

EFFECTO ACUMULATIVO DE LA SIEMBRA DIRECTA SOBRE ALGUNAS CARACTERÍSTICAS DEL SUELO EN LA REGIÓN SEMIÁRIDA CENTRAL DE LA ARGENTINA

ADRIANA ABRIL¹; PEDRO SALAS²; EDGAR LOVERA²; SANDRA KOPP¹
& NOELIA CASADO-MURILLO¹

¹Microbiología Agrícola. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba. Argentina

²Recursos Naturales. Estación Experimental Agropecuaria INTA Manfredi. Córdoba. Argentina.

Recibido: 20/10/04

Aceptado: 14/07/05

RESUMEN

La siembra directa (SD) es relativamente reciente en la Argentina, por lo que existen escasas posibilidades de evaluar cambios a largo plazo. Además, la mayoría de los trabajos han sido realizados en la Región Húmeda pampeana siendo escasas las referencias para la zona semiárida central, a pesar de que el incremento de la cobertura de rastrojo es particularmente útil en suelos con limitante de agua. En este trabajo se evaluó el efecto de la SD a largo plazo (5 y 10 años) sobre: a) características químicas (MO, N total y $\text{NO}_3\text{-N}$) y biológicas (actividad y biomasa microbiana) del suelo; y b) cantidad, fracciones identificables y composición química del rastrojo en dos tipos de ensayos: monocultivo de soja y rotación soja-maíz. La investigación fue realizada en la Estación Experimental Agropecuaria INTA Manfredi en la Región semi-árida central. Los suelos bajo siembra directa, presentaron mayor contenido de MO y N total que los suelos control (labranza conservacionista). Las diferencias observadas se incrementaron con el tiempo (10% y 20% a los 5 y 10 años, respectivamente). El contenido de $\text{NO}_3\text{-N}$, y la biomasa y actividad microbiana mostraron alta variabilidad en ambas fechas de muestreo en relación a las condiciones climáticas. La cobertura del rastrojo fue mayor en rotación maíz-soja con antecesor maíz (2.473,9 g m⁻²) que en el monocultivo de soja (1.035,7 g m⁻²). La fracción del rastrojo no identificable fue muy importante en todos los tratamientos (rangos entre 2-10 t ha⁻¹), lo que favorecería la formación de nuevo suelo superficial. Estos resultados sugieren que la liberación de nutrientes a partir de un abundante rastrojo en descomposición puede constituir una importante fuente de nutrientes, por lo que debería incluirse en los cálculos para requerimientos de fertilización de los cultivos.

Palabras clave. Rastrojo, residuos de cosecha, maíz, soja, nutrientes, nutrientes, fertilización.

LONG TERM EFFECT OF NO-TILLAGE ON SOME SOIL PROPERTIES IN THE CENTRAL SEMIARID REGION OF ARGENTINA

ABSTRACT

Information about the effects of crop residues on soil parameters in no-tillage systems is not abundant in Argentina because the relative recent adoption this practice. Moreover, most of the available research to date refers to the humid Pampa region. In contrast, information on the semi-arid region is very scarce, despite the fact that an increase in cover stubble is particularly useful in water-limited soils. In this paper we report a long-term evaluation (5 to 10 years) of no-tillage practices on: a) chemical (soil organic matter -SOM, total N and $\text{NO}_3\text{-N}$) and biological (microbial biomass and activity) soil characteristics, and b) quantity and chemical quality of soybean residues in monoculture and soybean-corn rotation. Research was conducted at Manfredi INTA Experimental Station in semi-arid, central Argentina (31°49' S and 63°46' W).

Soils under no-tillage system had higher SOM and total N content compared with control (conservation tillage with chisel plow) in soybean monoculture and soybean-corn rotations. The observed difference increased with time (10 and 20% at 5 and 10 years, respectively). Nitrate content, and microbial activity and biomass showed high variability in the measurement periods, depending on climatic condition at the sampling date. Stubble cover was greater in the corn-soybean rotation with corn as preceding crop (2473.9 g m⁻²) than in soybean monoculture (1035.7 g m⁻²). The stubble non-identifiable fraction was very significant in all treatments (ranging between 2-10 t ha⁻¹), which would favor new surface organic soil formation. The soybean-corn rotation with soybean as preceding crop showed the lowest values in all chemical parameters, particularly in soluble compounds (nitrate, ammonium and soluble carbon). Contrarily to what is usually assumed, our results suggest that nutrient release from long-term stubble may become a significant nutrient source for the crops. Therefore, this nutrient source should be considered when evaluating crop fertilization requirements.

Keyword. Stubble, crop residues, corn, soybean, nutrients, fertilization.

INTRODUCCIÓN

La agricultura en la Argentina es de gran magnitud en términos económicos y extensión de áreas cultivadas. La zona agrícola por excelencia comprende la región templada conocida como Pampa Húmeda y se extiende a la zona semiárida central donde las precipitaciones son más escasas y la estacionalidad climática es más marcada (Buschiazzo *et al.*, 1996; Morello & Solbrig, 1997).

Tradicionalmente, los campos se dedicaban a ganadería y agricultura de manera rotativa, lo que favorecía el mantenimiento de la fertilidad edáfica. Sin embargo, en las últimas décadas, las explotaciones se transformaron casi exclusivamente en sistemas agrícolas (Díaz-Zorita *et al.*, 2004). Como resultado de este cambio, se produjeron pérdidas de la calidad de los suelos, principalmente por erosión y disminución en el contenido de materia orgánica, a causa de los laboreos frecuentes (Díaz-Zorita *et al.*, 2004). A principios de la década de 1990 comienza la difusión de sistemas de labranzas conservacionistas (particularmente la siembra directa) como medida para contrarrestar la erosión del suelo y favorecer la capacidad de retención de agua a través de la cobertura superficial con rastrojos (Panigatti *et al.*, 2001). La adopción de la siembra directa (SD) fue muy rápida, favorecida por el avance en la tecnología de maquinarias y agroquímicos (Fabrizzi *et al.*, 2003). En la actualidad, más del 70% del área cultivada en la región semiárida central de la Argentina está bajo SD (Aapresid, 2004).

La falta de perturbación del suelo y la cobertura superficial producen cambios sustanciales en los procesos de descomposición de los residuos de cosecha, principalmente los relacionados con la acumulación de C orgánico y la disponibilidad de nutrientes (Maskina *et al.*, 1993; Steiner *et al.*, 1999; Kladvik, 2001; Abril, 2002). La acumulación de C en los suelos bajo SD ha merecido gran atención en los últimos años, no sólo desde el punto de vista de la fertilidad edáfica, sino por su efecto para mitigar las emisiones de CO₂ a la atmósfera (Sisti *et al.*, 2004). Asimismo, los cambios en la disponibilidad de nutrientes tienen enormes implicaciones para los cálculos de requerimientos de fertilización (Meyer *et al.*, 1996; Schoenau & Campbell, 1996) y su relación con la contaminación ambiental (Vitousek *et al.*, 1997; Galloway *et al.*, 2002). Debido a que los procesos de descomposición son llevados a cabo por los microorganismos edáficos, las propiedades biológicas del suelo resultan de importancia fundamental para el entendimiento de las modificaciones que se producen a causa de la deposición superficial de los residuos (Lupwayi *et al.*, 1998; Abril, 2003).

Existen numerosos trabajos que evalúan los cambios en el suelo por adopción de la SD aunque no todos ellos tienen resultados coincidentes, particularmente en rela-

ción a la inmovilización de nutrientes (Schoenau & Campbell, 1996; Alves *et al.*, 1999). Una posible explicación para estas diferencias puede ser el efecto acumulativo de la deposición de residuos (Bertol *et al.*, 2004). Este efecto tiene relación con el tipo y cantidad de cobertura que se forma sobre el suelo, que varía según el cultivo, el clima, el sistema de rotación y la cantidad de años bajo SD (Sisti *et al.*, 2004; Heenan *et al.*, 2004). Por ser la SD un sistema relativamente reciente en la Argentina, existen escasas posibilidades de evaluar los cambios después de un largo período de tiempo. Sin embargo, los estudios de largo alcance son esenciales debido a que los cambios en las propiedades edáficas a corto plazo son usualmente poco detectables (Heenan *et al.*, 2004).

La mayoría de los trabajos sobre SD en la Argentina han sido realizados en la Región Pampeana (Crespo *et al.*, 2001; González *et al.*, 2003; Fabrizzi *et al.*, 2003; Ferraro *et al.*, 2003; Díaz-Zorita *et al.*, 2004) y son escasas las referencias para la zona semiárida central (Abril *et al.*, 1995; Buschiazzo *et al.*, 1996). En general, se afirma que los cambios sobre el suelo pueden ser de mayor magnitud en regiones con menor cantidad de precipitaciones debido al efecto de la cobertura sobre la capacidad de retención de agua, particularmente en climas de alta estacionalidad (Schoenau & Campbell, 1996).

El objetivo de este trabajo fue evaluar los cambios a los cinco y 10 años bajo SD de algunas propiedades químicas y biológicas del suelo y la cantidad y calidad de la cobertura de rastrojo en dos sistemas (monocultivo de soja y rotación soja-maíz) y dos manejos de rastrojos (verdeo invernal y barbecho químico) en la Región Semiárida central de la Argentina.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio

El estudio se realizó en la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) INTA Manfredi (31°49' S y 63°46' W) en la provincia de Córdoba (Argentina). La región tiene relieve plano a suavemente ondulado, con pendientes que no superan el 0,5%. Los suelos son Haplustoles énticos y típicos, de textura franco-limosa, pH ligeramente ácido (6,2 a 6,5) y baja agregación (Jarsún *et al.*, 1990). La precipitación promedio es de 750 mm anuales, concentrada en la estación estival.

En el año 1992 se establecieron en la EEA dos ensayos en un lote de aproximadamente 10 ha cuyas condiciones de fertilidad eran: MO 2,0% y N total 0,12%, en el horizonte 0-20 cm. El lote seleccionado tenía historia ganadera y los últimos siete años previos al ensayo agricultura continua con laboreo. Uno de los ensayos fue cultivado anualmente con soja y el otro con una rotación soja-maíz. Ambos ensayos se sembraron anualmente en el mes de noviembre con los siguientes tratamientos: a) laboreo conserva-

cionista (control) laboreado con cincel y cultivador en presiembra (LC); b) siembra directa con un verdeo invernal generalmente avena (VI) y c) siembra directa con control químico de malezas invernales (BQ). El maíz se fertilizó todos los años (entre 60 y 120 kg de N ha⁻¹, según los años), mientras que la soja y la avena no se fertilizaron. Las unidades experimentales fueron parcelas de 35 m x 110 m con un diseño completamente aleatorizado con dos repeticiones. Las evaluaciones se realizaron a los cinco y 10 años de implantados los ensayos.

Propiedades químicas y biológicas del suelo

En cada parcela se tomaron tres muestras compuestas de suelo al azar previo a la siembra (noviembre). Las muestras consistieron en 10 submuestras de 0-10 cm de profundidad, teniendo en cuenta que es la zona de suelo con mayor actividad microbiana por la cercanía a la presencia del residuo. En cada fecha de muestreo se registraron los datos climáticos obtenidos en la estación meteorológica de la EEA. Las muestras fueron secadas al aire y tamizadas (tamiz 2 mm) para determinar los siguientes parámetros: a) contenido de materia orgánica (MO) mediante digestión húmeda (Nelson & Sommers, 1982) b) nitrógeno total por Kjeldahl; c) contenido de N de nitrato por potenciometría (Keeney & Nelson, 1982); d) actividad microbiana mediante captación de CO₂ en álcali, luego de incubación a 30 °C durante 7 días (Alef, 1995) y e) C de la biomasa microbiana mediante el método de fumigación (Joergensen, 1995).

Cobertura de rastrojo

Se tomaron muestras de rastrojos en poscosecha (mayo) a los cinco años y en precosecha (abril) a los 10 años. El cambio en la fecha de muestreo obedeció a que en poscosecha la gran cantidad de residuos frescos enmascara al resto de los componentes de la cobertura. En cada parcela se tomaron al azar tres muestras de rastrojo de una superficie de 0,16 m² en las parcelas con tratamiento BQ. A los 10 años, en el ensayo de rotación se tomaron muestras diferenciales según el cultivo antecesor (maíz o soja).

Las muestras fueron pesadas y separadas en fracciones: a) restos de soja (tallo u hojas), b) restos de maíz y c) restos no identificables. Posteriormente, las muestras fueron secadas a 60 °C, molidas y pasadas por un tamiz de 1 mm. En las muestras de los cinco años se determinaron los siguientes parámetros: a) peso total, b) contenido de C por Walkley & Black modificado (Kopp, 2002), y c) contenido de N total por Kjeldahl. En las muestras de los 10 años además de los anteriores parámetros se analizó: a) contenido de C soluble por Walkley & Black (Nelson & Sommers, 1982), previa extracción con agua a 80 °C (Robertson *et al.*, 1999); b) contenido de N soluble mediante Kjeldahl previa extracción con agua a 80 °C (Robertson *et al.*, 1999); y c) contenido de N-NO₃⁻ y N-NH₄⁺ en la fracción soluble por colorimetría (Keeney & Nelson, 1982).

Cálculos y análisis estadístico

En el suelo se calculó el índice de mineralización de carbono (relación C-CO₂/C-MO) (Abril & Bucher, 2001) y la proporción de C de la biomasa microbiana en la MO del suelo (C-BM/C-MO) (Carter, 1991). En el rastrojo se calculó la relación C/N, la cantidad de N soluble orgánico mediante la diferencia entre N soluble total menos N-NO₃⁻ + N-NH₄⁺ y la cantidad de N proteico, como la diferencia entre N total y N soluble total.

Los datos fueron analizados mediante ANOVA y la comparación de medias se realizó mediante la prueba de LSD protegido

($P < 0,05$). Para comparar las variaciones porcentuales entre el suelo control y la SD en las dos fechas de muestreo se transformaron los porcentajes mediante la función. La comparación de las variaciones porcentuales entre los 5 y los 10 años se realizó mediante una prueba de t (Steel & Torrie, 1985).

RESULTADOS

Propiedades químicas y biológicas del suelo

A los cinco años, los tratamientos bajo SD presentaron mayor contenido de MO y N total comparados con el control (LC) en ambos ensayos (aunque en BQ del monocultivo el N total no difirió significativamente), mientras que el contenido de nitratos y la actividad microbiana no variaron entre tratamientos (Tabla 1). El C de la biomasa microbiana mostró diferencias significativas en la rotación soja-maíz, siendo más alto en el tratamiento de verdeo invernal (VI) y no varió en el monocultivo de soja. El índice de mineralización de C no presentó diferencias entre tratamientos en el monocultivo, pero fue significativamente más elevado en el control de la rotación soja-maíz que en SD con control químico de malezas invernales (BQ). Contrariamente, la relación C microbiano/C-MO fue mayor en el tratamiento VI del monocultivo y en los tratamientos LC y VI en la rotación soja-maíz (Tabla 1).

A los 10 años se obtuvo un patrón más homogéneo: en ambos ensayos el tratamiento control (LC) presentó menor contenido de MO y N total y mayor contenido del resto de las variables, excepto el C de la biomasa que fue similar en todos los tratamientos de la rotación soja-maíz. El contenido de MO del control (LC) en rotación no difirió significativamente con el tratamiento BQ, mientras que en el monocultivo el C de la biomasa microbiana de LC no difirió significativamente con VI. El índice de mineralización de C fue significativamente mayor en el control en ambos ensayos, mientras que la proporción de C microbiano en la MO fue significativamente mayor en monocultivo y no difirió de VI en rotación (Tabla 2).

En todos los tratamientos se detectó un aumento significativo en la variación del contenido de MO y N total entre los cinco y los 10 años, excepto en N del VI del monocultivo de soja (Fig. 1). También la variación en el contenido de nitratos fue significativamente diferente a los cinco y 10 años, presentando una disminución más marcada a los 10 años en los tratamientos bajo SD, tanto en rotación como en monocultivo (Fig. 1)

Los parámetros biológicos tuvieron un patrón más errático: la actividad microbiana presentó mayor variación a los 5 años sólo en el monocultivo, mientras que

Tabla 1. Características químicas y biológicas del suelo después de cinco años bajo siembra directa. LC labranza conservacionista (control); BQ siembra directa con control químico de malezas y VI siembra directa con verdeo invernal. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (test de LSD, $P < 0,05$).

Table 1. Soil chemistry and biological characteristics after five years under no-tillage. LC conservation tillage (control), BQ no-tillage and weed chemical control, and VI no-tillage and green winter cover. Different letters indicate significant differences between treatments (LSD test, $P < 0,05$)

	LC	BQ	VI	P
Monocultivo de soja				
Materia orgánica (%)	2,24 b	2,57 a	2,39 a	0,021
Nitrógeno total (%)	0,13 b	0,14 b	0,16 a	0,001
N-NO ₃ ⁻ (mg kg ⁻¹)	27,1 a	26,5 a	23,2 a	0,077
Actividad microbiana (mg CO ₂ g ⁻¹)	0,614 a	0,701 a	0,740 a	0,067
C-biomasa microbiana (mg C g ⁻¹)	0,152 a	0,161 a	0,184 a	0,087
C-CO ₂ /C-MO	1,264 a	1,265 a	1,437 a	0,062
C-biomasa/C-MO	1,17 b	1,07 b	1,33 a	0,011
Rotación soja-maíz				
Materia orgánica (%)	2,09 c	2,57 a	2,27 b	0,005
Nitrógeno total (%)	0,20 b	0,22 a	0,23 a	0,033
N-NO ₃ ⁻ (mg kg ⁻¹)	35,2 a	29,5 a	32,9 a	0,098
Actividad microbiana (mg CO ₂ g ⁻¹)	0,562 a	0,544 a	0,581 a	0,088
C-biomasa microbiana (mg C g ⁻¹)	0,241 b	0,253 b	0,366 a	0,012
C-CO ₂ /C-MO	1,247 a	0,968 b	1,186 ab	0,044
C-biomasa/C-MO	1,98 a	1,07 b	2,77 a	0,025

el C de la biomasa fue diferente entre los cinco y 10 años en todos los tratamientos excepto en BQ de la rotación, mostrando a los 10 años una mayor variación negativa respecto al control (Fig. 1). El índice de mineralización de C y la proporción de C microbiano de la MO reflejaron, a los 10 años, un comportamiento muy homogéneo en todos los tratamientos. Estos parámetros variaron significativamente respecto a los cinco años y siempre con signo negativo, es decir, los valores fueron menores al control (Fig. 1).

Características de la cobertura de rastrojo

A los cinco años, cuando las muestras de rastrojo se tomaron después de la cosecha, la cantidad de rastrojo en el lote con rotación luego de cosechado el maíz fue significativamente mayor que la cantidad existente en el lote con monocultivo de soja (1.175 y 769 g m⁻², respectivamente). En ningún caso se observaron restos no identificables dentro del rastrojo. Todo el material recogido consistió en restos claramente identificables de soja o maíz.

A los 10 años, la cantidad de cobertura de rastrojo fue significativamente menor en el ensayo con monocultivo de soja (1.035,7 g m⁻²), relacionado con el mayor contenido de residuos de cosecha que deja el maíz. En la rotación, el tratamiento que tenía maíz como cultivo antecesor fue el que presentó la mayor biomasa de rastrojo (2.473,9 g m⁻²). Sin embargo, el tratamiento que tuvo mayor humedad fue la rotación con antecesor soja (26% vs. 21% en los otros tratamientos), lo que tendría relación con el estado de descomposición del rastrojo de maíz, como lo evidencia el mayor contenido de restos no identificables (1.095,0 g m⁻²) en dicho tratamiento.

En la rotación con antecesor maíz existió una gran proporción de restos de maíz sin descomponer debido al aporte del año anterior y menor cantidad de restos no identificables (Fig. 2). Es de particular interés la equilibrada proporción entre las diferentes fracciones de rastrojos en el monocultivo. La fracción correspondiente al aporte de hojas previo a la cosecha fue de igual magnitud a los restos de tallos que perduran del año anterior y a

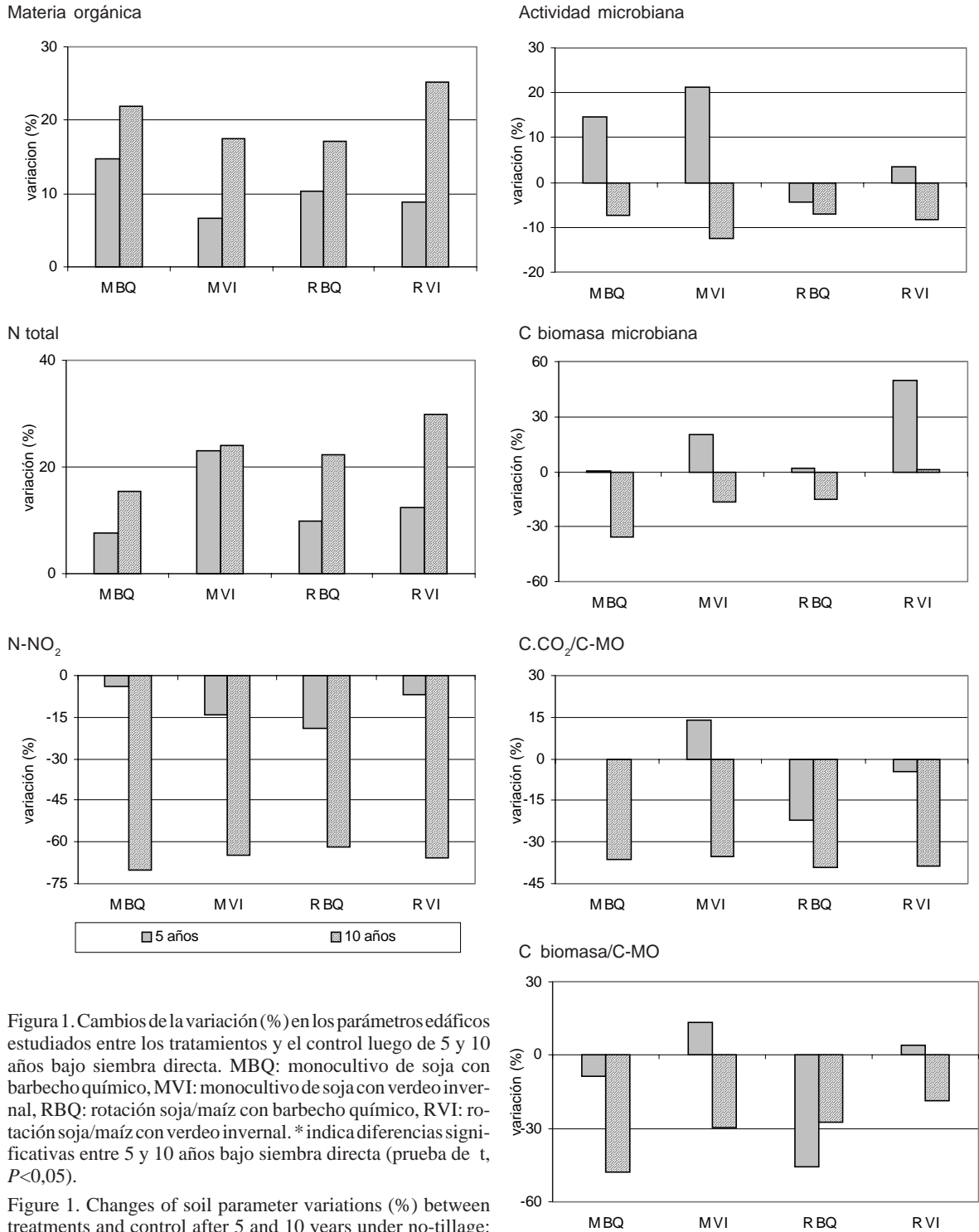


Figura 1. Cambios de la variación (%) en los parámetros edáficos estudiados entre los tratamientos y el control luego de 5 y 10 años bajo siembra directa. MBQ: monocultivo de soja con barbecho químico, MVI: monocultivo de soja con verdeo invernal, RBQ: rotación soja/maíz con barbecho químico, RVI: rotación soja/maíz con verdeo invernal. * indica diferencias significativas entre 5 y 10 años bajo siembra directa (prueba de t, $P < 0,05$).

Figure 1. Changes of soil parameter variations (%) between treatments and control after 5 and 10 years under no-tillage: MBQ: soybean monoculture with weed chemical control, MVI: soybean monoculture with green winter cover, RBQ: soybean-corn rotation with weed chemical control, RVI: soybean-corn rotation with green winter cover. * indicate significant differences between 5 and 10 years under no-tillage (t test, $P < 0,05$).

Tabla 2. Características químicas y biológicas del suelo después de 10 años bajo siembra directa. LC labranza conservacionista (control); BQ siembra directa con control químico de malezas y VI siembra directa con verdeo invernal. Letras diferentes indican diferencias significativas (test de LSD, $P < 0,05$).

Table 2. Soil chemistry and biological characteristics after 10 years under no-tillage. LC conservation tillage (control), BQ no-tillage and weed chemical control, and VI no-tillage and green winter cover. Different letters indicate significant differences between treatments (LSD test, $P < 0.05$).

	LC	BQ	VI	P
Monocultivo				
Materia orgánica (%)	2,47 b	3,01 a	2,90 a	0,012
Nitrógeno total (%)	0,13 b	0,15 a	0,16 a	0,029
N-NO ₃ ⁻ (mg kg ⁻¹)	32,0 a	9,5 b	11,1 b	0,047
Actividad microbiana (mg CO ₂ g ⁻¹)	0,81 a	0,75 ab	0,71 b	0,044
C-biomasa microbiana (mg C g ⁻¹)	0,67 a	0,43 b	0,56 ab	0,002
C-CO ₂ /C-MO	1,47 a	0,94 b	0,95 b	0,001
C-biomasa/ C-MO	4,46 a	2,45 c	3,3 b	0,002
Rotación soja-maíz				
Materia orgánica (%)	2,47 b	2,88 ab	3,08 a	0,004
Nitrógeno total (%)	0,14 b	0,18 a	0,19 a	0,001
N-NO ₃ ⁻ (mg kg ⁻¹)	28,1 a	10,5 b	9,6 b	0,011
Actividad microbiana (mg CO ₂ g ⁻¹)	0,85 a	0,79 b	0,78 b	0,021
C-biomasa microbiana (mg C g ⁻¹)	0,50 a	0,43 a	0,51 a	0,121
C-CO ₂ /C-MO	1,53 a	0,93 b	0,94 b	0,033
C-biomasa/C-MO	3,49 a	2,54 b	2,84 ab	0,045

los restos no identificables en avanzado estado de descomposición (Fig. 2).

A los cinco años, el contenido de C y N del rastrojo de soja fue significativamente mayor que el de maíz (C=62,3% y 54,5% ; N=1,72% y 1,46 %, respectivamente). Por tal motivo, la relación C/N fue muy similar (36 y 37, respectivamente). A los 10 años (Tabla 3), el tratamiento de rotación con antecesor soja, es decir el lote que tenía implantado maíz, presentó bajos valores en la concentración de compuestos solubles, particularmente nitrato y amonio. Contrariamente, los restos de monocultivo de soja mostraron mayor contenido de las fracciones solubles de C y N excepto el N orgánico soluble, que no difirió entre tratamientos, y menor C/N (Tabla 3). Estas características químicas son indicadoras de un material fácilmente descomponible. El tratamiento con antecesor maíz tuvo mayor proporción de C, menor N total y similar cantidad de compuestos solubles inorgánicos (nitratos y amonio) que el monocultivo de soja (Tabla 3).

A los 10 años, tanto el monocultivo como la rotación tuvieron mayor cantidad de rastrojos sobre el suelo que a los cinco años, si bien en este último, el aporte de material

fresco fue mayor debido a que el muestreo fue posterior a la cosecha. Los rastrojos a los 10 años tuvieron significativamente menor concentración de C y N que a los cinco años y la relación C/N fue menor sólo en el monocultivo mientras que en la rotación presentó valores superiores a los cinco años. Probablemente esto tendría relación con el aporte de hojas de soja previo a la cosecha y al grado de descomposición de los residuos de la cosecha anterior.

DISCUSIÓN

Cambios químicos y biológicos en el suelo

En coincidencia con lo comúnmente observado, los suelos del horizonte más superficial (0-10 cm) de los ensayos de la EEA bajo SD ganaron en contenido de C y N siendo esa ganancia claramente mayor con más años bajo SD. Los porcentajes de ganancia observados en este trabajo después de 10 años (aproximadamente 20% para

a los observados por Crespo *et al.*, (2001) en la Pampa Húmeda (11% para ambos, C y N).

Nuestros resultados evidencian que el contenido de nitratos y la biomasa y actividad microbianas son variables altamente dependientes de las condiciones ambientales (Power & Peterson, 1998; Aita & Giacomini, 2003). Por ejemplo, la marcadas diferencias encontradas en la variación de estos parámetros entre los cinco y los 10 años tendrían relación con el momento de muestreo. El muestreo a los cinco años se realizó después de un evento de lluvias que se correspondió con un mes húmedo previo, en el que llovieron 81 mm. Contrariamente, a los 10 años, el mes previo a la siembra fue relativamente seco (30 mm) y las muestras se tomaron después de varios días sin precipitaciones.

Es bien conocido que las labranzas favorecen la descomposición rápida de los residuos como resultado de la mayor actividad microbiana sobre el rastrojo aireado, triturado e incorporado en el suelo (Kladivko, 2001; Abril, 2002). Este proceso provoca liberación de nutrientes pero también está asociado a pérdidas de C como CO₂ y de nitratos por lixiviación (Power & Peterson, 1998). La mayor cantidad de nitratos producida por la labranza puede acumularse en el suelo si no hay consumo ni lixiviación. Ese podría ser el caso de nuestros resultados a los 10 años bajo SD, ya que: a) no hubo consumo, debido a que los muestreos se realizaron previo a la siembra, y b) no hubo suficientes precipitaciones como para provocar lixiviación. Contrariamente, a los cinco años, las elevadas precipitaciones pueden haber ocasionado pérdidas de nitratos, lo que sería la causa de la falta de diferencias entre tratamientos (Bertol *et al.*, 2004). Nuestros resultados son coincidentes con los obtenidos por otros autores en la Pampa Húmeda, donde encontraron mayor contenido de nitratos bajo SD (Dominguez *et al.*, 2001).

El mismo fundamento puede explicar las diferencias detectadas en la respiración edáfica y la biomasa microbiana. Cuando hubo escasas precipitaciones (10 años), los valores fueron los esperables (más bajos en SD que en el control), debido al aumento de los procesos de descomposición en el suelo cuando se incorporan los residuos (Abril, 2002). Contrariamente, las elevadas precipitaciones registradas en presiembra a los cinco años podrían haber lavado los compuestos solubles de C del rastrojo provocando mayor actividad microbiana dentro del suelo (Aita & Giacomini, 2003). Este efecto fue muy marcado en el monocultivo probablemente debido a las características propias del rastrojo de soja que presenta mayor contenido de compuestos solubles. Numerosos autores mencionan que las condiciones climáticas pueden llegar a enmascarar las variaciones en la biomasa y actividad microbiana, particularmente cuando están

asociadas a cambios en la disponibilidad y localización del sustrato como es el caso de la incorporación por laboreo o lavado a partir de la cobertura (Staley, 1999; Spedding *et al.*, 2004). Lo mismo se aplica para el índice de mineralización de C y la proporción de C microbiano. Sólo cuando se muestreó en época con escasas precipitaciones estos índices tuvieron un comportamiento esperable, es decir valores menores en SD, indicando mayor capacidad de humificar y mayor estabilidad de la MO del suelo, respectivamente (Carter 1991; Abril, 2003).

Las escasas diferencias detectadas entre VI y BQ en ambas fechas de muestreo, tanto en rotación como en monocultivo, indicarían que la implantación de un verdeo durante el período de barbecho no tiene un impacto importante en las propiedades del suelo, contrariamente a lo comúnmente aceptado en relación a que un cultivo invernal compromete la disponibilidad de nitratos para el cultivo posterior (Andriulo & Cordone, 1998).

Características de la cobertura de rastrojos

Nuestros resultados muestran grandes diferencias en la cobertura del suelo formada bajo SD luego de 10 años según sea monocultivo o rotación. El hecho de haber tomado las muestras en precosecha permitió establecer mayores diferencias en la calidad de las coberturas que en el muestreo de poscosecha a los cinco años. La similitud en la relación C/N obtenida a los cinco años entre los restos de soja y maíz es coincidente con que la mayoría de los restos correspondían a la fracción más leñosa de las plantas. Sin embargo, al tomar las muestras en precosecha se pudo evaluar el aporte de las hojas de soja que presentan alto contenido de N y de compuestos solubles (Aita & Giacomini, 2003).

La cantidad de residuo no identificable en el rastrojo a los 10 años fue muy importante (entre 2 y 10 toneladas ha⁻¹). Esta fracción, formada por rastrojo en estado muy avanzado de descomposición mezclado con partículas inorgánicas de suelo es llamada por algunos autores el "compost" de la SD (Bertol *et al.*, 2004). La mayor cantidad de esta fracción observada en el ensayo con rotación de cultivos, estaría indicando que la lenta tasa de descomposición del rastrojo de maíz (Bertol *et al.*, 2004) favorece la neo-formación de suelo superficial. Este aspecto es de suma importancia al momento de tomar muestras para evaluar la calidad de los suelos bajo SD, ya que el clásico sistema de eliminar el horizonte superficial del suelo previo a la extracción de las muestras, no permite valorar esta importante interfase suelo-rastrojo.

La fracción no identificable del rastrojo ha sido pocas veces evaluada. Sin embargo, puede constituir una importante reserva de nutrientes de alta movilidad. Nues-

tros resultados indican que la mayor cantidad de restos no identificables se acumula luego de más de dos períodos de descomposición de los restos de maíz. Tal es el caso del tratamiento de rotación con antecesor soja, que presentó casi un 70% de cobertura en avanzado estado de descomposición. Por este motivo, el contenido de compuestos solubles detectados en este tratamiento estarían en la fracción no identificable y no en el residuo de cosecha fresco.

Evidentemente, la liberación de nutrientes a partir de la cobertura después de varios años puede ser muy diferente a la de coberturas con pocos años de SD, donde se menciona que los procesos de inmovilización de nutrientes son muy marcados (Schoenau & Campbell, 1996). El efecto acumulativo del rastrojo bajo SD a lo largo del tiempo otorgaría una mayor estabilidad al sistema, en el cual los nutrientes de la cobertura en avanzado estado de descomposición pasarían al suelo de manera gradual durante todo el ciclo del cultivo, cubriendo de una manera más sincronizada los requerimientos nutricionales de las plantas (Maskina *et al.*, 1993; Alves *et al.*, 1999; Aita & Giacomini, 2003). Este aspecto, es pocas veces considerado en las evaluaciones de fertilidad y requerimientos de fertilización de los cultivos (Benitende & Beni-tende, 2003). Sin embargo, si se calcula la cantidad de N soluble en relación a la cantidad de cobertura en cada situación analizada, nuestros resultados indican que podría existir un aporte de entre 37 y 76 kg de N ha⁻¹ provenientes de una cobertura formada luego de 10 años bajo SD. Este cálculo podría explicar lo observado por algunos autores que mencionan que la respuesta a la fertilización nitrogenada disminuye en relación a la cantidad de años bajo SD (Power & Peterson, 1998; Alves *et al.*, 1999).

BIBLIOGRAFÍA

- Aapresid. 2004. Evolución. www.aapresid.org.ar/apadmin/img/upload/evolucion.xls
- Abril, A. 2002. La microbiología del suelo: su relación con la agricultura sustentable [8]. Pp. 129-150 *En*: SJ Sarandón (ed.). Agroecología. El Camino hacia una Agricultura Sustentable. Ediciones Científicas Americanas. La Plata. Argentina. 557 pp.
- Abril, A. 2003. ¿Son los microorganismos edáficos buenos indicadores de impacto productivo en los ecosistemas? *Ecología Austral* 13: 195-204.
- Abril, A; V Caucás & F Núñez Vázquez. 1995. Sistemas de labranza y dinámica microbiana del suelo en la región central de la provincia de Córdoba (Argentina). *Ciencia del Suelo* 13: 104-106.
- Abril, A & EHBucher. 2001. Overgrazing and soil carbon dynamics in the Western Chaco of Argentina. *Appl Soil Ecol* 16: 243-249.
- Aita, C & SJ Giacomini. 2003. Crop residue decomposition and nitrogen release in single and mixed cover crops. *R Bras Ci Solo* 27: 601-612.
- Alef, K. 1995. Soil respiration. [5]. Pp. 214-219 in: K Alef & P Nannipieri P (eds.). *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry*. Academic Press. London. 576 pp.
- Alves BJ; L Zotarelli; RM Boddey & S Urquiaga S. 1999. Ciclo de N en sistemas de siembra directa y convencional. *Actas de Jornada Técnica: Biología del suelo en siembra directa*. pp 1-5.
- Benitende, MC & SM Benitende. 2003. Mineralización de nitrógeno del suelo: potencial de mineralización - factores relacionados con el potencial de mineralización. Pp. 39-50 *En*: A Albanesi (ed.). *Microbiología Agrícola. Un aporte de la investigación Argentina*. Universidad Nacional de Santiago del Estero. Argentina. 275 pp.
- Bertol, I; D Leite & WA Zoldan Jr. 2004. Corn crop residue decomposition and related parameters. *R Bras Ci Solo* 28: 369-375.
- Buschiazzo, D; J Panigatti & F Babinec (eds.) 1996. Labranzas en la región semiárida argentina. INTA. Buenos Aires. Argentina. 124 pp.
- Carter, MR. 1991. The influence of the proportion of organic carbon and nitrogen in the microbial biomass of medium-textured soils in a humid climate. *Biol Fertil Soils* 11: 135-139.
- Crespo, L; LI Picone; YE Andreoli & FO García. 2001. Poblaciones microbianas y contenido de carbono y nitrógeno del suelo en sistemas de siembra directa y labranza convencional. *Ciencia del Suelo* 19: 30-38.
- Díaz-Zorita, M; M Barraco & C Alvarez. 2004. Efectos de doce años de labranzas en un haplustol del noroeste de Buenos Aires, Argentina. *Ciencia del Suelo* 22: 11-18.
- Domínguez, GF; GA Studdert; HE Echeverría & FH Andrade. 2001. Sistemas de nutrición nitrogenada en maíz. *Ciencia del Suelo* 19: 47-56.
- Fabrizzi, KP; A Morón & FO García. 2003. Soil carbon and nitrogen organic fractions in degraded vs. non-degraded mollisols in Argentina. *Soil Sci Soc Amer J* 67: 1831-1841.
- Ferraro, DO; CM Ghersa & GA Sznajder. 2003. Evaluation of environmental impact indicators using fuzzy logic to assess the mixed cropping systems of the Inland Pampa, Argentina. *Agr Ecosyst Environ* 96: 1-18.
- Galloway, JN; EB Cowling; SP Seitzinger & RH Socolow. 2002. Reactive nitrogen: too much of a good thing? *Ambio* 31: 60-63.
- González, MG; ME Conti; RM Palma & NM Arrigo. 2003. Dynamics of humic fractions and microbial activity under no-tillage or reduced tillage, as compared with native pasture (Pampa Argentina). *Biol Fertil Soils* 39: 135-138.
- Heenan, DP; KY Chan & PG Knight. 2004. Long-term impact of rotation, tillage and stubble management on the loss of soil organic carbon and nitrogen from a Chromic Luvisol. *Soil Till Res* 76: 59-68.

- Jarsún, B; J Gorgas; H Bosnero; E Zamora & E Lovera. 1990. Provincia de Córdoba. Pp. 392-512. *En: M Moscatelli (ed.). Atlas de suelos de la República Argentina.* INTA. Buenos Aires. Argentina.
- Joergensen, R. 1995. The fumigation extraction methods [8]. Pp 376-381. *In: K Alef & PNannipieri (eds.). Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry.* Academic Press. London. 576 pp.
- Kladivko, EJ. 2001. Tillage systems and soil ecology. *Soil Till. Res.* 61: 61-76.
- Keeney, D & D Nelson. 1982. Nitrogen inorganic forms []. Pp 643-698. *In: AL Page; R Miller & D Keeney (eds.). Methods of Soil Analysis. Agronomy. 9: (part II). Amer Soc Agron., Soil Sci Amer & Crop Sci Soc Amer. Madison. WI. USA.*
- Kopp, S. 2002. Efecto de diferentes manejos de rastrojos en sistemas de siembra directa sobre el aporte de nitrógeno por fijación biológica. Tesis de Maestría en Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.
- Lupwayi, NZ; WA Rice & GW Clayton. 1998. Soil microbial diversity and community structure under wheat as influenced by tillage and crop rotation. *Soil Biol Biochem* 30: 1733-1741.
- Maskina, MS; JF Power; JW Doran & W Wilhelm. 1993. Residual effects of no-till crop residues on corn yield and nitrogen uptake. *Soil Sci Soc Ame J* 57: 1555-1560.
- Meyer, K; RG Joergensen & B Meyer. 1996. The effects of reduced tillage on microbial biomass C and P in sandy loess soils. *Appl Soil Ecol* 5: 71-79.
- Morello, J & OT Solbrig (eds.). 1997. ¿Argentina granero del mundo: hasta cuándo? Orientación Gráfica Editora. Buenos Aires. 280 pp.
- Nelson, DW & LE Sommers. 1982. Total carbon, organic carbon organic matter. []. Pp 539-579. *In: AL Page; RH Miller & DR Keeney (eds.). Methods of Soil Analysis. Agronomy. 9: (part II). Amer Soc Agron, Soil Sci Amer & Crop Sci Soc Amer. Madison. WI. USA.*
- Panigatti, JL; H Marelli & D Buschiazzo (eds.). 2001. Siembra Directa II. INTA. Buenos Aires. Argentina. 377 pp.
- Power, JF & GA Peterson. 1998. Nitrogen transformations, utilization, and conservation as affected by fallow tillage method. *Soil Till Res* 49: 37-47.
- Robertson, GP; DC Coleman; CS Bledsoe & P Sollins. 1999. Standard soil methods for long-term ecological research. Oxford University Press, New York. USA. 462 pp.
- Schoenau, J & C Campbell. 1996. Impact of crop residues on nutrient availability in conservation tillage systems. *Can J Plant Sci* 76: 621-626.
- Sisti, CPJ; HP dos Santos; R Kohhlann; B Alves; S Urquiaga & RM Boddey. 2004. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. *Soil Till Res* 76: 39-58.
- Spedding, TA; CHamel; GR Mehuys & CA Madramootoo. 2004. Soil microbial dynamics in maize-growing soil under different tillage and residue management systems. *Soil Biol Biochem* 36: 499-512.
- Staley, TE. 1999. Soil microbial biomass alterations during the maize silage growing season relative to tillage method. *Soil Sci Soc Ame J* 63: 1845-1847.
- Steel, RG & JH Torrie. 1985. Principles and procedures of statistics. Mc Graw-Hill. New York. USA.
- Steiner, JL; HH Schomberg; PW Unger & J Cresap. 1999. Crop residue decomposition in no-tillage small-grain fields. *Soil Sci Soc Ame J* 63: 1817-1824.
- Vitousek, PM; HA Mooney; J Lubchenco & JM Melillo. 1997. Human domination on earth's ecosystems. *Science* 277: 494-499.