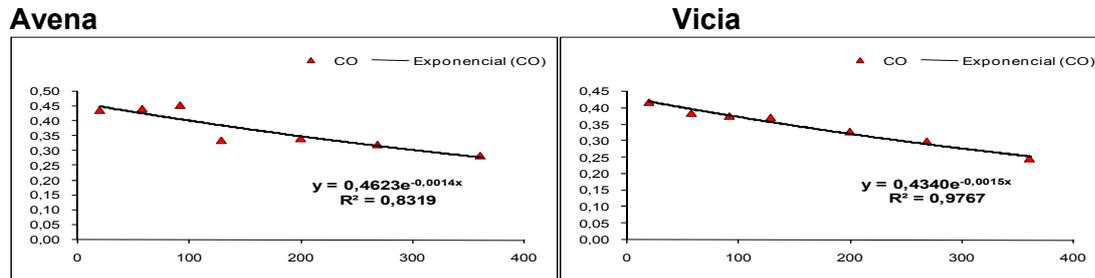


Figura 3 Dinámica del carbono orgánico particulado (COP) en 0-5 cm con antecesores Avena y Vicia



Estación Experimental
Agropecuaria Bordenave

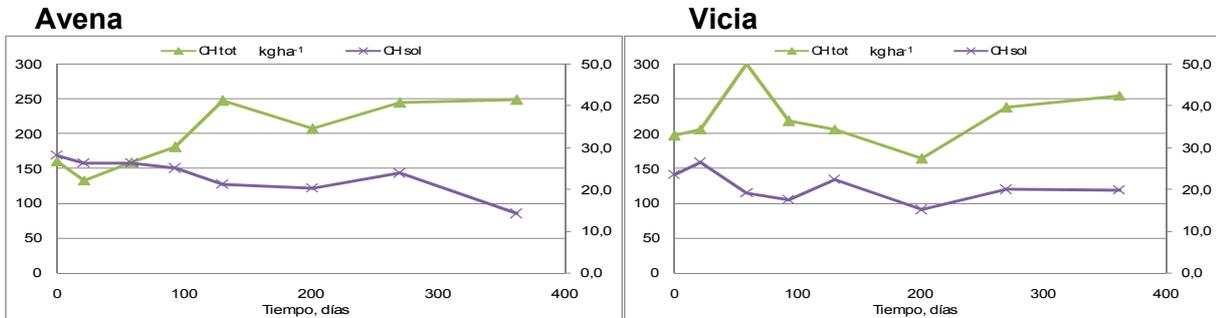


Figura 4. Dinámica del contenido de carbohidratos totales (CH tot) y solubles (CH sol) en kg ha^{-1} en la profundidad 0-5 cm con diferente antecesor; cultivo de cobertura de Avena y Vicia.

En la Figura 5 se presentan las estimaciones para el suelo con avena y con vicia. Se observa claramente que en el caso de la gramínea el aporte de material carbonado se demora en el tiempo, mientras que en el caso de la vicia tiene dos momentos importantes, al comienzo de la descomposición, y al final del periodo considerado. Esta fracción puede ser un buen indicador de la calidad de la MO, en cortos períodos de tiempo (Kuo et al., 1997). Más recientemente Hevia et al. (2008) concluyeron que la mayor variabilidad que presentan los CH totales en SD está asociada a los diferentes tipos de residuos vegetales utilizados.

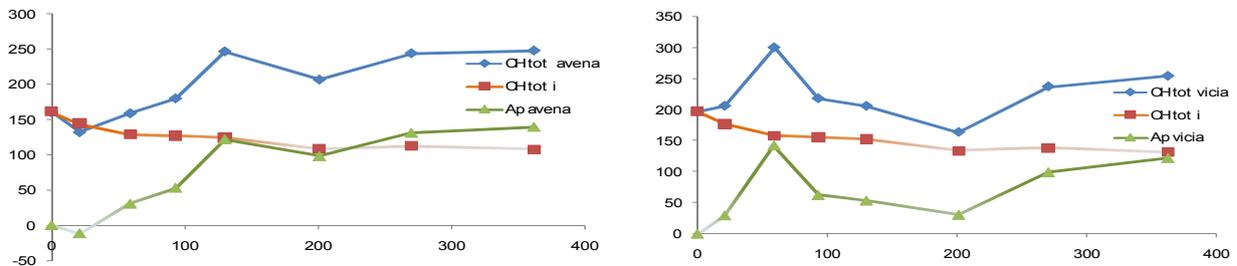


Figura 5. Dinámica del contenido de carbohidratos totales (CH tot, kg ha^{-1} , azul) en la profundidad 0-5 cm con antecesor Avena y Vicia, remanente del inicial (naranja) y aporte del CC (verde)





Estación Experimental
Agropecuaria Bordenave

8

Conclusión

La tasa de descomposición de las coberturas, solo alcanzaron valores próximo potenciales y estos pueden ser utilizados para estimar la durabilidad de los residuos en el campo.

Los residuos de vicia presentaron elevada tasa de descomposición inicial, pudiendo promover una elevada disponibilidad de N al suelo.

Los residuos de avena presentaron una lenta tasa de descomposición, causando inmovilización temporaria de N del suelo, con liberación tardía y parcial.

Las fracciones más lábiles: CHt, CHs y COP fueron afectadas por el tipo de residuo en períodos cortos de tiempo.

Bibliografía

- BENDING, G.D., M.K. TURNER, AND I.G. BURNS. 1998. Fate of nitrogen from crop residues as affected by biochemical quality and themicrobial biomass. *Soil Biol. Biochem.* 30:2055–2065.
- CORDONE G.E.; GALANTINI J.A. 1994. Simulación de la dinámica de los residuos de la cosecha de trigo bajo dos sistemas de labranza In *Actas III Congreso Nacional de Trigo*. p.61-62. Bahía Blanca, 26-28 de Octubre.
- GALANTINI J.A., A.E. ANDRIULO, G. CORDONE Y C. PECORARI. 1991. Modelos de simulación de la dinámica de la materia orgánica. Presentado en la Jornada "Materia Orgánica del Suelo", 19 noviembre, EEA INTA Perganino, pág. 39-62.
- GALANTINI J.A. Y IGLESIAS, J. 2008. Estratificación de las fracciones orgánicas en suelos de la región semiárida pampeana de Argentina. V Congreso Iberoamericano de Física y Química Ambiental, 14-18 de abril, Mar del Plata (BA).
- GILLER, K.E., AND G. CADISCH. 1997. Driven by nature: A sense of arrival or departure? p. 393–499. In G. Cadisch and K.E. Giller (ed.) *Driven by nature: Plant litter quality and decomposition*. Int., Cambridge, UK.
- GONÇALVES, S. L. SARAVIA O-P. FERREIRA O.; TORRES E. 2010. Influência de fatores climáticos na decomposição de resíduos culturais de aveia e trigo /Londrina: Embrapa Soja, (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Soja, ISSN: 2178-1680 ; n.5).
- GREGORICH E.G. , M.R CARTER, D.A. ANGERS, C.M. MONREAL, B.H. ELLERT. 1994. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soil. *Can.J. of Soil Sci.* 74: 367-385.
- HAYNES R. 2005. Labile organic matter fractions as central components of the quality of agricultural soils: An Overview. *Adv. Agronomy.* 85: 221-268.ity of mixed leguminous and non-leguminous cover crop residues in soil. *Biol. Fertil. Soils* 22:310–317.
- HEVIA G. G., BUSCHIAZZO D. MONTSERRAT DÍAZ RAVIÑA. 2008 Variación estacional de compuestos orgánicos del suelo en diferentes sistemas de labranza. In: *Estudio de las fracciones orgánicas en suelos de la Argentina*. Editor: Galantini J. A. Universidad Nacional del Sur.



Ministerio de
Agricultura, Ganadería y Pesca
Presidencia de la Nación



Estación Experimental
Agropecuaria Bordenave

9

- KUO S., AND SAINJU U.M. 1998. Nitrogen mineralization and availability. 1989. Predicting rates of wheat residue decomposition. Soil
- KUO S., U.M. SAINJU, E.J. JELLUM. 1997. Winter cover crop effects on soil organic carbon and carbohydrate in soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 61: 145-152.
- PUGET, P., ANGERS, D.A., & CHENU, C. 1998. Nature of carbohydrates associated with water-stable aggregates of two cultivated soils. Soil Biology and Biochemistry 31:55-63.
- RUFFO, M.; BOLLERO, G.A. 2003b Residue Decomposition and Prediction of Carbon and Nitrogen Release Rates Based on Biochemical Fractions Using Principal-Component Regression. Agronomy Journal, v. 95, p. 1034-1040.
- SÁ J. C. M., CARLI R. S, ANTUNES E. A. P. BRIEDIS. 2009. Índice de extratificación do C como indicador de qualidade do plantio direto. Congreso de Apresid. Rosario. 5 p.
- SELIGMAN N.G. AND. VAN H. KEULEN 1981. A simulation model of annual pasture production limited by rainfall and nitrogen. P. 192-221. In M.J Frissel and J.A, van Veen (ed.) Simulation of nitrogen behaviour of soil-plant systems. PUDOC, Wageningen, Netherlands.



Ministerio de
Agricultura, Ganadería y Pesca
Presidencia de la Nación