



**Semiárido: un desafío para la Ciencia del Suelo**

**13 al 16 de mayo de 2008**

**Potrero de los Funes (SL), Argentina**



**AACCS**  
ASOCIACION ARGENTINA  
CIENCIA DEL SUELO

## **PRODUCTIVIDAD DE MAIZ Y PROPIEDADES QUIMICAS DEL SUELO AFECTADAS POR SU USO, TIPO DE LABRANZA Y FERTILIZACION**

**Espósito G. P.<sup>1</sup>, C. A. Castillo<sup>1</sup>, E. Bricchi<sup>2</sup>, R. Balboa<sup>3</sup> y M. Etcheverry<sup>4</sup>**

- (1) Departamento de Producción Vegetal, Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto, Agencia Postal N°5800 Río Cuarto. [gesposito@ayv.unrc.edu.ar](mailto:gesposito@ayv.unrc.edu.ar)  
(2) Departamento de Ecología Agraria, Facultad de Agronomía y Veterinaria, UNRC.  
(3) Personal Técnico, UNRC. (4) Alumno de la carrera Ing. Agronómica, UNRC.

### **RESUMEN:**

Entre 1994-2007 se realizó un experimento en el sur de Córdoba para comparar el efecto del uso del suelo -U- (agrícola con y sin pastoreo), tres tipos de labranza -L- (siembra directa-SD, labranza convencional-LC y labranza reducida-LR) con y sin fertilización -F-. El diseño experimental fue en bloques completos aleatorios con arreglo en parcelas sub divididas y dos repeticiones espaciales. Se determinó el rendimiento de maíz de una secuencia maíz-maíz-girasol-maíz-girasol-maíz-girasol-maíz-maíz-soja-maíz-soja-maíz, además del carbono orgánico total (COT) y liviano (COL), como la disponibilidad de fósforo (P), ambos parámetros edáficos en el año 13º del experimento. El rendimiento de maíz presentó interacción significativa en L x F en el 50% de los años y en el rendimiento promedio de toda la serie. También esta interacción fue significativa en el COL y P. Del análisis de la interacción surge que con fertilización los rendimientos del maíz en SD fueron superiores a LR y LC, mientras que sin fertilización la productividad siguió el orden LC>LR>SD. Similarmente, el COL y el P de las parcelas fertilizadas presentaron diferencias a favor de la SD en relación a las restantes labranzas, mientras que sin fertilización solamente la LR superó estadísticamente a LC. Por lo tanto se concluye que el sistema de SD con fertilización continua es el de mayor rendimiento por incrementar los niveles de CO liviano y de fósforo disponible.

**Palabras Clave:** laboreo – siembra directa – fósforo – pastoreo – carbono orgánico

### **INTRODUCCION**

En los últimos años el sistema de siembra directa (SD) ha tenido gran difusión debido a sus ventajas operativas y, fundamentalmente, en lo que respecta al control de la erosión y a la conservación del agua (Agostini 2006). Una consecuencia favorable de los sistemas que dejan rastrojo en superficie es que se produce un incremento en la proporción de carbono orgánico y en la estabilidad de los agregados; debido a que disminuye la agresión de la maquinaria sobre el suelo y son evitados procesos erosivos (Aparicio et al. 2002). En relación a la cantidad de rastrojos superficiales sobre el balance hídrico del maíz, Espósito (2002) ha señalado que la pérdida de cobertura por pastoreo incrementa el encostramiento superficial del suelo y las pérdidas por evaporación, razón por lo cual concluye que a mayor disponibilidad de rastrojos mayor oferta de agua para los cultivos.

La falta de perturbación del suelo y la acumulación de residuos en SD producen grandes cambios en la dinámica y distribución de la materia orgánica y en los nutrientes asociados a ella, en especial los poco móviles, como es el caso del Fósforo (Derpsch 2005).

Los residuos en superficie junto a la no remoción conducen a una menor oxidación de la materia orgánica y por lo tanto una reducción en la tasa de descomposición. Si bien estos fenómenos se producen parcialmente en un delgado espesor de la superficie, el efecto sobre el balance y la dinámica de agua, calor y gases tiene una incidencia decisiva para los cultivos, por tratarse justamente de la interfase suelo-atmósfera que gobierna las entradas y salidas de los componentes del sistema. (Alvarez y Barraco, 2005). En suelos de la región pampeana Galantini et al. (2006) establecieron que la materia orgánica particulada (considerada también liviana) es una importante reserva de nutrientes principalmente N, P, K y S.

En virtud de lo expresado, se considera necesario evaluar el efecto del uso del suelo, los sistemas de labranza y la fertilización sobre la productividad del maíz en el Sur de Córdoba.



**Semiárido: un desafío para la Ciencia del Suelo**

**13 al 16 de mayo de 2008**

**Potrero de los Funes (SL), Argentina**



**AACCS**  
ASOCIACION ARGENTINA  
CIENCIA DEL SUELO

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Suelos y tratamientos

El estudio se realizó en el Campo de docencia y experimentación de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la U.N.R.C., del Dpto. Río Cuarto (latitud 32° 57' S, longitud 64° 50' O, altitud 562 m). El relieve es normal, ondulado, con pendientes de longitud de 1500 m y gradientes del 3,5 %. El suelo es Hapludol Típico, de textura franca arenosa muy fina, presentando susceptibilidad a desagregación superficial y a compactarse (Degioanni 1998).

Entre 1994 y 2007 se desarrolló un estudio para evaluar el comportamiento de los cultivos en dos usos del suelo (agrícola puro y agrícola con pastoreo de los rastrojos, **A** y **AP**), en combinación con tres sistemas de labranza (siembra directa (**SD**), labranza reducida (**LR**) y labranza convencional (**LC**) y finalmente en combinación con parcelas fertilizadas (**F**) y no fertilizadas (**NF**). La secuencia de cultivos en este periodo fue siguiente: maíz-maíz-girasol-maíz-girasol-maíz-girasol-maíz-maíz-soja-maíz-soja-maíz. El diseño experimental utilizado fue en bloques completos aleatorios, con un arreglo espacial en parcelas sub divididas, siendo el factor principal el uso del suelo, el factor secundario los sistemas de labranza y el terciario la fertilización. Se utilizaron dos repeticiones espaciales por tratamiento. El tamaño de las parcelas fue de 25 m de ancho por 70 m de largo.

En el uso AP, los rastrojos de los cultivos anteriores fueron anualmente pastoreados post cosecha con animales bovinos de recría (alrededor de 300 kg de peso vivo) hasta lograr la máxima cantidad de consumo de los rastrojos. Los tratamientos fertilizados variaron entre 80 a 100 kg FDA ha<sup>-1</sup> a la siembra y entre 100-140 kg urea ha<sup>-1</sup> al estado de 6° hoja totalmente desplegada. En el presente resumen se presentan solamente los resultados obtenidos durante las campañas de maíz, por este motivo se puede observar en la Tabla 1 los materiales genéticos empleados en cada campaña.

**Tabla 1: Híbrido de maíz empleado por campaña en el campo experimental de la UNRC.**

Año	Campaña	Cultivo	Híbrido
1	94/95	Maíz	DK 4F37
2	95/96	Maíz	DK 4F37
4	97/98	Maíz	Suco
6	99/00	Maíz	Tilcara
8	01/02	Maíz	Tilcara
9	02/03	Maíz	AX 884
11	04/05	Maíz	M10 IT
13	06/07	Maíz	AX 882 IT

### Determinaciones realizadas

*Fósforo disponible* en los primeros 10 cm de suelo, según el método Bray I. Para ello se recolectaron en julio de 2007 3 muestras compuestas de 15 sub muestras en cada parcela.

*Carbono orgánico total y liviano* de los primeros 10 cm de suelo (Cambardella y Elliott 1992, con modificaciones según Albanesi et al. 2003).

*Rendimiento del cultivo*, mediante cosecha mecánica de los 6 surcos centrales de cada parcela, previo descarte de 5 m en cada cabecera de parcela, con cosechadora Wintersteiger NM Elite1400.

En 1994, se determinó el contenido de carbono orgánico total y de fósforo disponible, previo a la implantación del ensayo, cuyos valores fueron de 9,3 g COT kg suelo seco<sup>-1</sup> y de 7,2 ppm de fósforo disponibles, respectivamente.

### Análisis estadístico

Los efectos de los usos del suelo, los tipos de labranza y la fertilización sobre todas las variables analizadas fueron evaluados estadísticamente a través de ANAVA factorial. Las medias



**Semiárido: un desafío para la Ciencia del Suelo**

**13 al 16 de mayo de 2008**

**Potrero de los Funes (SL), Argentina**



**AACCS**  
ASOCIACION ARGENTINA  
CIENCIA DEL SUELO

significativamente diferentes entre sí fueron separadas usando el test de LSD ( $p < 0.05$ ), empleando para ello el programa InfoStat (2004).

## RESULTADOS

En la Tabla 2 se pueden apreciar los valores de probabilidad estadística para cada tratamiento y sus interacciones obtenidos con el test de Fisher mediante el análisis de la varianza, a nivel de los rendimientos de maíz. Es necesario resaltar que los tratamientos que tuvieron efectos significativos (al 5%) a lo largo de los años fueron variando a excepción de la fertilización que en todos ellos fue altamente significativa en relación a la favorable respuesta. Por otro lado, las labranzas fueron significativas en 3 de las 8 campañas evaluadas, mientras que el uso del suelo no presentó efectos individuales estadísticos en ninguno de los años.

A nivel de las interacciones se puede interpretar que en 2 de las 8 campañas la interacción uso x labranza fue estadísticamente significativa, mientras que 4 de 8 lo fueron en labranza x fertilización. Finalmente uso x fertilización no presentó efectos significativos en ninguno de las campañas estudiadas como tampoco fue significativa la interacción triple uso x labranza x fertilización.

**Tabla 2: Valores de probabilidad del análisis de la varianza para los rendimientos de maíz por año.**

Tratamiento	94/95	95/96	97/98	99/00	01/02	02/03	04/05	06/07
Uso (U)	0,2991	0,8192	0,1206	0,1983	0,2151	0,5746	0,0775	0,5341
Labranza (L)	0,1653	0,1501	0,4590	<b>0,0026</b>	0,2601	<b>0,0340</b>	<b>0,0246</b>	0,7072
Fertilización (F)	<b>0,0002</b>	<b>0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>
U x L	<b>0,0363</b>	<b>0,0338</b>	0,6291	0,0570	0,0985	0,2686	0,6296	0,9324
U x F	0,5638	0,1894	0,7988	0,6850	0,5387	0,6564	0,4030	0,5724
L x F	0,5679	0,1656	<b>0,0003</b>	0,1920	<b>0,0001</b>	<b>0,0001</b>	<b>0,0029</b>	0,0797
U x L x F	0,9521	0,8334	0,0580	0,8207	0,5724	0,0668	0,7438	0,2170
C.V. (%)	8,16	14,89	7,76	14,77	10,17	4,92	5,91	9,10

En la Tabla 3 se puede observar que los valores de probabilidad del ANAVA para el rendimiento promedio, el contenido de carbono orgánico total y liviano como así también para el de fósforo disponible. En este sentido se interpreta que la fertilización presenta efectos significativos para todas las variables analizadas, siendo la interacción labranza por fertilización la única con efectos significativos en el rendimiento promedio, el carbono orgánico liviano y el fósforo disponible. Por otro lado, el contenido de carbono orgánico total fue la única variable afectada estadísticamente por el uso del suelo.

Del análisis de las interacciones indicadas anteriormente, surge que el rendimiento del maíz en promedio de los 8 años es superior en SD fertilizada que en LR y LC (Tabla 4), mientras que en las parcelas no fertilizadas los niveles de producción siguen el orden  $LC > LR > SD$ .

Las diferencias de producción encontradas son del orden del 7.74% y del 10.60% a favor de la SD respecto a LR y LC en las parcelas fertilizadas y del 43.41% y del 13.08% as favor de la LC sobre LR y SD respectivamente en las no fertilizadas.

El CO liviano presentó diferencias entre las tres labranzas en las parcelas fertilizadas siguiendo el orden  $SD > LR > LC$ , con diferencias del 35,80% y del 111,54% entre SD y LR y entre SD y LC respectivamente en las parcelas fertilizadas, mientras que en las no fertilizadas las diferencias fueron significativas sólo entre la LR y la LC en el orden del 55,77% (Tabla 4).



**Semiárido: un desafío para la Ciencia del Suelo**

**13 al 16 de mayo de 2008**

**Potrero de los Funes (SL), Argentina**



**AACCS**  
ASOCIACION ARGENTINA  
CIENCIA DEL SUELO

**Tabla 3: Valores de probabilidad del análisis de la variancia del rendimiento de maíz promedio (19994-07), Carbono orgánico (CO) total y liviano y fósforo disponible (2007).**

Tratamiento	Rendimiento promedio	CO total	CO liviano	Fósforo disponible
Uso (U)	0,2532	<b>0,0066</b>	0,2426	0,9564
Labranza (L)	0,2663	0,1457	0,0502	0,1309
Fertilización (F)	<b>&lt;0,0001</b>	<b>0,0316</b>	<b>0,0184</b>	<b>&lt;0,0001</b>
U x L	0,1382	0,3909	0,1394	0,5635
U x F	0,3940	0,1343	0,5919	0,3437
L x F	<b>&lt;0,0001</b>	0,1994	<b>0,0080</b>	<b>0,0363</b>
U x L x F	0,0852	0,5291	0,6100	0,6103
C.V. (%)	2,89	17,97	19,79	13,58

El fósforo disponible fue modificado en las parcelas fertilizadas según el orden SD>LR=LC con diferencias del 24,46% y del 40,49% a favor de la SD respectivamente en las parcelas fertilizadas, mientras que cuando no se aplicaron fertilizantes las diferencias no fueron significativas entre las tres labranzas evaluadas (Tabla 4).

**Tabla 4: Rendimiento promedio de maíz (8 años), carbono orgánico (CO) liviano y fósforo disponible del suelo en julio 2007. Análisis de la interacción Labranza por fertilización.**

Tratamiento		Rendimiento promedio (tn ha <sup>-1</sup> )	CO liviano (g CO kg suelo seco <sup>-1</sup> )	Fósforo disponible (ppm)
CON FERT.	SD	5,01a	1,10 a	22,9 a
	LR	4,65 b	0,81 b	18,4 b
	LC	4,53 b	0,52 c	16,3 b
SIN FERT.	SD	2,05 c	0,70 ab	5,8 a
	LR	2,60 b	0,81 a	6,5 a
	LC	2,94 a	0,52 b	6,7 a
DMS (p<0.05)		1,44	0,16	3,83

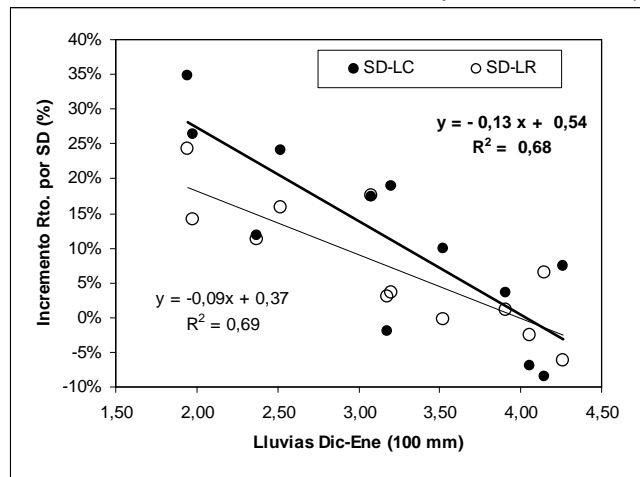
En columnas, letras distintas indican diferencias significativas al 5% de probabilidad según prueba LSD, Fisher (Infostat, 2004)

Si bien no se cuenta con datos de CO liviano al inicio de la experiencia (1994), resultados de Verri (2004) el cual realizó sus determinaciones en el 2002, no presentaron diferencias significativas entre labranzas aunque la SD ya contenía un 30% más de COL en los primeros cm del suelo que la LC. Por lo tanto se comprende que, los incrementos encontrados entre 2002 y 2007 (últimos 5 años) sean superiores y significativos en términos estadísticos.

En relación a los niveles de fósforo disponible, el contenido inicial fue de 7,2 ppm y por lo tanto los resultados del 2007 permiten interpretar el nivel de incremento en cada tratamiento.

Se establecieron relaciones lineales entre las precipitaciones ocurridas entre los meses de diciembre y enero con las diferencias de rendimiento encontradas entre la SD y las otras labranzas evaluadas en las parcelas con fertilización. En este sentido, la comparación de SD con LC y LR fue superior en productividad cuando las precipitaciones de los meses analizadas fueron inferiores a los 415 mm y 243 mm respectivamente. Esta situación permite comprender que medida que las precipitaciones

(diciembre-enero) disminuyen, las ventajas en términos de balance hídrico a favor de la SD aumentan. Esta diferencia a favor de la SD fue sobre la LC que sobre la LR (Figura 1).



**Figura 1: Incremento de rendimiento de siembra directa (SD) sobre labranza convencional (LC) y labranza reducida (LR) en función de las precipitaciones de los meses de diciembre y enero, expresada en términos porcentuales.**

## DISCUSIÓN

Luego de 13 años con 8 campañas de maíz, se puede interpretar que su productividad fue afectada por la combinación de L x F. Como ha sido planteado por Maddonni *et al.* (2004) y Domínguez *et al.* (2006), la movilización de los nutrientes del suelo por el laboreo mecánico explica que en las parcelas sin fertilización la SD presenta menor productividad que los otros laboreos. Sin embargo, es notable la baja productividad de las parcelas sin fertilizar en los tres sistemas de labranza y por ende la elevada respuesta a la fertilización encontrada. Esta aseveración es consecuencia del elevado grado de deterioro nutricional del suelo (Bricchi *et al.* 2004) dada la disminución del 80% del COT en comparación con una situación sin disturbio cercana.

Las relaciones establecidas entre el incremento de producción por SD sobre las restantes en función de las precipitaciones (diciembre y enero), se pueden explicar por lo planteado por Espósito (2002) en relación a las ventajas de una menor evaporación y un menor escurrimiento.

Por otro lado, la productividad promedio del periodo de estudio guarda relación con el contenido de CO liviano y con el fósforo disponible, dado que los tratamientos han sido afectados similarmente al rendimiento aunque en otro orden de magnitud. Según lo establecido por Cárcova *et al.* (2004) como el rendimiento es función de una gran cantidad de variables ambientales es necesario encontrar importantes diferencias en algunas de ellas para que los niveles de productividad se modifiquen.

Es importante destacar que a medida que el laboreo del suelo disminuyó desde el sistema en LC hasta SD, el contenido de CO liviano se incrementó principalmente en las parcelas con fertilización que permiten una mayor producción de biomasa y con ello un mayor aporte de CO fresco al suelo (Alvarez *et al.* 2006). Por otro lado aunque la fertilización fosforada fue la misma en todas las parcelas parece ser que bajo SD los contenidos de P disponible son superiores a los de LR y LC posiblemente debido a los incrementos de CO liviano que permitiría retener una mayor cantidad de ese nutriente.

## CONCLUSIONES

En base a la cantidad de años bajo los cuales se han establecido los resultados planteados permite concluir que el sistema de SD con fertilización continua es el que genera los mayores niveles de producción como consecuencia de incrementar los niveles de CO liviano y de fósforo disponible.





**Semiárido: un desafío para la Ciencia  
del Suelo**

**13 al 16 de mayo de 2008**

**Potrero de los Funes (SL), Argentina**



**AACCS**  
ASOCIACION ARGENTINA  
CIENCIA DEL SUELO

## **BIBLIOGRAFIA**

- Agostini A.** 2006. Compactación por pisoteo animal en planteos de producción mixta bajo siembra directa. Facultad de Agronomía Facultad de Cs. Agrarias y Forestales (UNLP)
- Albanesi, A., Anriquez A. y A. Polo Sanchez.** 2003. Efectos de la agricultura sobre algunas formas del C en una toposecuencia de la Región Chaqueña, Argentina. *Agriscientia* Vol. XX:9-17.
- Alvarez C., Scianca C., M. Barraco, M. Díaz Zorita y C. Brambilla.** 2006. Impacto de diferentes volúmenes de rastrojo sobre las propiedades edáficas en hapludoles. XX congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Salta-Jujuy. Comisión 1.:133.
- Alvarez, C. y M. Barraco.** 2005. Efecto de los sistemas de labranza sobre las propiedades edáficas y rendimiento de los cultivos. Indicadores de calidad física de suelos. Boletín N° 4. Estación Experimental Agropecuaria General Villegas (INTA), General Villegas, Buenos Aires, Argentina.
- Aparicio V., Costa J. L., Echeverría H. y O. Caviglia.** 2002. Evaluación de propiedades edáficas y crecimiento del maíz bajo diferentes sistemas de labranza en cuatro sitios del sudeste bonaerense. *RIA*, 31 (3): 55-71 ISSN 0325 – 8718. INTA, Argentina.
- Bricchi, E., Formia F., Esposito G., Riveri L. y H. Aquino** 2004. The effect of topography, tillage and stubble grazing on soil structure and organic carbon levels. *Spanish Journal of agricultural research* (2004) 2 (3), 409-418.
- Cambardella C.A. y E.T. Elliot** 1992. Particulate soil organic matter. Changes across a grassland cultivation seque. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 777-783
- Cárcova J., Abeledo L. G. y M. López Pereira.** 2004. Análisis de la generación del rendimiento: crecimiento, partición y componentes. En: Satorre, E. H.; R. L. Benech Arnold; G. A. Slafer; E. B. de la Fuente; D. J. Miralles; M. E. Otegui y R. Savin. (autores). Producción de granos. Bases funcionales para su manejo. Facultad Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina, pp. 75-100.
- Degioanni A. J.** 1998. Organización territorial de la Producción agraria en la Región de Río Cuarto (Argentina). Tesis Doctoral. Universidad de Alcalá de Henares. Dpto. de Geografía. Alcalá de Henares. España.
- Derpsch, R.** 2005. The extent of conservation agriculture adoption worldwide: implications and impact. In: Proceedings of the CD, IIIrd World Congress on Conservation Agriculture, Nairobi, Kenya, October 3–7. Website: [www.rolf-derpsch.com](http://www.rolf-derpsch.com) (Consultado Diciembre 2006).
- Domínguez G., Studdert, Cozzoli M. V. y N. V. Diovisalvi.** 2006. Relación entre el nitrógeno potencialmente mineralizable y el rendimiento de maíz. XX congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Salta-Jujuy. Comisión 3.:327.
- Espósito, G.** 2002. Propiedades hidrofísicas del suelo asociadas a diferentes sistemas de labranzas en cultivo de maíz. Informe final de Tesis para optar al grado de Magíster en Producción Agropecuaria, Mención Producción Vegetal. Universidad Nacional de Río Cuarto. Río Cuarto.
- Galantini J. A., Landriscini M. R. y C. Hevia.** 2006. Contenido y calidad de la materia orgánica particulada del suelo en siembra directa. XX congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Salta-Jujuy. Comisión 1.:97.
- Maddoni G. A., P. Vilariño e I. García de Salamote.** 2004. Dinámica de los nutrientes en el sistema suelo-planta. En: Satorre, E. H.; R. L. Benech Arnold; G. A. Slafer; E. B. de la Fuente; D. J. Miralles; M. E. Otegui y R. Savin. (autores). Producción de granos. Bases funcionales para su manejo. Facultad Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina, pp. 441-477.
- Infostat.** 2004. Infostat versión 2004. Grupo Infostat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Verri, L.** 2004. Efecto del Uso y del Manejo sobre la Materia Orgánica total y sus fracciones en un Hapludol típico. Trabajo final presentado para optar al Grado de Ingeniero Agrónomo en la FAV. UNRC.