EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD MICROBIANA EN FUNCIÓN DE CUATRO ABONOS VERDES EN UN RHODIC KANDIUDOX BAJO SIEMBRA DIRECTA Y LABOREO CONVENCIONAL [1]

Laura Andrea Benegas Negri[2]
María del Pilar Galeano Samaniego [3]
Miguel Angel Ken Moriya Roa [3]

ABSTRACT

The microbial activity evaluation of a Rhodic Kandiudox from Yguazú district, Alto Paraná, Paraguay Oriental Region was made to based in the residues of *Vicia villosa Roth, Avena strigosa Schreb,* and a mixture of them, in small plots with no tillage (direct sowing system) and tillage (conventional system). althought the residues decomposition speed and the microbial activity produced by the winter green manures residues with direct sowing system; and with residues of *Crotalaria juncea L.* and *Zea mays L.* and a mixture of them with in conventional system. The leguminous residues presented greater decomposition speed in field compared with graminea residues that have the greater permanence in the soil in both tillage systems. The microbial activity was greater in the mixes of gramineas and leguminous in direct sowing system. The green manures residues addition increase microbial activity in both tillage systems.

Key words: microbial activity, green manures, direct sowing system, conventional tillage.

RESUMEN

La evaluación de la actividad microbiana en un Rhodic Kandiudox del distrito de Yguazú, Alto Paraná, región Oriental del Paraguay fue realizada en función de los residuos de *Vicia villosa Roth, Avena strigosa Schreb,* y la mezcla de ambos, en áreas con sistema de siembra directa y laboreo convencional, a través de la velocidad de descomposición de los residuos y de la actividad microbiana producida por los residuos de los abonos verdes de invierno en el sistema de siembra directa; y, con residuos de *Crotalaria juncea L.* y *Zea mays L.* y la mezcla de ambos en el sistema convencional. Los residuos de leguminosas presentaron mayor velocidad de descomposición en el campo comparados con los de gramíneas, que tuvieron mayor permanencia en el suelo en ambos sistemas de manejo. La actividad microbiana fue mayor en la mezcla de gramínea y leguminosa en el sistema de siembra directa. La adición de residuos de abonos verdes incrementó la actividad microbiana en ambos sistemas.

Palabras clave: actividad microbiana, abonos verdes, sistema de siembra directa, laboreo convencional.

1 Tesis de grado presentada a la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción. Departamento de Suelos y Ordenamiento Territorial.

2 Alumna del 10° Semestre de la Carrera de Ingeniería Agrnómica, FCA-UNA

3 Profesores Ings. Agrs. Del Departamento de Suelos y Ordenamiento Territorial de la FCA-UNA

Introducción

La actividad de la biomasa microbiana del suelo hace posible la descomposición de los diferentes materiales orgánicos, condiciona las transformaciones de nitrógeno y carbono en el suelo y torna disponibles los nutrientes para las plantas.

Los residuos de abonos verdes son fuente de energía y nutrientes para los microorganismos del suelo, y poseen gran variación en la composición química y estructura, condicionando la actividad de la biomasa microbiana. El contenido de carbono y de nitrógeno de estos materiales son variables y permiten evaluar esa actividad.

Una de las maneras más efectivas para la determinación de la actividad microbiana resultante de la incorporación o deposición superficial de los residuos de abonos verdes en un suelo, es por medio de la medición de la respiración de los microorganismos presentes a través de la liberación de anhídrido carbónico (CO_2).

En este trabajo se evaluó la influencia de dos diferentes tipos de residuos de abonos verdes de invierno en la actividad microbiana en suelos con el sistema de siembra directa y convencional. Asimismo, se realizaron determinaciones de la actividad microbiana, cuantificada como anhídrido carbónico liberado en la respiración y la mineralización del carbono orgánico en laboratorio; de la velocidad de descomposición de los residuos vegetales con la composición de carbono y nitrógeno de los abonos verdes y la materia seca remanente en los mismos; y de la tasa de liberación de macronutrientes de los residuos de abonos verdes en descomposición en suelos con siembra directa y laboreo convencional.

Las hipótesis del trabajo fueron: (1) Existe una estrecha relación entre la calidad de los residuos vegetales y su disponibilidad para los microorganismos del suelo. (2) Los residuos de gramíneas tienen mayor permanencia en el suelo debido a su elevada relación carbono/nitrógeno (C/N), ocasionando una inmovilización microbiana de nitrógeno; mientras que los de leguminosas tienen menor permanencia en el suelo por su menor relación carbono/nitrógeno (C/N), posibilitando la rápida mineralización de nutrientes y la disponibilidad inmediata para las plantas. (3) Existe diferencia en la velocidad de descomposición de los residuos en el sistema de siembra directa y convencional.

En el sistema de siembra directa no ocurre la inversión de las capas de suelo, que sumado al encalado, fertilizaciones y deposiciones de residuos vegetales, crean condiciones favorables al desarrollo y la actividad de la comunidad microbiana del suelo, la cual es generalmente mayor en suelos sobre siembra directa que en aquellos sometidos a la preparación y cultivo convencional (Colozzi & Balota, 1997).

Al comparar la velocidad de descomposición de residuos de gramíneas y leguminosas, se observa que la velocidad de descomposición de las leguminosas es rápida en la fase inicial del proceso, mientras que en las gramíneas esta velocidad es significativamente menor, aunque más constante en el tiempo (Bartz, 1998).

Kayser & Scholles (1998), en su trabajo con residuos de leguminosas y gramíneas, obtuvieron una mayor permanencia de la gramínea tanto en superficie como incorporada; asimismo, observaron una interacción entre la calidad de los residuos y su disponibilidad como fuente de nutrientes para las plantas. Con estos resultados concluyeron que la asociación de gramíneas con leguminosas es una alternativa ventajosa como cobertura de otoño/invierno ya que con esto se consigue fijación simbiótica de nitrógeno, disponibilidad inmediata de nutrientes y al mismo tiempo una mayor permanencia de la cobertura en el suelo.

Materiales y Métodos

El experimento fue instalado en el campo experimental del Centro Tecnológico Agropecuario en Paraguay (CETAPAR), en el distrito de Yguazú, Departamento de Alto Paraná, Región Oriental del Paraguay, a 25° 27' 23,9"de latitud Sur y 55° 02' 37,8" de longitud Oeste, con una altitud de 282 msnm.

El suelo fue clasificado como un Rhodic Kandiudox, correspondiente a las formaciones de basalto y lomadas, con pendiente entre 0-8%, drenaje bueno, pedregosidad nula y textura arcillosa muy fina (López et al., 1995).

Se utilizó una parcela manejada con el sistema de siembra directa y otra, con laboreo convencional. La primera es utilizada con siembra directa desde el año 1995; en el año 1997 recibió una fertilización con 18-46-0, aplicado en una dosis de 200 kg ha^{-1}, la cual fue repetida al año siguiente; y en los últimos seis años se ha seguido el esquema de rotación con trigo/soja, maíz/soja y avena/soja.

La parcela con manejo convencional es preparada cada año con rastra pesada y niveladora; en el año 1997 recibió fertilización con 25 kg ha^{-1} de nitrógeno, 25 kg ha^{-1} de fósforo y 35 kg ha^{-1} de potasio con la aplicación del fertilizante 12-12-17-2, destinado para la producción de melón; y en los últimos seis años se ha empleado para la producción alternada de hortalizas, maíz, haba y avena.

El delineamiento experimental utilizado en el campo fue parcelas divididas, ocupando las parcelas principales los dos sistemas de labranza (laboreo convencional y sistema de siembra directa). Las subparcelas fueron ocupadas por los residuos de avena negra – *Avena strigosa Schreb*, vicia villosa – *Vicia villosa Roth*, y la mezcla de ambos, totalizando cuatro combinaciones definidas como: testigo (sin residuo), 100% de residuo de avena negra, 100% de residuo de vicia villosa y residuos de avena ne-

gra y vicia villosa (mezcla en partes iguales). Estos residuos se colocaron en bolsas de tejido sintético poroso de malla de 0,5 mm («litter bag»), cuyas dimensiones fueron de 15 x 15 cm. La cantidad de residuo vegetal introducida en cada «litter bag» fue de 11,25 g, equivalentes a 5.000 kg ha^{-1}de materia seca, en la superficie y a 10 cm de profundidad. El muestreo se realizó en tres épocas diferentes, a los 30, 60 y 90 días después del manejo del abono verde.

Cada unidad experimental fue constituida por parcelas de 3 m de largo por 2 m de ancho. El experimento se inició el 26 de setiembre de 2002 y se extendió hasta el 27 de diciembre de 2002.

La determinación de la respiración de la biomasa microbiana se llevo a cabo en el Laboratorio de Biología de Suelos del Departamento de Suelos y Ordenamiento Territorial de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción.

Del sistema de siembra directa, se retiraron muestras de suelo de cada unidad experimental instalada en el campo. Las mismas fueron previamente secadas al aire por 48 horas y posteriormente pasadas a través de tamiz de 2 mm de diámetro de malla; luego se pesaron 200 g y se colocaron en frascos de vidrio de 1 litro de capacidad. Los residuos vegetales fueron adicionados a cada frasco conteniendo la muestra de suelo, utilizando las cuatro combinaciones de abono verde señaladas para el experimento de campo, así como una prueba en blanco (sin suelo). El experimento de incubación se extendió desde el 26 de setiembre hasta el 26 de diciembre de 2002.

Para el suelo proveniente de las parcelas con laboreo convencional se utilizó la *crotalaria – Crotalaria juncea L.* y el maíz – *Zea mays L.*, como abonos verdes de verano. Los residuos de estos vegetales fueron adicionados a cada frasco conteniendo la muestra de suelo, utilizando las mismas proporciones de abono verde señaladas para el experimento de campo, así como una prueba en blanco (sin suelo).

En ambos experimentos se simuló un suelo a 80% de capacidad de campo, adicionando 35 ml de agua destilada a cada frasco en una sola oportunidad. Los frascos fueron mantenidos a temperatura de 25°C, cerrados herméticamente y su apertura se realizó únicamente para las mediciones del CO_2 liberado. Los residuos vegetales fueron adicionados con un peso de 1g. El diseño experimental utilizado en el laboratorio fue el completamente al azar con cinco repeticiones. El experimento de incubación se extendió desde el 16 de marzo hasta el 16 de junio de 2003.

Fueron realizadas tres evaluaciones de la masa seca remanente de acuerdo a los tratamientos, los cuales se retiraron luego de haber transcurrido 30, 60 y 90 días de exposición en el campo. En cada una de las evaluaciones se determinó la masa verde y seca existente en los «litter bags», para lo cual se pesaron en fresco, y en seco; siendo necesaria para esta última determinación, el secado de las muestras en estufa a 65°C por 72 horas o hasta peso constante. Con éstos valores se dedujo la velocidad de descomposición de los residuos por la biomasa microbiana del suelo, cuantificándose las pérdidas de masa seca en el tiempo.

Se determinó la relación carbono/nitrógeno (C/N) de las especies de abono verde utilizadas y su evolución con el avance de la descomposición de los mismos, como indicador de la tasa de mineralización de los residuos. Para ello se determinó el nitrógeno de los residuos a través de la digestión por peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y ácido sulfúrico (H_2SO_4) con mezcla de digestión y posterior recuperación del nutriente por el método de Kjeldhal. El carbono se determinó por el método Walkley – Black (Tedesco et al., 1995).

Se obtuvieron igualmente los contenidos de fósforo, calcio, magnesio y potasio de las muestras para observar su evolución durante la descomposición. Estos macronutrientes se determinaron luego de la digestión y destilación de las muestras; donde el fósforo fue extraído por el método Mehlich I, y se determinó por colorimetría; el contenido de potasio se determinó por extracción con acetato de amonio 1M y lectura por espectrofotometría de absorción atómica, después de la dilución del extracto, ajustándose a la sensibilidad del aparato con los padrones adecuados. Los contenidos de calcio y magnesio se determinaron por extracción con acetato de amonio 1M y lectura por espectrofotometría de absorción atómica, después de la dilución del extracto y la adición de estroncio (Sr) en solución ácida (Tedesco et al., 1995).

La colecta del CO_2 fue realizada utilizando un receptor (vaso de precipitados de 50 ml) conteniendo 20 ml de NaOH (Hidróxido de Sodio) 1N, colocado dentro de cada frasco en el laboratorio. Se realizaron tres lecturas (titulaciones) para determinar la respiración de la biomasa microbiana del suelo (C-CO_2 liberado) habiendo transcurrido 30, 60 y 90 días de la instalación del experimento en laboratorio. La titulación se realizó utilizando HCl (ácido clorhídrico) 1N en presencia de 5 ml de $BaCl_2$ (Cloruro de Bario) 2N y 5 gotas de fenolftaleina, para virar de fucsia a un precipitado blanco. Mediante la Ec. 1 se obtuvo el CO_2 respirado por la biomasa microbiana del suelo.

$$\text{mg de } CO_2 = (B-V) \times N \times E \qquad (1)$$

donde:

B = Volumen en ml de ácido necesario para titular el NaOH en la prueba en blanco.
V = Volumen de ácido necesario para titular el NaOH del tratamiento.
N= Normalidad del ácido (1N).
E = Peso equivalente del CO_2 = 44/2 = 22.

Para el análisis de los datos del experimento de campo, se realizó el análisis de varianza con disposición factorial 2 x 4 x 2 x 3 x 5 (correspondiente a 2 sistemas de laboreo del suelo, 4 tratamientos, 2 profundidades de muestreo, 3 épocas de muestreo y 5 repeticiones). A partir de las interacciones entre factores se realizaron análisis de regresión (variables cuantitativas) y comparaciones de medias utilizando la prueba de Tukey al 5% (variables cualitativas).

Para el análisis de los experimentos de laboratorio se realizó el análisis de varianza con disposición factorial 4 x 3 x 5 (correspondiente a 4 tratamientos, 3 épocas de muestreo y 5 repeticiones). Se realizaron regresiones en las interacciones detectadas (variables cuantitativas), así como comparaciones de medias por la prueba de Tukey al 5% (variables cualitativas). Los análisis de varianza fueron realizados a través del Programa Estadístico MSTAT.

Resultados y Discusión

Materia seca remanente de los residuos

En el análisis de la descomposición de los residuos, cuantificado como porcentaje de materia seca remanente, se obtuvo significancia (Fisher, 5%) en la interacción abono verde, ambiente y época de muestreo, con una correlación de 71%, en una regresión lineal, indicando una disminución de la materia seca remanente en cada época de muestreo, a una velocidad de 2,98 kg ha^{-1} $día^{-1}$.

En la Figura 1 se observa la comparación de la materia seca remanente en los residuos entre el sistema de siembra directa y convencional, al ser dejados en superficie e incorporados, a los 30 días de exposición en el campo.

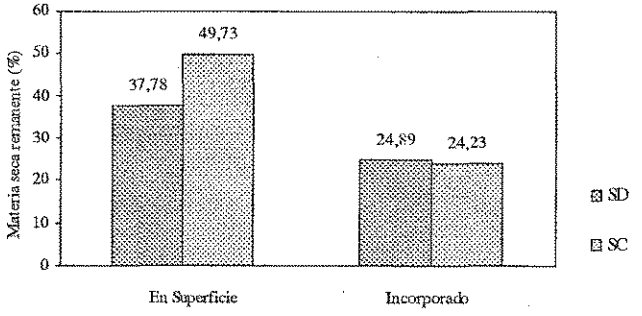

Figura 1. Comparación entre la materia seca remanente en el sistema de siembra directa (SD) y convencional (SC), en superficie e incorporado, al transcurrir 30 días de descomposición en el campo.

En los primeros 30 días de descomposición en el campo, se observó una interacción entre el Sistema (SD y SC) y el Ambiente (Superficie e Incorporado); presentándose mayor porcentaje de materia seca remanente en el sistema convencional, con 49,7%, al ser depositada en superficie, mientras que en el sistema de siembra directa se obtuvo 37,78%, en las mismas condiciones, lo que revela una mayor actividad microbiana y por consiguiente una descomposición más rápida de los residuos, posiblemente debido a las condiciones favorables del suelo en siembra directa; este comportamiento coincide con el referido por Cattelan (1993) quien concluyó que la población, la biomasa y la actividad microbiana son mayores en la capa superficial en el sistema de siembra directa, comparado con el convencional, trabajando en suelos de Paraná, Brasil; sin embargo, difieren de los resultados de Sousa et al. (2002), quienes reportaron que el sistema convencional favoreció la descomposición ligeramente más elevada de la mayoría de los abonos verdes de verano en suelos de cerrado, Brasil.

En cuanto a los residuos incorporados, prácticamente no existe diferencia entre ambos sistemas (24,8% en SD y 24,2% en SC), lo que implica que la incorporación de los residuos acelera la descomposición en ambos casos debido al mayor contacto con la biomasa microbiana del suelo; la misma respuesta fue obtenida por Sousa et al. (2002), quienes indicaron que los índices de descomposición más elevados en los tratamientos con incorporación pueden atribuirse al hecho de que la mayor superficie de contacto con el suelo favorece la acción biológica. El análisis factorial arrojó como resultado una interacción significativa entre el sistema y el ambiente, a los 60 días, con mayor permanencia de los residuos en superficie en el sistema convencional (Figura 2).

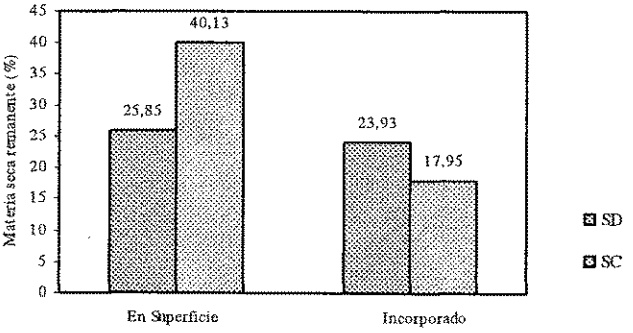

Figura 2. Comparación entre la materia seca remanente en el sistema de siembra directa (SD) y convencional (SC), en superficie e incorporado, al transcurrir 60 días de descomposición en el campo.

El mismo análisis a los 90 días, no presentó la interacción referida anteriormente. En este caso, hubo interacción significativa entre los abonos verdes y el ambiente; donde en superficie, el orden de mayor descomposición para los tratamientos fue mezcla, vicia y avena; mientras que al incorporar los abonos, éste orden fue vicia, avena y mezcla, con lo que se demuestra que a los 90 días de descomposición de los abonos verdes en el campo, ya no se diferencian los sistemas de laboreo del suelo, pasando a primar la calidad de los residuos (Figura 3).

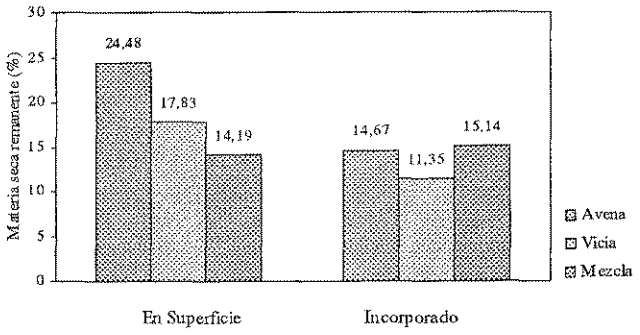

Figura 3. Comparación entre la materia seca remanente de los residuos dejados en superficie e incorporados, a los 90 días de exposición en el campo.

Los resultados de la comparación de medias en función a la descomposición de los abonos verdes en el campo, en cuanto a materia seca remanente, por ambiente y época de muestreo en el sistema de siembra directa y convencional, se presentan en la Tabla 1.

El tipo de residuo utilizado mostró variación en la taza de descomposición en las tres épocas de muestreo, en el sistema de siembra directa, siendo en todos los casos acelerada con la incorporación; asimismo la reducción de masa seca fue mayor en la vicia (65,5%), seguida de la mezcla (61,9%) y por último la avena (59,3%) a los 30 días del experimento.

Tabla 1. Materia Seca remanente en los abonos verdes a los 30, 60 y 90 días de descomposición en el campo, en el sistema de siembra directa en superficie e incorporados (SDS y SDI) y en el sistema convencional en superficie e incorporado (SCS y SCI).

Tratamientos	Sistema de Cultivo	Materia Seca Remanente (%)		
		A los 30 días	A los 60 días	A los 90 días
Avena	SDS	40, 7a	25,6a	20,3a
Vicia	SDS	34,5b	28,5a	18,6a
Mezcla (Avena + Vicia)	SDS	38,1ab	23,4a	15a
Avena	SCS	51,4a	42,6a	28,6a
Vicia	SCS	47,8b	37,9b	17,1b
Mezcla (Avena + Vicia)	SCS	50ab	39,9b	13,4b
Avena	SDI	27,5a	26,9a	16,2a
Vicia	SDI	24,6a	24,5ab	11,8a
Mezcla (Avena + Vicia)	SDI	22,5a	20,3b	17,3a
Avena	SCI	26,4a	21,9a	13,2a
Vicia	SCI	20,6b	13,9a	10,9a
Mezcla (Avena + Vicia)	SCI	25,7ab	18a	13a

Las comparaciones se hicieron en cada sistema, ambiente y época de muestreo por separado, con promedios de cinco repeticiones; medias seguidas de la misma letra no presentaron diferencia significativa (Tukey 5%).

A los 60 días de deposición de los residuos de abonos verdes en superficie, no se presentó diferencia significativa (Tukey 5%) en cuanto a la velocidad de descomposición; en tanto que en los residuos incorporados se obtuvo diferencia significativa por la misma prueba, presentándose la avena con un mayor porcentaje de materia seca remanente (26,9%), frente a un 24,5% y 20,3% para la mezcla y la vicia respectivamente, los cuales no presentaron diferencia significativa entre sí. A los 90 días del experimento a campo, los residuos no presentaron diferencias significativas en cuanto a la velocidad de descomposición (análisis de medias) tanto los dejados en superficie como los incorporados.

Los resultados de la evaluación de materia seca remanente por época de muestreo en el sistema convencional, presentaron diferencia significativa (Tukey 5%) entre la gramínea y la leguminosa a los 30 días, siendo mayor la velocidad de descomposición de ésta última en superficie (51,4% y 47,8% de materia seca remanente, respectivamente) y también con la incorporación de los residuos (26,4% y 20,6%, respectivamente). Los resultados con la leguminosa son similares a los obtenidos por Kayser & Scholles (1998) en suelo de Sta- María, Brasil, con 60% de materia seca remanente en la leguminosa (trébol blanco) en superficie a los 30 días de descomposición.

En cuanto a la descomposición de la gramínea a los 30 días, Kayser & Scholles (1998), obtuvieron valores de materia seca remanente muy elevados (92%), comparados con los resultados obtenidos en las condiciones de este experimento, la descomposición de los residuos de gramínea es más rápida.

A los 60 días no se encontró diferencia significativa al evaluar la descomposición de los residuos dejados en superficie, pero sí en aquellos incorporados, donde la gramínea mantuvo su menor velocidad de descomposición ante la leguminosa (42,6% y 37,9%) respectivamente.

A los 90 días, no se encontró diferencia significativa entre los residuos cuando los mismos fueron incorporados, pero sí, al ser dejados en superficie; en este caso, la gramínea se diferenció tanto de la mezcla como de la leguminosa, con porcentajes de materia seca remanente de 28,6%, 17% y 13,4%, respectivamente.

Relación Carbono/ Nitrógeno (C/N) de los residuos

La comparación en la evolución de la relación C/N de los residuos en el campo, fue realizada por medio del análisis factorial de ésta variable; en la cual se obtuvo una interacción significativa (Fisher 5%) entre el sistema (SD y SC) y el ambiente (superficie o incorporado). En la Figura 4, se puede observar que en el sistema de siembra directa (SD), la relación C/N se mantuvo mayor que en el sistema convencional (SC) en superficie, mientras que al ser incorporados, los residuos prácticamente mantienen la misma relación C/N. Esta diferencia entre ambos sistemas podría deberse al mayor crecimiento y actividad

de los microorganismos del suelo, que llevan a una inmovilización temporaria de los nutrientes (C y N) propiciada por las mejores condiciones generales del suelo en el sistema de siembra directa, lo que coincide con lo referido por Colozzi et al. (2001), quienes concluyeron que en el sistema de siembra directa no ocurre la trituración e incorporación de los residuos, tornando más lenta la tasa de mineralización de la materia orgánica y el reciclaje de nutrientes; asimismo, Alvarez et al. (1995), con ensayos realizados en Pergamino, Argentina, concluyeron que en condiciones de campo, las parcelas sin laboreo tienen una intensidad de mineralización más baja que las manejadas en forma convencional (arado).

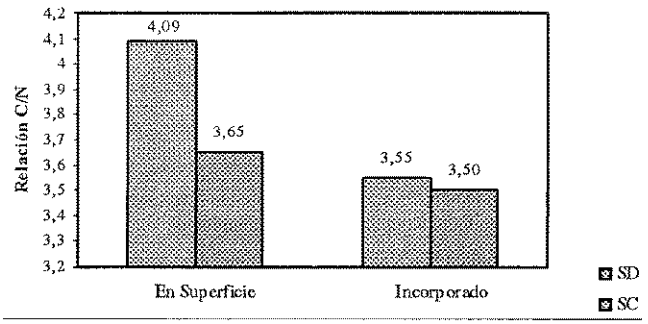

Figura 4. Comparación de la variación en la relación C/N en los residuos en función del ambiente y los sistemas.

En la Tabla 2 se presenta la variación en la descomposición de los residuos de abonos verdes en función a la relación C/N a los 30, 60 y 90 días de deposición a campo en los sistemas de siembra directa y convencional.

En la comparación de medias en cuanto a la relación C/N de los residuos, se obtuvo diferencias significativas (Tukey 5%) entre los tres tratamientos, a los 30 y a los 60 días del experimento, cuando los residuos fueron dejados en superficie en el sistema de siembra directa, manteniéndose la mayor velocidad de descomposición en la leguminosa, seguida de la mezcla y la gramínea. Sin embargo, a los 90 días solo existió diferencia significativa entre la gramínea y la leguminosa, pero se mantuvo la mayor descomposición en ésta última. Por otro lado, la comparación de medias en cuanto a la relación C/N de los residuos en el sistema convencional, arrojó diferencias significativas (Tukey 5%) entre los tres residuos a los 30 días del experimento, tanto en los rastrojos dejados en superficie como en los incorporados; mientras que a los 60 y a los 90 días, las diferencias se presentaron solo entre la gramínea y la leguminosa dejadas en superficie como incorporadas.
En todos los casos, la leguminosa tuvo la mayor velocidad de descomposición, mientras que la gramínea, mantuvo su mayor permanencia en el suelo. Con estos resultados se confirma que la descomposición de los residuos está en función de la actividad microbiana generada a partir de la calidad del material vegetal en cualquier sistema de preparación de suelo.

Tabla 2. Relación C/N en los abonos verdes a los 30, 60 y 90 días de descomposición en el campo, en el sistema de siembra directa en superficie e incorporados (SDS y SDI) y en el sistema convencional en superficie e incorporado (SCS y SCI).

Tratamientos	Sistema de Cultivo	Relación C/N		
		A los 30 días	A los 60 días	A los 90 días
Avena	SDS	28,9 a	17,2 a	13,5 a
Vicia	SDS	18,3 b	12,6 b	11,9 b
Mezcla (Avena + Vicia)	SDS	25,3 c	15,8 c	12,5 ab
Avena	SCS	22,3 a	13,4 a	12,2 a
Vicia	SCS	16,7 b	10,2 b	9,7 b
Mezcla (Avena + Vicia)	SCS	18,1 c	12,3 ab	10,5 b
Avena	SDI	19,4 a	13,1a	12,5 a
Vicia	SDI	16,6 b	11,4 c	10.0 c
Mezcla (Avena + Vicia)	SDI	17,1 b	8,7 b	7,9 b
Avena	SCI	21,3 a	13,3 a	11,5 a
Vicia	SCI	12,9 c	11,8 b	10,8 ab
Mezcla (Avena + Vicia)	SCI	10, 3 b	11 b	10,3 b

Las comparaciones se hicieron por separado en cada sistema, ambiente y época de muestreo, con promedios de cinco repeticiones; medias seguidas de la misma letra no presentaron diferencia significativa (Tukey 5%)

En todos los casos, la leguminosa tuvo la mayor velocidad de descomposición, mientras que la gramínea, mantuvo su mayor permanencia en el suelo. Con estos resultados se confirma que la descomposición de los residuos está en función de la actividad microbiana generada a partir de la calidad del material vegetal en cualquier sistema de preparación de suelo.

Evolución del contenido de algunos nutrientes en los residuos

Evolución del contenido de fósforo en los residuos

En siembra directa, se observó una evolución con tendencia del tipo potencial en el contenido de fósforo de los residuos (análisis de medias), con estabilización a partir de los 60 días (Figura 5).

En el sistema convencional se observó muy poca variación en el contenido del nutriente entre los 30 y 60 días, observándose una disminución de este elemento a los 90 días; este comportamiento indicaría un liberación más lenta del fósforo en el sistema convencional (Figura 6).

Evolución del contenido de potasio en los residuos

El análisis del contenido de potasio en los residuos arrojó como resultado una interacción significativa entre los abonos verdes y la época de muestreo, indicando la influencia del tipo de residuo en la liberación del nutriente en el tiempo. La leguminosa mantuvo un mayor contenido de potasio

a los 30 y 60 días de deposición en el campo, mientras que a los 90 días, los valores se igualan a los de la gramínea; la mezcla también disminuye en el tiempo, pero a los 90 días presenta valores superiores con relación a la leguminosa y la gramínea (Figura 7).

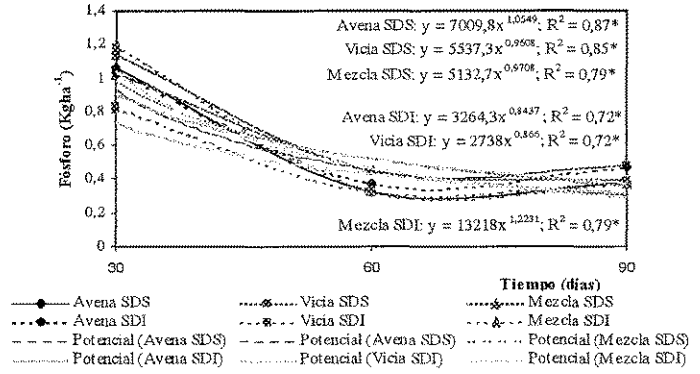

Figura 5. Evolución del contenido de fósforo de los residuos de abonos verdes en el sistema de siembra directa.

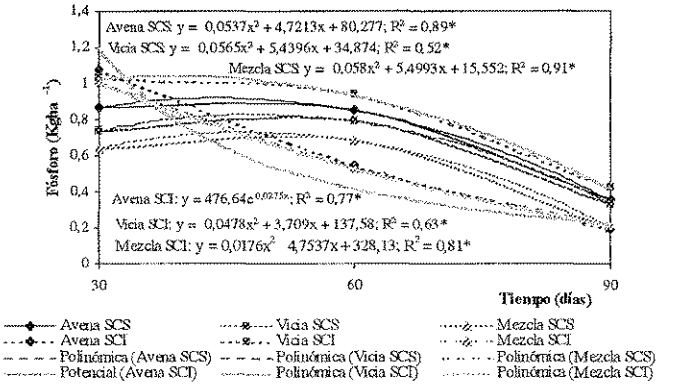

Figura 6. Evolución del contenido de fósforo de los residuos de abonos verdes en el sistema convencional.

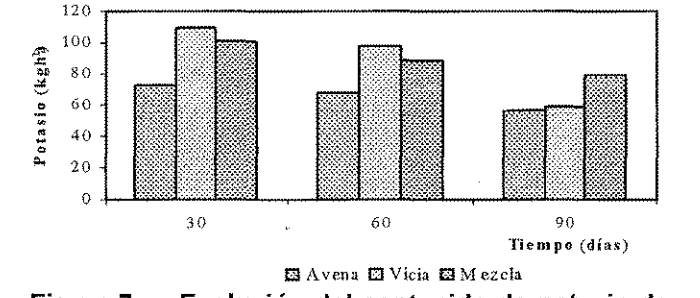

Figura 7. Evolución del contenido de potasio de los residuos de abonos verdes.

Evolución del contenido de calcio en los residuos

El análisis del contenido de calcio en los residuos arrojó como resultado una interacción significativa entre los cuatro factores (los sistemas, los abonos verdes, el ambiente y la época de muestreo). En la Figura 8 se observa la evolución del contenido de calcio en los residuos de abonos verdes en el sistema de siembra directa. En el sistema de siembra directa, se observó que la evolución del contenido de calcio de los residuos (análisis de medias), tuvo una disminución a los 60 días; se observó que la tendencia para la liberación de calcio en los residuos de la mezcla son similares a la gramínea y se mantienen con valores menores o similares a la leguminosa incorporada.

En el sistema convencional se observó muy poca variación en el contenido del nutriente entre las tres épocas de muestreo y se observa una liberación muy lenta del nutriente en la leguminosa y la gramínea, mientras que la mezcla de ambos residuos presenta una tendencia de liberación del nutriente ligeramente mayor a los 60 días, para luego estabilizarse a los 90 días. En SCS y SCI los residuos también presentaron significancia en el análisis de regresión (Figura 9).

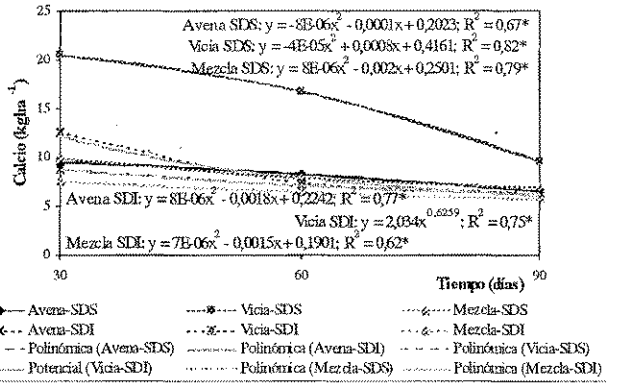

Figura 8. Evolución del contenido de calcio de los residuos de abonos verdes en el sistema de siembra directa.

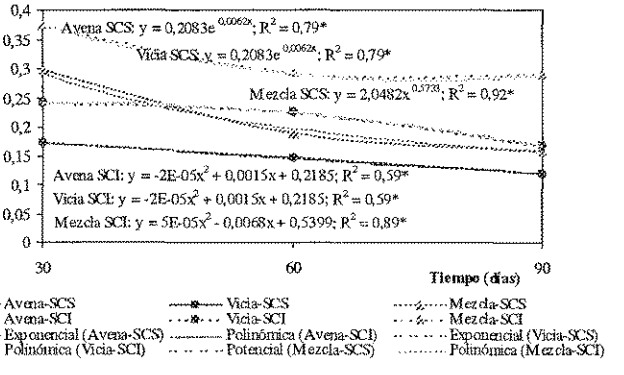

Figura 9. Evolución del contenido de calcio de los residuos de abonos verdes en el sistema convencional.

Evolución del contenido de magnesio en los residuos

El análisis del contenido de magnesio en los residuos arrojó como resultado una interacción significativa entre el sistema, los abonos verdes y época de muestreo. Los contenidos de éste nutriente fueron similares entre todos los residuos. Se analizaron los factores en cada época de muestreo por separado, obteniéndose interacción significativa entre los sistemas, los abonos verdes y el ambiente, en las tres épocas; sin embargo, no se obtuvo diferencias significativas al realizar la comparación de

medias en función del contenido de magnesio entre los abonos verdes en ninguno de los sistemas ni épocas de muestreo, indicando un comportamiento similar en la liberación de magnesio en los residuos. Estos resultados se presentan en la Figura 10.

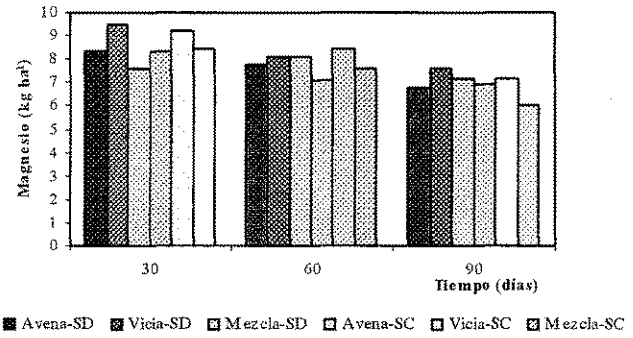

Figura 10. Evolución del contenido de magnesio en los residuos de abonos verdes.

Actividad microbiana del suelo

La actividad microbiana medida como mg de CO_2 total en los 200 g de suelo contenido en los frascos para su incubación en el laboratorio, permitió diferenciar la actividad microbiana generada a partir de los residuos de abonos verdes de invierno en suelo proveniente del sistema de siembra directa; y con residuos de abonos verdes de verano en suelo proveniente del sistema convencional. Con el análisis factorial realizado para el sistema de siembra directa, tomando como factores los abonos verdes, la época de muestreo y la repetición, se obtuvo interacción positiva (Fisher 5%) entre los abonos verdes y el muestreo, con un coeficiente de correlación de 83% en una regresión lineal, lo que indica la disminución gradual de la respiración microbiana en el tiempo.

En la Figura 11 se puede observar la tendencia de la actividad microbiana en función de los residuos y la época de muestreo en el sistema de siembra directa; en el análisis de regresión de los tres tipos de residuos se obtuvo significancia, donde se nota un descenso del CO_2 respirado en el tiempo, así como un aumento de la actividad microbiana en comparación con el testigo (suelo solo). Esta tendencia de aumento de la actividad microbiana generada a partir de la adición de los residuos, coinciden con lo reportado por Schutter & Dick (2002), quienes obtuvieron incrementos de la respiración microbiana con cultivos de cobertura de invierno (avena y vicia), en comparación con el tratamiento testigo (suelo en descanso), en Oregon, EE.UU.

Con el análisis factorial realizado para el sistema convencional, tomando como factores los abonos verdes, la época de muestreo y la repetición, se obtuvo interacción significativa (Fisher 5%) entre los abonos verdes y el muestreo, con un coeficiente de correlación de 68% en una regresión lineal, lo que indica la disminución gradual de la respiración microbiana en el tiempo.

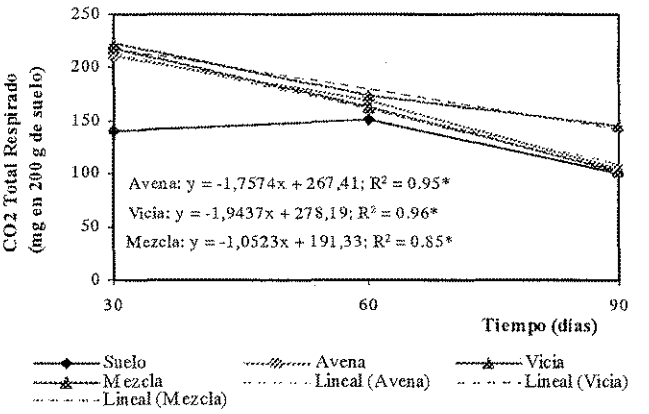

Figura 11. Actividad microbiana del suelo (CO_2 liberado) con los residuos de gramínea (avena), leguminosa (vicia) o la mezcla de ambos, en el sistema de siembra directa.

En la Figura 12 se observa la tendencia de la actividad microbiana en función de los residuos y la época de muestreo en el sistema convencional; en el análisis de regresión de los tres tipos de residuos se obtuvo significancia. En los tres tratamientos (gramínea, leguminosa y la mezcla de ambos), se nota un descenso del CO_2 respirado en el tiempo, así como un aumento de la actividad microbiana en comparación con el testigo (suelo solo). La misma tendencia en la evolución del CO_2 respirado en el tiempo fue obtenida por Zagal et al. (2001), quienes reportaron una mayor cantidad respirada en el primer periodo de 10 días con una pequeña disminución para el segundo periodo de 20 días y una reducción a la mitad de lo respirado en el periodo anterior, a los 30 días de incubación en laboratorio.

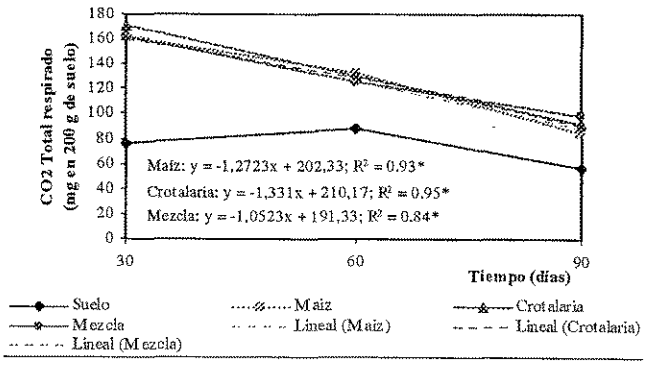

Figura 12. Actividad microbiana del suelo (CO_2 liberado) con los residuos de gramínea (maíz), leguminosa (crotalaria) o la mezcla de ambos, en el sistema convencional.

En la Tabla 6 se presentan los resultados de la actividad microbiana del suelo producida en función de los residuos de abonos verdes en el sistema de siembra directa y convencional, a los 30, 60 y 90 días de incubación en laboratorio.

En la comparación de medias en cuanto a la cantidad de CO_2 producido no se observó diferencia significativa (Tukey 5%) entre los tratamientos a los 30 días de

incubación en el sistema de siembra directa, no obstante, los datos revelan una mayor respiración en la mezcla, seguida de la leguminosa y la gramínea. Sin embargo, comparados con el testigo, todos los residuos aumentaron la cantidad de CO_2 producido.

La misma comparación realizada a los 60 días de incubación en laboratorio, produjo diferencia significativa entre los tratamientos y el testigo (menor en todos los casos) y entre la mezcla y la leguminosa; ésta última con menor producción de CO_2, estos resultados coinciden con la tendencia obtenida por Balota et al (1998), que en el sistema de siembra directa obtuvieron menor respiración basal en suelo proveniente de una sucesión trigo/soja (3,57 ug g^{-1} de C-CO_2) que en la sucesión trigo/maíz (4,17 ug g^{-1} de C-CO_2), durante incubación de 3 días.

Tabla 6. Actividad microbiana del suelo (mg de CO_2.200 g^{-1} de suelo) en función de los residuos de abonos verdes agregados, en los sistemas de siembra directa (SD) y convencional (SC), a los 30, 60 y 90 días de incubación en laboratorio.

Tratamientos	Sistema de Cultivo	CO_2 Total respirado (mg 200 g^{-1} de suelo)		
		A los 30 días	A los 60 días	A los 90 días
Testigo (Suelo Solo)	SD	141, 1 b	151,6 c	99,7 b
Avena	SD	210,8 a	169,7 ab	105,4 b
Vicia	SD	218,9 a	163,5 b	102,3 b
Mezcla (Avena + Vicia)	SD	222,7 a	173,4 a	145,8 a
Testigo (Suelo Solo)	SC	76,5 b	88 b	56,5 b
Maíz	SC	161 a	132,2 a	84,7 a
Crotalaria	SC	170,7a	129,4 a	90,8 a
Mezcla (Maíz+ Crotalaria)	SC	161 a	125,6 a	97,9a

Las comparaciones se hicieron en cada sistema y época de muestreo por separado, con promedios de cinco repeticiones; medias seguidas de la misma letra no presentaron diferencia significativa (Tukey 5%).

En la Tabla 6 se puede observar que a los 90 días de incubación, la comparación de medias por la misma prueba, fue significativa entre los tratamientos, siendo la mezcla, la que produjo mayor cantidad de CO_2, seguida de la gramínea y la leguminosa.

Estos resultados coinciden con los referidos por Puget & Drinkwater (2001) quienes estudiando la descomposición de leguminosas (vicia) y gramíneas (maíz) en suelos del sudeste de los EE.UU., concluyeron que la mineralización de los residuos de vicia es más rápida en las primeras semanas después de la incorporación, reduciéndose a partir de los 60 días, y a partir de esta etapa la respiración originada de los residuos de maíz se torna dominante.

La comparación de medias en el sistema convencional arrojó diferencia significativa (Tukey 5%) entre los abonos verdes y el testigo, el cual produjo en todos los casos, la menor cantidad de CO_2; éste resultado concuerda con el reportado por Kayser & Scholles (1998), en donde la adición de residuos aumentó significativamente la actividad respiratoria de la población microbiana en relación al testigo.

No se obtuvo diferencia significativa entre los abonos verdes entre sí tanto a los 30, 60 y 90 días de incubación en el laboratorio, sin embargo, la leguminosa generó la mayor respiración media a los 30 días, mientras que a los 60 días se redujo la respiración en función a este residuo y se mantuvo menor a la mezcla al final de la incubación.

Conclusiones

En las condiciones del presente experimento, se puede concluir que:

1) Los residuos de leguminosas presentan mayor velocidad de descomposición en el campo en función de la materia seca remanente como de la relación C/N, comparados con los residuos de gramíneas, por lo que estos últimos permanecen más tiempo.

2) La actividad microbiana se ve aumentada en la mezcla de gramínea y leguminosa en el sistema de siembra directa.

3) Existe relación entre la razón C/N y el porcentaje de materia seca remanente de los residuos en descomposición.

4) En el sistema convencional la actividad microbiana es variable, siendo mayor en la leguminosa a los 30 días, en la gramínea a los 60 días y en la mezcla de gramínea y leguminosa a los 90 días.

5) La adición de residuos de abonos verdes incrementa la actividad microbiana en ambos sistemas.

6) El sistema de siembra directa posibilita una mayor actividad microbiana y una mayor velocidad de descomposición de los residuos dejados en superficie, así como una mayor relación C/N.

7) La descomposición de los residuos de abonos verdes en ambos sistemas de manejo de suelo, puede ser evaluada en función de la materia seca remanente, la relación C/N y la respiración microbiana del suelo.

8) La disminución del contenido de fósforo, potasio, calcio y magnesio es gradual y lenta en el tiempo, con el avance de la descomposición de los residuos de abonos verdes tanto en el sistema de siembra directa como en el convencional..

Literatura Citada

ÁLVAREZ, R; DÍAZ, R; BARBERO, N; SANTANATOGLIA, O; BLOTTA. 1995. Soil organic, microbial biomass and CO_2-C production from three tillage systems. Soil & Tillage Research (Estados Unidos)- (33): 17-28.

BARTZ, H. 1998. Dinâmica dos nutrientes e adubação em sistemas de produção sob plantio direto. In: IV Curso de Actualização em Recomendação de Adubação e Calagem (4, 1998, Santa María, RS) Plantio direto em solos Arenosos: Alternativas de Manejo para a sustentabilidade agropecuaria. Palestras apresentadas. FRIES, M (Ed) Santa María, Brasil. Palloti. p 52-81.

BALOTA, E; COLOZZI, A; ANDRADE, D; HUNGRIA, M. 1998. Biomasa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. Revista Brasileira de Ciéncia do Solo (Brasil) (22): 641-649.

CATTELAN, A. 1993. Plantio Direto e os Microorganismos de solo. In: Plantio Direto no Brasil (1993, Paso Fundo, Brasil). Trabajos presentados. Centro Nacional de Pesquisa de Trigo (EMBRAPA), Fundação Centro Experimentação e Pesquisa Agropecuaria (Ed.). Paso Fundo, Brasil: Aldeia Norte. p 111 – 118.

COLOZZI, A; BALOTA, E. 1997. Atividade microbiana em solos sob plantio direto. In: Curso Sobre Siembra directa. (1997, Encarnación, Paraguay) Trabajos presentados. MAG- PROCISUR. p 85-102.

COLOZZI, A; DE SOUZA, D; BALOTA, E. 2001. Atividade Microbiana em solos cultivados em sistema plantio direto. In: Informe Agropecuario (208, 2001, Belo Horizonte, Br). Trabajos presentados, vol 22. Belo Horizonte, BR: IAPAR. p 84-91 .

KAYSER, L; SCHOLLES, D. 1998. Atividade microbiana e permanencia de residuos vegetales em função de sua composição e disposição no solo. In: II Reunião Sul-Brasileira de Ciéncia do solo (2, 1996, Santa María, RS) Resumos Expandidos. Santa María, Brasil. SBCS. p 54-57.

LÓPEZ G., O.; GONZALEZ E., E.; DE LLAMAS G., P. A.; MOLINAS M., A. S.; FRANCO S., E. S.; GARCÍA S., S.; RIOS A., E. O. 1995. República del Paraguay: Mapa de reconocimiento de suelos de la Región Oriental. 1ª ed.. Asunción: William & Heintz Map Corporation. Esc. 1:500.000. Color.

PUGET, P; DRINWATER, E. 2001. Short-Term Dynamics of Root- and Shoot- Derived Carbon from a Leguminous Green Manure. Soil Science Society. American Journal (Estados Unidos)- 65: 771-779.

SCHUTTER, M; DICK, R. 2002. Microbial Community Profiles and Activities Aggregates of Winter Fallow and Cover- Cropped Soil. Soil Science Society. American Journal (EE.UU)- 66: 142-153.

SOUSA, J. CARDOSO, A. SILVA, F, CARVALHO, A, SCOPEL, E. 2002. Quantificação e modelagem da dinâmica de decomposição de residuos de espécies de adubos verdes no Cerrado. In: II Congreso Mundial sobre Agricultura Conservacionista (II, 2003, Foz de Iguaçú). Resumos Expandidos (Ed) . Foz de Iguazú, BR: CÁPAC – Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha) p 290-293.

TEDESCO, J; GIANELLO, C; BISSAN, C; BOHNEN, H; VOLKWEISS, S. 1995. Analices de solo, plantas e outros materiais. Departamento de Solos. Facultade de Agronomia. Universidad Federal de Rio Grande do Sul (UFRGS). Porto alegre, Brasil. 174 p.|

ZAGAL, E; RODRÍGUEZ, N; VIDAL, I; QUEZADA, L. 2002. Microbial activity in a volcanic ash soil under different agricultural management. Agricultura Técnica (CH) 62 (2): 297-309.