

Esteban Alessandria, Miryam Arborno, Héctor Leguía, Liliana Pietrarelli,
Juan Vicente Sanchez y José Luis Zamar (ex Aequo)

Introducción de cultivos de cobertura en agroecosistemas extensivos de la región central de Córdoba

INTRODUCCIÓN

En las últimas tres décadas, los sistemas agropecuarios extensivos de la región central de Córdoba, Argentina, han sufrido transformaciones en su estructura y función, produciendo un proceso de simplificación productiva, que generó una intensa degradación del medio biofísico y una disminución general de los mecanismos de autorregulación. Varios procesos contribuyeron a esta simplificación: la agriculturización en general, la difusión de la siembra directa (SD), la incorporación de materiales transgénicos, el uso de insumos químicos y biotecnológicos y una orientación casi excluyente, a la producción de granos, que favorecieron la sojización. (Pietrarelli, 2009), determinando una importante reducción de la agrobiodiversidad tecnológica y biológica que llevan a la pérdida de servicios ambientales asociados a la biodiversidad (Alessandria, 2001).

El cultivo de soja aporta pocos residuos, su sistema radicular no contribuye mayormente a la generación de poros, ni favorece a la fertilidad química; si bien es una leguminosa no llega a generar un excedente de N y se lo considera un cultivo extractivo (Darwich, 2003). La especialización de genotipos y sus altas exigencias para maximizar la productividad determina, en zonas con limitaciones pluviométricas, fuertes fluctuaciones de la productividad (Motha, 2005). La uniformidad del monocultivo se refleja también en una menor diversidad biológica del suelo, disminuyendo los controles poblacionales de patógenos y plagas edáficas (Primavesi, 1984).

Estas condiciones se manifiestan en el componente suelo, particularmente en las regiones subhúmedas a semiáridas, a través de una compactación de los horizontes superficiales y subsuperfi-

ciales, una importante erosión hídrica y eólica, la disminución de la fertilidad química, la reducción de la materia orgánica del suelo y el empobrecimiento de la micro y macro fauna edáfica (Stewart y Robinson, 1997). Para la zona en estudio, Leguía et al 2004, muestran una evidente deterioro en los valores de diversos indicadores de la calidad de suelos. Dichas características hacen crítico el aprovechamiento del agua de lluvia. Para mejorar las condiciones edáficas que permitan un mejor balance hídrico que beneficie al cultivo principal, sin incorporación de grandes insumos y manteniendo un rendimiento aceptable, se deben reestablecer, en la medida de lo posible, los atributos edáficos que se perdieron.

Existen diversas prácticas agroecológicas basadas en tecnologías de procesos (Altieri y Nicholls, 2000), que permiten atacar los problemas mencionados, entre ellas pueden citarse:

1. La rotación de cultivos, que proporciona un mayor aporte de materia orgánica al sistema a través de la incorporación de cultivos con elevada biomasa como maíces de polinización abierta que tienen mayor adaptación a las condiciones limitantes de la zona semiárida. (Sanchez et al., 2010).

2. La incorporación de cultivos de cobertura invernal (CC), que proporcionan una fuente adicional de cobertura viva y una cantidad importante de mulch, como también el “laboreo biológico” de sus raíces, que mejora la estructura, porosidad y estabilidad estructural de los agregados (Walker y Reuter, 1996). Asimismo los CC consociados de gramíneas y leguminosas contribuyen de diferente manera al aporte, reciclado y disponibilidad de nutrientes y por otro lado, inhiben la presencia de malezas (Zamar et al., 2000), estimulan la diversidad y actividad de los microorganismos edáficos (Primavesi, 1984) y proveen ali-

mento y refugio a insectos depredadores, parásitos y parasitoides.

3. La aplicación de biofertilizantes, que aporta diversidad biológica y permite reponer nutrientes extraídos por los cultivos (Chaoui et al., 2003). El uso del lombricompost en cultivos extensivos es todavía incipiente, habiendo sido probado en nuestro país, con resultados satisfactorios, en trigo, maíz y girasol (Fantino, 2003).

Por otra parte, y considerando la variabilidad climática, los resultados se manifiestan a mediano y largo plazo, por lo que se requieren experiencias de larga duración.

En este esquema, los CC deben formar parte de un grupo de prácticas basadas en tecnologías de procesos, que reviertan la evidente degradación de los suelos.

La innovación en el diseño y manejo de los agroecosistemas en la zona central de Córdoba, pasa por un cambio en la forma de entender tanto la estructura como la dinámica de estos sistemas productivos. Por esta razón, el camino más razonable para lograr una transición a sistemas más sostenibles, es el de introducir cambios paulatinos en los sistemas tradicionales de la región que permitan restaurar gradualmente características ecosistémicas funcionales, relacionadas con la respuesta y estabilidad productivas y su impacto ambiental. Estos serán viables y admitidos si son satisfactorios y se armonizan con los criterios, racionalidad y posibilidades técnicas de los productores (Herrera, 1981).

Este proceso gradual de transformaciones debe realizarse en estrecha interacción con el productor agropecuario, asumiendo como elemento básico la generación y disponibilidad de información local acompañada de un manejo adecuado y compatible con las posibilidades de los productores.

El objetivo general del trabajo es evaluar, en agroecosistemas extensivos agrícolas de la zona semiárida, la introducción de los CC como práctica agroecológica a fin de mejorar las condiciones edáficas, aumentar la agrodiversidad y reducir la incorporación de insumos.

Descripción de la zona

La región donde se realizaron los ensayos es una llanura con escasa vegetación natural debido al intenso uso agrícola-ganadero. El área forma

parte de la Cuenca Rafael García-Lozada, localizada a unos 35 Km al Sur de la ciudad de Córdoba, Argentina, entre los 31° 30' y los 32° 00' de Latitud Sur, y los 63° 30' y 64° 30' de Longitud Oeste. El relieve va de llano a ligeramente ondulado, con una pendiente general de oeste a este no superior al 3%.

El clima es templado continental, con una temperatura promedio anual de 17 grados. Durante el período bajo estudio se registró un promedio de 642 mm (+/- 100 mm) con el 80% concentrado en el semestre cálido; los vientos del norte y del sur son muy intensos en invierno. Teniendo en cuenta el índice de aridez y las precipitaciones de los últimos 10 años, se observa que el invierno y la primavera evidencian características de semi-aridez (Ovando et al, 2002) y que las lluvias muestran una tendencia decreciente, particularmente en invierno (de la Casa, comunicación personal).

Los suelos son de mediano a buen desarrollo, de franco-limosos a franco-arenosos; se clasifican como Molisoles Argiustoles típicos (Sanabria et al., 1997). Los problemas detectados en estudios preliminares y evidenciados por los productores de la zona, tienen relación directa con la degradación de los mismos. Numerosas evaluaciones realizadas en esta cuenca hidrográfica mostraron un marcado deterioro de diferentes variables físicas y biológicas del suelo bajo uso agropecuario, comparadas con las del bosque nativo (Aoki, 2002; Leguía et al., 2004); es considerada como una de las zonas más afectadas por la erosión hídrica acelerada dentro de la provincia de Córdoba. Los procesos más importantes que se describen en estos suelos, de elevada susceptibilidad a la erosión hídrica, son erosión areolar (arroyada difusa), lineal (surcos y, en mucho menor proporción, cárcavas) y mallines, que se presentan en forma generalizada (Sanabria et al., 1997).

La vegetación original, que ha sido reducida actualmente a un 6% de la superficie (Zamar et al., 2007), corresponde a lo que se describe como bosques del Espinal, dominados por *Prosopis alba* y *P. nigra*.

Los sistemas productivos dominantes corresponden al tipo "agrícola puro" (Alessandria et al., 2001) bajo una larga historia de agricultura continua, con establecimientos de 150-250 ha y productores familiares capitalizados.

MATERIALES Y MÉTODOS

La experiencia, con un diseño de parcelas divididas en bloques (una por productor), se desarrolla desde el invierno del 2005 en tres establecimientos agropecuarios representativos de la zona bajo estudio. Los productores colaboran estrechamente con la ejecución de los ensayos, facilitan maquinarias, aportan insumos y mano de obra y participan de la evaluación de los resultados de los mismos.

Cada parcela tiene aproximadamente 6.000 m² y en ellas se llevan a cabo los siguientes tratamientos:

Cultivo de Cobertura Invernal	Secuencia de Cultivos			Biofertilizante en cultivo estival
		Estival	Invernal	
Con Cultivo de Cobertura	Monocultivo	Soja	Triticale + Vicia	Con biofertilizante Sin biofertilizante
	Rotación	Soja/Maíz	Triticale + Vicia	Con biofertilizante Sin biofertilizante
Sin Cultivo de Cobertura	Monocultivo	Soja	Barbecho químico	Sin biofertilizante
	Rotación	Soja/Maíz	Barbecho químico	Sin biofertilizante

El tratamiento testigo es monocultivo con barbecho químico sin biofertilizante. El tamaño de cada tratamiento principal es de aproximadamente 2.000 m², cuyo ancho (5 ó 10 m) es compatible con los implementos utilizados por los productores de la zona (sembradora y pulverizadora). En un tercio de las mismas se efectúan los tratamientos con biofertilizante a partir del 2008.

El CC se sembró según las condiciones climáticas lo permitan en la segunda quincena de mayo y la primera quincena de junio, a una densidad que promedia los 50 Kg ha⁻¹ de triticale (variedad de la zona) y 22 Kg ha⁻¹ de Vicia sativa, sembrados con sembradoras de SD para grano fino o grueso. Este cultivo es secado con herbicida en el momento de la floración del triticale, aproximadamente la segunda quincena de octubre. El maíz se siembra a una densidad de 7 pl m⁻² y la soja a 40 pl m⁻²; en ambos casos, la distancia entre hileras es de 52 cm. Se utilizaron poblaciones de maíces de polinización abierta seleccionadas por técnicos de la región, y cultivares de soja suministrados por los productores, ambos en siembra directa. La rotación maíz/soja se realiza con una alternancia

anual.

Los herbicidas usados para el barbecho químico son los que comúnmente utilizan los productores de la zona tales como glifosato (2 l ha⁻¹) en mezcla con 2-4 D (0,5 l ha⁻¹) y en algunas oportunidades con el agregado de Dicamba o Sulfosato.

En algunos casos se aplicaron en presiembra los mismos herbicidas en todos los tratamientos y, ante la presencia de plagas de insectos, de ser necesario y donde se requiera, se aplica Cipermetrina (80 cm³Ha⁻¹) u otro insecticida específico. Se utiliza como biofertilizante un lombri-compuesto certificado, parcialmente desecado, aplicado en una proporción de 130 dm³ ha⁻¹ (apro-

ximadamente 100 Kg ha⁻¹) localizado en el surco de siembra de los cultivos, mediante el uso del cajón fertilizador de la sembradora. Los ensayos de biofertilización se realizaron en las parcelas con monocultivo (año 2008) y con monocultivo y rotación (años 2009 y 2010).

Las variables biofísicas que se evaluaron para registrar los efectos de los tratamientos son las siguientes:

- **Edáficas:** densidad aparente (DA) a 0-5 y 10-15 cm de profundidad (método del cilindro); resistencia mecánica (con penetrómetro de golpe, cada golpe representa 3,01 MPa); infiltración (infiltrómetro de anillo simple); contenido de materia orgánica (MO) a 0-5 y 5-20 cm de profundidad (por análisis de laboratorio) y estabilidad estructural (EE) (Walker y Reuter, 1998).
- **Biológicas:** Biomasa en pie del CC y del cultivo de cosecha (cosecha, secado y pesado del material); rendimiento de grano del cultivo (cosecha y trilla manual); proporción y tipos de maleza (por censos).

Se analizaron las variables respuesta mediante un ANAVA (Infostat, 2004) y se confeccionan gráficos específicos para comparar las respuestas a los distintos tratamientos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En relación a las diferentes prácticas agroecológicas aplicadas, se presentan los siguientes resultados.

Implantación de los cultivos de cobertura

Así como es ventajosa por las razones ya enunciadas, la implementación de los CC en la zona bajo estudio, encuentra diversos inconvenientes vinculados a cuestiones climáticas y tecnológicas, como por ejemplo:

- el retraso en la cosecha de los cultivos estivales (maíz o soja en siembras tardías) hace que se demore la siembra de los CC.
- debido a la especialización de los productores en la siembra de grano grueso, es muy difícil conseguir sembradoras de grano fino y a veces esto provoca que se utilicen sembradoras inapropiadas para su implantación.
- la variabilidad estacional de las precipitaciones pueden dar lugar a otoños o inviernos secos que impiden o retrasan la siembra del CC o dificultan su crecimiento.

En nuestro caso, se hace notar que el CC tuvo una buena implantación y producción en el primer año y en menor medida en el segundo y quinto ciclo; en los años restantes su crecimiento estuvo restringido por las condiciones climáticas y tecnológicas mencionadas.

De ahí que el éxito de los CC en esta zona sea relativo y sus efectos beneficiosos se logren en

forma gradual por lo que sería necesario continuar con esta práctica por varios años y complementarla con otras técnicas agroecológicas como rotación continua para obtener una mejoría paulatina de las condiciones edáficas. Ensayos de corta duración realizados en la región, en condiciones experimentales, no en situaciones de producción, muestran que los CC secados oportunamente, dejan mayor contenido hídrico en el suelo y permiten una recarga con las primeras lluvias primaverales. (Basanta et al., 2008)

Efectos sobre las características edáficas

- *Infiltración*: en el primer año hubo un leve aumento en relación al dato inicial, más evidente ($p < 0,10$) cuando se instaló el CC y luego del cultivo de maíz. Probablemente la presencia de mayor número de raíces dio lugar a una más rápida infiltración, que estuvo relacionado con una mejor DA en el horizonte superficial (Figura 1). En el quinto año se aprecia una disminución, aunque no significativa, en todos los tratamientos; sin embargo el tratamiento con mayor agrodiversidad manifiesta la mejor infiltración.

- *Densidad aparente superficial*: se produjo un leve aumento de la densidad aparente en todos los tratamientos en relación al valor inicial, salvo en el caso de la presencia del CC y de la rotación, donde se mantuvo en condiciones similares a la inicial hasta el tercer año (Figura 2), En el caso del monocultivo de soja se produjo un paulatino y significativo aumento de esta variable. Tal “densificación” de la capa superficial del suelo, así como la disminución en la infiltración, serían motivadas por el paso de las máquinas, propio de la SD y

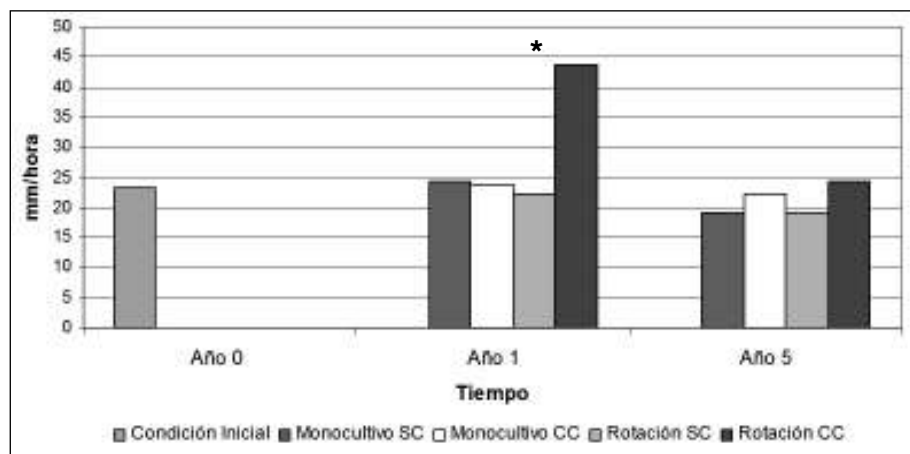


Figura 1: Evolución de la infiltración en cuatro tratamientos.

(*) expresa diferencias significativas ($p < 0,10$)

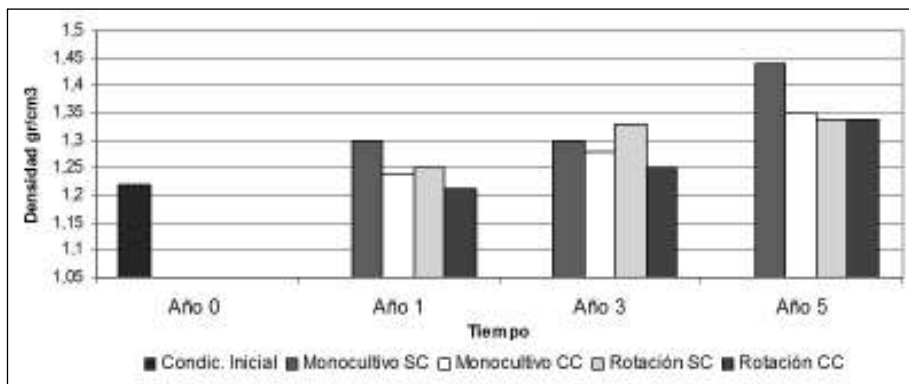


Figura 2: Evolución de la densidad aparente superficial (0 a 5 cm) en cuatro tratamientos.

Tabla 1: Estabilidad estructural superficial y subsuperficial para los diferentes tratamientos. En porcentajes del máximo de estabilidad: gránulo que no se desagrega a las 2 horas de sumergido.

(*) indica diferencias significativas con la situación inicial ($p \leq 0,10$).

	Superficial (0-5 cm)			Subsuperficial (5-20 cm)		
	Promedio Condición Inicial	Promedio 1º año (2006)	Promedio 5º Año (2011)	Promedio Condición Inicial	Promedio 1º año (2006)	Promedio 5º Año (2011)
Monocultivo SC	44,5	53,3 (*)	52,00 (*)	27,3	23,3	22,70
Monocultivo CC		53,8 (*)	64,78 (*)		30,4	29,11
Rotación SC		51,8 (*)	67,11 (*)		21,0	39,30
Rotación CC		66,5 (*)	70,80 (*)		29,3	32,22

apenas puede ser contrarrestada por la presencia del CC o de la rotación. El aumento en el contenido de MO no habría sido suficiente como para dar lugar una mayor porosidad.

- *Densidad aparente sub-superficial:* no se produjeron mayores cambios en esta variable en el tiempo que fue evaluada; los valores oscilaron entre 1,40 y 1,60 gr cm⁻³. Los resultados obtenidos en ambos horizontes mostraron una tendencia similar a lo expresado por Varela et al (2010) y Álvarez et al (2010) quienes no encontraron cambios en la DA con la incorporación de CC.

- *Estabilidad estructural superficial y sub-superficial:* fue evaluada en el primer y el quinto año; en ambos casos muestra diferencias notorias respecto al estado inicial ($p \leq 0,10$). En el monocultivo de soja sin CC aumentó en el primer año y luego se mantuvo prácticamente constante, no así en los otros tratamientos que aumentaron su estabilidad estructural hasta un 30 % en la capa superficial (rotación CC) y en menor proporción sub-superficial-

mente. Al comparar los diferentes tratamientos, se observa que todos los valores de EE mejoran en el 5º año (con el efecto de 3 CC y 3 ciclos de maíz en la rotación), comparados con el testigo (Tabla 1). Trabajos realizados por Álvarez et al., (2010) demuestran también una mejora en la estabilidad estructural con los CC. Este aumento en la EE se correlaciona estrechamente ($R=0,90$) con el incremento en el contenido de MO.

- *Contenido de MO superficial:* al cabo de 5 años con siembra directa, el monocultivo de soja SC aumento solo 6,5% respecto a sus valores iniciales, mientras que los incrementos con CC o con rotación fueron 35,4 y 37,0 % respectivamente (Tabla 2). El mayor aporte de raíces y biomasa aérea, generados por la incorporación de maíz y del CC, tuvo su correlato en un aumento importante de la MO del suelo en el estrato superficial (Quiroga et al., 1999, Álvarez et al., 2010). El ANAVA no muestra diferencias significativas entre la condición inicial y el tratamiento testigo ($p \leq 0,10$), si en cambio

	Superficial (0-5 cm)		Subsuperficial (5-20 cm)	
	Promedio Condición Inicial	Promedio 5º Año	Promedio Condición Inicial	Promedio 5º Año
Monocultivo SC	1,85	1,97	1,28	1,24
Monocultivo CC		2,48 (*)		1,45
Rotación SC		2,54 (*)		1,44
Rotación CC		2,53 (*)		1,61

Tabla 2: Contenido de materia orgánica (en %) superficial y sub-superficial para los diferentes tratamientos. Con cultivo de cobertura (CC); sin cultivo de cobertura (SC). (*) indica diferencias significativas con la situación inicial ($p \leq 0.10$).

	Resistencia mecánica (MPa)		
	Condición Inicial	2007/2008	2011
	1,623		
Monocultivo SC		1,630	1,850
Monocultivo CC		1,462	1,312
Rotación SC		1,554	1,583
Rotación CC		1,553	1,598

Tabla 3: Resistencia mecánica del suelo (en MPa) hasta los 40 cm de profundidad para los diferentes tratamientos. Con cultivo de cobertura (CC); sin cultivo de cobertura (SC).

entre estas dos situaciones y el resto de los tratamientos (Rotación CC y SC y Monocultivo CC).

- *Contenido de M O sub-superficial:* Si bien hubo un incremento al cabo de 5 años, no se encontraron diferencias significativas entre la condición inicial y los tratamientos ($p \leq 0.10$). (Tabla 2).

- *Resistencia mecánica del suelo:* Si bien hubo una notoria heterogeneidad espacial, se observa en el testigo que la resistencia del suelo a la penetración evidencia un aumento, mientras que en los demás tratamientos se manifiesta una leve disminución de la misma

en relación a la condición inicial (Tabla 3).

Para la última evaluación, año 2011, la figura 3 pone evidencia que las prácticas que introducen mayor agrodiversidad, reducen la resistencia del suelo a nivel superficial. A mayor profundidad se observa una mayor compactación, más notoria en el testigo, como consecuencia de un sistema de labranza convencional utilizado por varias décadas y por la naturaleza del suelo más arcillosa. Similares resultados obtuvieron Varela et al., (2009) con suelos de textura franco-arenosa.

No obstante se detecta un patrón de compactación en dos profundidades donde se supe-

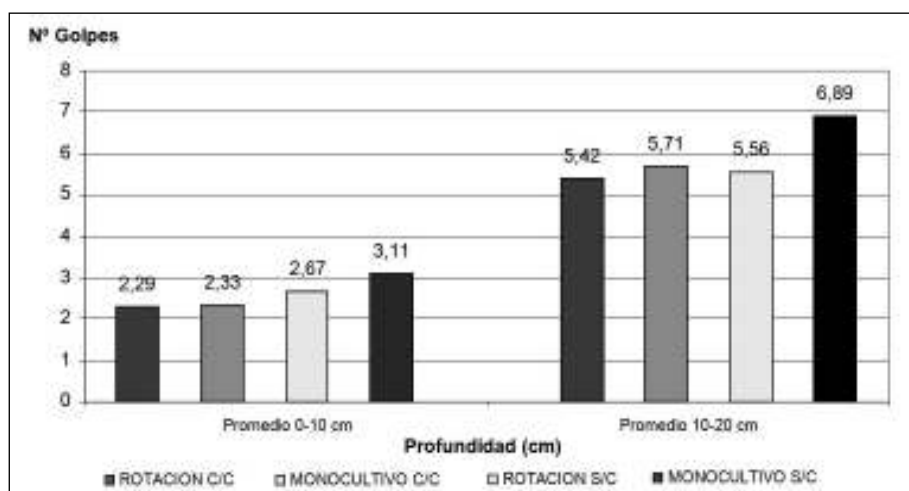


Figura 3: Resistencia mecánica del suelo en cuatro tratamientos y en dos profundidades, expresado en número de golpes ($0,301 \text{ MPa golpe}^{-1}$). Datos correspondientes al año 2011. Con cultivo de cobertura (CC); sin cultivo de cobertura (SC).

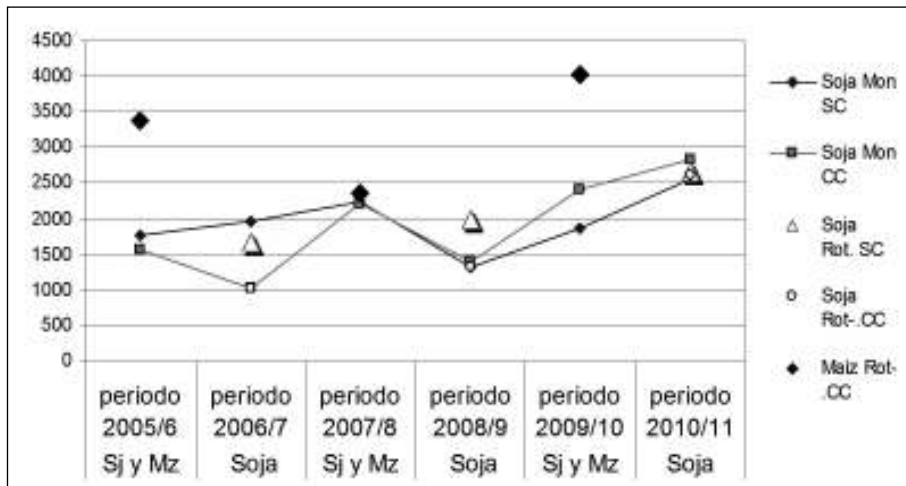


Figura 4: Rendimiento de granos de soja y maíz en Kg ha⁻¹ en las diferentes campañas y tratamientos.

ran los umbrales aceptables y por lo tanto limitan la expansión de raíces y la captación y el almacenamiento del agua. Los valores de resistencia en estos estratos promedian 1,75 Mpa, superando el valor de 1,5 señalado por Díaz (2010) como umbral crítico.

Efectos sobre la producción de biomasa

- **Rendimientos de grano:** tanto la inclusión del CC como la rotación tienen efectos favorables en los rendimientos. La Figura 4 muestra la evolución de los rendimientos de soja y maíz. Se observa que los rendimientos en monocultivo de soja con CC acusan una disminución inicial (2006/07) con respecto al testigo; al año siguiente estos rendimientos se equiparan y luego, superan al testigo. Los ren-

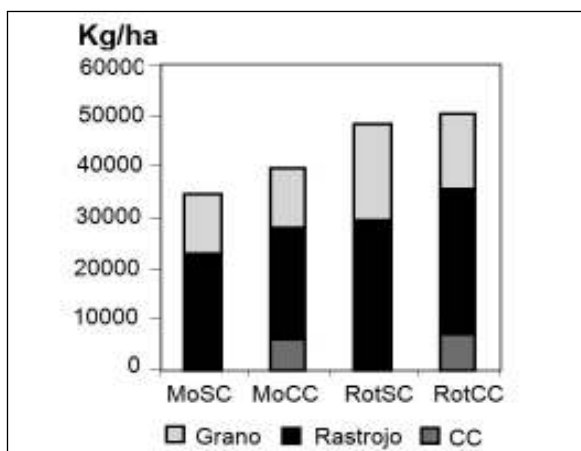


Figura 5: Producción total de biomasa (granos, rastrojo y CC) en Kg MS ha⁻¹ en los diferentes tratamientos (Monocultivo sin C, Monocultivo CC, Rotación sin C y Rotación CC).

dimientos de soja bajo rotación, con y sin CC, son más estables y crecientes; mientras que el rendimiento de maíz, muy afectado en 2007/8, muestra también una tendencia ascendente.

- **Producción total de biomasa (granos y residuos o rastrojos):** el CC aumentó la cantidad total acumulada de biomasa tanto en el planteo de monocultivo como en rotación. Aunque el aporte específico del CC fue escaso (500-2700 Kg MS ha⁻¹), generó cambios en la relación residuo/grano del cultivo estival. En el monocultivo de soja esta relación se mantuvo alrededor de 2,05, mientras que en la rotación maíz-soja pasó de 1,56 a 1,99. Ambos efectos se suman para integrar el aporte total de biomasa (Figura 5).

Tanto la rotación como el CC no sólo contribuyen a la cantidad sino también a la diversidad del tipo de residuos. El CC permite, además, la distribución temporal de los aportes, lo que favorecería la actividad biológica del suelo (Abril, 2002). Es posible prever un proceso de retroalimentación positiva entre la productividad de granos y rastrojos de los cultivos estivales y el cultivo de cobertura.

- **Eficiencia del uso del agua:** la inclusión de CC tiende a mejorar la producción de grano en relación a los mm caídos en el ciclo del cultivo (Kg MS ha⁻¹ mm⁻¹). En la Figura 6 se observa la tendencia creciente de la respuesta de maíz y soja con CC y levemente decreciente en el testigo.

Efectos sobre las malezas

En el primer año, con una buena implantación

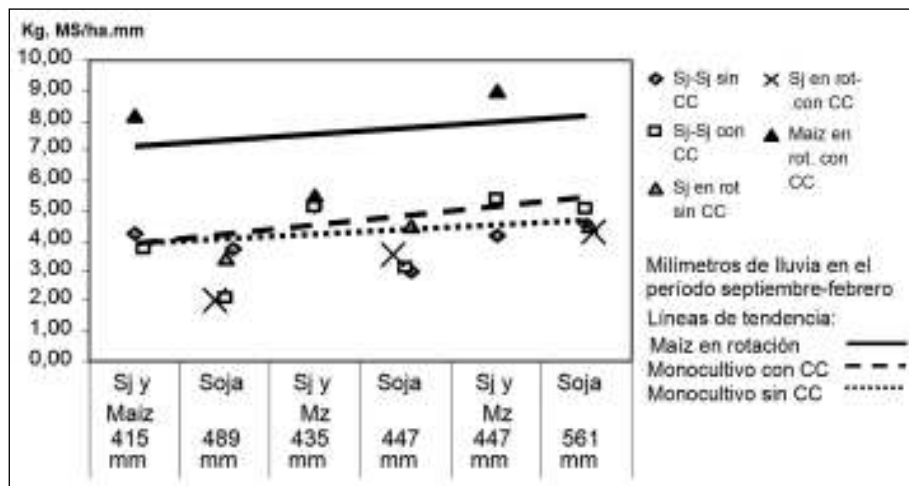


Figura 6: Producción de granos en relación a mm de lluvia en el período septiembre-febrero, en Kg MS ha⁻¹ mm⁻¹ en los diferentes tratamientos. Se presentan las líneas de tendencia para tratamientos CC y el testigo.

Tabla 4: Características estructurales de las comunidades de malezas invernales (Setiembre 2005) y estivales (abril 2006) en cultivo de maíz con y sin cultivos de cobertura.

Letras diferentes implican diferencias significativas.

	Comunidad invernall			Comunidad estival		
	Cobertura (%)	Riqueza (Nº de spp)	Diversidad (H)	Cobertura (%)	Riqueza (Nº de spp)	Diversidad (H)
Barbecho químico	22,95 a	8,66 a	1,061 a	21,66	6,67	0,997 a
Cultivo de Cobertura	0,90 b	2,66 b	0,601 b	29,33	5,33	0,552 b

del CC, disminuyó significativamente ($p < 0,0001$) la importancia de malezas invernales, tanto en riqueza como en diversidad, dominando especies dicotiledóneas como *Descurainia argentin*, *Linaria texana* y *Bowlesia incana* en la parcela testigo. En el cultivo de maíz, el CC no incidió mayormente en la instalación de las malezas estivales; en ambos casos sin CC y con CC, las comunidades fueron similares, con alta dominancia de *Digitaria sanguinalis*, diferenciándose entre ellas, particularmente por la diversidad específica (Tabla 4). En el cultivo de soja, las malezas no tuvieron importancia debido al control químico realizado.

En el segundo año, la sequía invernal afectó al CC y a la aparición de malezas; por ello se realizó sólo un censo de presencia/ausencia en la comunidad invierno-primaveral. En este caso, las comunidades de malezas que siguieron al maíz y a la soja con barbecho químico (18 y 17 especies respectivamente), continuaron siendo más diversas que las provenientes del CC invernal (7 especies).

Estos resultados coinciden con los expuestos por Blackshaw et al., (2001) trabajando con *Melilotus officinalis*, por Zamar et al., (2000) que

lo hicieron con trigo y *Vicia sativa* y Pérez y Scianca (2009) con avena, centeno y raigrás, en los cuales, por efectos competitivos y/o alelopáticos, los CC disminuyeron la aparición de malezas.

Implantación de maíces de polinización abierta

En todos los años que se sembraron estas variedades, se obtuvieron rendimientos aceptables, algo inferiores a los que se tienen con los híbridos comúnmente utilizados, de alto costo de semilla; en años desfavorables o en suelos muy degradados (franco arenosos) produjeron buenos y aún más altos rendimientos (Sanchez et al., 2010). Los datos de los ensayos realizados muestran, en años con déficits hídricos marcados, que las variedades de maíz de polinización abierta, tienen un buen rendimiento de granos (3,2-4,5 Tn ha⁻¹) y biomasa vegetativa (8,2-9,3 Tn ha⁻¹), manifestando una buena adaptación a las condiciones ambientales del semiárido y contribuyendo con un aporte significativo de residuos, lo que demuestra una buena plasticidad.

Cabe señalar que estos resultados motivaron el interés de los productores, quienes cosecharon

y trillaron manualmente el maíz y extendieron su siembra a otros sectores de su campo.

Efectos de la fertilización con lombricompuesto

Los mejores resultados se obtuvieron en los tratamientos bajo rotación, tanto en el cultivo de soja como el de maíz. En estas situaciones se midió, en relación al testigo sin fertilizar, un incremento de 32% ($p \leq 0,059$) y 34% ($p \leq 0,069$) en la biomasa total y de 22% y 31% en rendimiento de granos ($p \leq 0,079$) de soja y maíz respectivamente.

En los tratamientos de monocultivo de soja, en los dos primeros años (2008 y 2009) se observó una tendencia a elevar los rendimientos de grano y biomasa en las parcelas tratadas con biofertilizante.

La mejor respuesta a la aplicación del lombricompuesto, cuando varía la secuencia de cultivos, estaría relacionado con el sinergismo entre los microorganismos benéficos capaces de estimular el crecimiento vegetal que aporta el abono (McClintock, 2004) y la presencia en el suelo de mejores niveles de MO debidos a la rotación de cultivos y al CC.

Durante toda la experiencia, la biomasa vegetativa se vio más favorecida con el biofertilizante que el rendimiento de granos, lo que permite mayores aportes de rastrojos al suelo.

CONCLUSIONES

En la zona de estudio, la variabilidad climática (región semiárida) y las limitaciones edáficas condicionan el éxito de la introducción de CC como alternativa única para el mejoramiento de las condiciones físico-químicas del suelo.

Los CC invernales deberían formar parte de un conjunto de prácticas agrodiversas, como la rotación soja/variedades de maíz y la fertilización orgánica, que sinergizan los efectos del CC, favoreciendo diversos atributos edáficos y contribuyendo a una mayor productividad y estabilidad del sistema.

Cuando los CC se logran implantar satisfactoriamente, permiten un buen control de malezas, una mejora leve del rendimiento en grano de soja, un aumento de la biomasa aérea, mejor estabilidad estructural, menor resistencia mecánica y un incremento del nivel de MO superficial que contribuyen a mitigar, progresivamente en el mediano a

largo plazo, los procesos de degradación del suelo debidos al monocultivo de soja en SD. Además, el mayor aporte de rastrojos y la cobertura invierno-primaveral, disminuyen los riesgos de erosión eólica e hídrica.

Dada las actuales condiciones ambientales y tecnológicas, los objetivos perseguidos, mediante el desarrollo de estos diseños de producción agrodiversos, se logran con la participación de los productores en situaciones reales de producción, lo que implica adecuar el paquete tecnológico dominante a un planteo alternativo de mediano a largo plazo, con un intercambio permanente de conocimientos entre investigadores y productores.

AGRADECIMIENTOS

A la SECYT de la Universidad Nacional de Córdoba que financió el proyecto y a los productores de Lozada que colaboraron con el mismo.

BIBLIOGRAFIA

- Abril A. 2002. La microbiología del suelo: su relación con la agricultura sustentable. En Sarandón, S. (Ed). Agroecología, el camino hacia una agricultura sustentable. Pp 153-173
- Alessandria E, H Leguía L, Pietrarelli J, Sánchez S, Luque M, Arborno J, Zamar y D Rubin. 2001. La agrodiversidad en sistemas extensivos. LEISA, Revista de Agroecología. 16:10-11
- Altieri M y C Nicholls. 2000. Agroecología. Teoría y práctica para una agricultura sustentable (Texto contextualizado en el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente)
- Alvarez C, C Scianca, M Barraco M y M Díaz-Zorita. 2010. Cambios en suelos bajo siembra directa con cereales de invierno de cobertura. Memoria Técnica 2009/2010 INTA Gral Villegas
- Aoki AM. 2002. Caracterización de las propiedades hidráulicas como indicadores de calidad de un suelo Haplustol típico de la región central de la provincia de Córdoba. Tesis Magister. Universidad Nacional de Córdoba y Universidad Nacional de Río IV, Córdoba, Argentina, 117 pp.
- Basanta M, J Giubergia, E Lovera, C Alvarez, E Martellotto, E Curto y A Vaglianco. 2008. Manejo del barbecho invernal y su influencia en la disponibilidad hídrica para el cultivo estival en un haplustol de la región central de Córdoba. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.

Potrero de Funes, San Luis 13 a 16 de marzo de 2008

- Blackshaw J, J Moyer, R Doram y A Boswell. 2001. Yellow sweetclover, green manure and its residues effectively suppress weeds during fallow. *Weed Science*. 49(3):406-413
- Brookfield H y M Sotcking 1999. Agrodiversity: definition, description an design. *Global Environment Change* 9:77-80
- Chaoui IH, Zibilske LM y S Ohno. (2003). Effect of earthworm casts and compost on microbial activity and plant nutrient uptake. *Soil Biol. And Biochem.*, 35, 295-302.
- Cordone G y F Martínez. 2004. El monocultivo de soja y el déficit de Nitrógeno. *Informaciones agronómicas del Cono Sur* N° 24
- Darwich N. 2003. El balance físico económico en las rotaciones agrícolas. Proyecto Fertilizar. INTA.
- Díaz CG, R Osinaga y J Arzeno.- 2010. Resistencia a la penetración, humedad de suelo y densidad aparente como indicadores de calidad de suelos en parcelas de largo plazo. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario- Argentina.
- Fantino V, D Damen, S Leguizamón, M Silva Rossi, J García. 2003. Utilización de fertilizantes orgánicos en el cultivo de maíz. Para mejorar la producción, Maíz, campaña 2002/2003. *Rev. n. 23*. INTA Venado Tuerto. Argentina
- Herrera A. 1981. The generation of technologies in rural areas. *World Development*, 9:21-35
- InfoStat. 2004. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina
- Leguía H, L Pietrarelli, S Luque, J Sánchez, E Alessandria, M Arborno, J Zamar. 2004. "El bosque nativo como referentes de las condiciones hídricas de los suelos agrícolas" *LEISA*. *Revista de Agroecología* 19 (4): 28-31
- McClintock NC. 2004. Production and use of compost and vermicompost in sustainable farming systems. *Crop Science*
- Motha R y W Baier. 2005 Impacts of present and future climate change and climate variability on agriculture in the temperate regions: north america *Climatic Change* 70: 137-164
- Ovando G, A de la Casa y A Rodríguez. 2002. Variación espacio temporal de la condición de aridez en la provincia de Córdoba y su relación con la dificultad de alcanzar la sustentabilidad agropecuaria. IX Reunión Argentina de Agrometeorología, AAA, 18-20 Set. Vaquerías, Córdoba
- Pérez M y C Scianca .2009. Efecto de los cultivos de cobertura sobre las poblaciones de malezas en un Hapludol thapto árgico del NO bonaerense *Memoria técnica 2009-2010*, INTA General Villegas.
- Pietrarelli L. 2009. Transformación tecnológica-productiva de sistemas agropecuarios de la región central de la provincia de Córdoba entre 1997 y 2004. Tesis de maestría FCA.UNC.
- Primavesi A. 1984. Manejo ecológico del suelo. Ed. Ateneo
- Quiroga A, D Fenández, O Ormeño y J Ventura. 1999. Efectos del manejo (rotación-agricultura) sobre los contenidos de materia orgánica, nitrógeno y fósforo en suelos de la región semiárida pampeana. *Boletín de Divulgación Técnica INTA Anguil* N° 62.
- Ruffo M y A Parsons. 2004. Cultivos de cobertura en sistemas agrícolas. *Informaciones agronómicas del Cono Sur* N° 21
- Sanabria JA, GL Argüello, A Balbis, C Dasso y O Barbeito. 1997. Evaluación de los aspectos geomorfológicos, pedológicos e hidrológicos de la Cuenca Rafael García-Lozada, para el control de la erosión hídrica. *Informe Final Secr. Ciencia y Tecnología de la U. N. de Córdoba*, 123 pp
- Sanchez J, Pietrarelli L, Luque SM, Vaccarello H, Allende N y J Molina. 2010. Prácticas Agroecológicas en sistemas extensivos de baja biodiversidad de la Región Central de Córdoba: Introducción de variedades de maíz de polinización abierta. *Informe de avance Secretaría de Ciencia y Técnica (SECYT)*, Universidad Nacional de Córdoba
- Scianca C, C Álvarez, M Barraco, A Quiroga, MB Pérez. 2008. Impacto de diferentes coberturas invernales sobre propiedades edáficas, población de malezas y productividad de soja.
- Stewart, B. y and C. Robinson 1997. Are agroecosystems sustainable in semiarid regions? *Advances in Agronomy* 60:191-228
- Varela MF, Fernández P, Álvarez C, Scianca C, Rubio, G y M Taboada. 2010. Propiedades físicas que varían por la incorporación de cultivos de cobertura en hapludoles franco arenosos. M. *Memoria Técnica 2009/2010 INTA Gral Villegas*
- Walker J y J Reuter (Eds). 1996. Indicators of catchments health: a technical perspective CSIRO. Melbourne
- Zamar J, E Alessandria y E Abril. 2007. "Reducción y fragmentación de bosques de la región del espinal en la cuenca Rafael García-Lozada, Córdoba". *Revista Científica Agropecuaria* 11(1): 23-31. Facultad de Ciencias Agropecuarias – UNER
- Zamar J, E Alessandria, A Barchuk y S Luque. 2000. "Emergencia de plántulas de malezas bajo cubierta de diferentes rastrojos de cultivo". *Agriscientia*. Vol. XVII:59-64.