

MANEJO DEL SUELO Y ROTACIÓN CON PASTURAS: EFECTO SOBRE LA CALIDAD DEL SUELO, EL RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS Y EL USO DE INSUMOS

Guillermo Siri Prieto y Oswaldo Ernst

Facultad de Agronomía. Estación Experimental Dr. Mario A. Cassinoni, Paysandú, Uruguay

siriprieto@fagro.edu.uy; oernst@fagro.edu.uy

Introducción

Los cambios en la calidad del suelo, producidos por los sistemas agrícolas, pueden valorarse directamente en base al efecto sobre la conservación del recurso para que futuras generaciones puedan vivir de la actividad, en términos de productividad o incremento de la rentabilidad del sistema en el largo plazo (Hulugalle y Scott, 2008). Para esto es necesario disponer de información que permita cuantificar el efecto acumulado de diferentes combinaciones de manejo sobre el rendimiento de los cultivos y su relación con indicadores de calidad de suelo.

El sistema de laboreo y la rotación de cultivos son prácticas de manejo con reconocida capacidad de modificar la calidad del suelo. La implementación de sistemas de producción en los que los cultivos anuales rotan con pasturas perennes y no se laborean, mejoran los indicadores de calidad del suelo y reducen la erosión (García-Préchac et al., 2004); pero no siempre esto se asocia a mejoras en el rendimiento de los cultivos. Si la nutrición no es una limitante mayor, la adopción de la siembra sin laboreo tiene relativamente bajo impacto en cultivos de invierno en suelos bien drenados o estaciones de crecimiento secas (Martens, 2000; Diaz-Zorita et al., 2002; Zentner et al., 2002; Triplett y Dick, 2008). Por otro lado, muchos estudios concluyen que el rendimiento es afectado negativamente por el no laboreo del suelo en años húmedos y suelos con drenaje pobre (López-Bellido et al., 1996; López-Bellido et al., 2000). Las características climáticas de Uruguay, con un promedio de 1100 a 1400 mm de precipitaciones anuales según la zona, su variabilidad, la baja conductividad del agua de los suelos determinada por el horizonte Bt y la regularidad relativa de la demanda atmosférica, hace probable la existencia de déficit hídrico estival y frecuentes excesos invernales.

Por otro lado, la rotación cultivos-pasturas con laboreo ha determinado mejoras en rendimiento en grano y disminución de su variabilidad anual (Pierce y Rice, 1988; Mc Ewen et al., 1989; Diaz Rosello, 1992; García-Préchac et al., 2004). El efecto positivo se atribuye a distintas causas, dentro de las cuales se encuentran: mayor aporte de nitrógeno (N), mejora en la condición física del suelo y menores problemas sanitarios. Resultados similares se han logrado con la incorporación de leguminosas anuales como cultivos de cobertura y secuencias diversificadas de cultivos (Rasmussen et al., 1997; Krupinsky et al., 2004).

En el presente artículo se analizan y discuten resultados obtenidos en un experimento de largo plazo instalado en 1993 en la Estación Experimental Dr. Mario A. Cassinoni de la Facultad de Agronomía, con énfasis en el efecto combinado del laboreo o no del suelo con la rotación o no de fases agrícolas con fases de pasturas perennes. Se tomará como referencia para la discusión el tratamiento que incluye agricultura con laboreo en rotación con pasturas que fue definido como "testigo tecnológico" cuando se inició el programa de investigación.

Materiales y métodos

La información corresponde a los primeros 12 años (1993-2005) para las propiedades del suelo y uso de insumos y de 15 años (1993-2008) para el rendimiento de los cultivos de uno de los experimentos de largo plazo instalados en la EEMAC, en el que se evalúa el impacto de la inclusión o no de pasturas (CC= cultivos continuos, ROT = rotación con pasturas) y del tipo de laboreo (LC= laboreo convencional y NL= no laboreo) sobre algunas propiedades del suelo. En los tratamientos CC, se realizaron 19 cultivos, siendo 8 de invierno (5 de trigo, 2 de cebada y 1 de avena) y 11 de verano (4 de soja, 3 de girasol, 2 de sorgo y 2 de maíz), lo que implica 1.58 cultivos por año y una relación de cultivos de verano/invierno = 1.38. En el caso de los tratamientos con/sin inclusión de pasturas, se realizaron 11 cultivos en la fase agrícola: 5 de trigo, 1 de cebada, 1 de soja, 2 de girasol, 1 de sorgo y 1 de maíz). El número de cultivos por año fue de 1.57 y la relación de cultivos de verano/invierno, de 0.83. Para el caso de los tratamientos con pasturas (festuca + trébol blanco + lotus), éstas ocuparon 5 años de la rotación pastura-cultivo en dos periodos: I (1996-1998) y II (2003-2005). Mayor información sobre el ensayo se puede encontrar en Ernst y Siri Prieto (2009 a y b) y Siri Prieto y Ernst (2009).

Resultados

Efectos sobre la producción de biomasa y los contenidos de C y N del suelo

En la Tabla 1 se presenta la biomasa aérea y radicular producida por los cultivos y/o pasturas en la rotación con o sin pasturas. El sistema de CC produjo un 67% más de residuos agrícolas en comparación con la ROT (68.6 vs. 41.0 Mg ha⁻¹, respectivamente), explicado por la cantidad de cultivos en uno y otro sistema. Si se anualiza el aporte de C al sistema, no hubo diferencias entre rotaciones (5.86 vs. 5.71 Mg ha⁻¹ año⁻¹). Si se suma la biomasa radicular producida estimada de los cultivos anuales, la diferencia entre CC y ROT fue de 32 Mg ha⁻¹. Sin embargo, el aporte neto de las pasturas (5 años) al sistema en estos primeros 12 años fue de 22.6 Mg ha⁻¹ (aporte de raíces más restos secos aéreos). Como resultado final, la diferencia en el aporte de biomasa al sistema comparando estos dos tratamientos fue de solo 9.4 Mg ha⁻¹ a favor de CC. Del total de la biomasa producida, el 36% fue explicado por la biomasa radicular en el sistema ROT, siendo en CC solo del 14%. Esta diferencia se explica por la diferencia en la relación parte aérea/raíz (PA/R) que existe entre especies anuales y perennes. Según Bolinder et al. (2007), la relación PA/R para el caso de las pasturas (gramíneas + leguminosas) es aproximadamente 1.5, siendo 6.0 para el caso de los cultivos anuales. Este diferente potencial de fijar carbono en profundidad a través de la producción de biomasa radicular explica el aumento del COS en la fase pastura de la rotación.

El forraje consumido por los animales en los 5 años de producción de la pastura (dos periodos) fue de 21.4 de los 25.6 Mg ha⁻¹ de biomasa aérea total producida, dejando solo como entradas de biomasa aérea por esta vía 4.2 Mg ha⁻¹ (Figura 1). El consumo animal representó el 84% del forraje aéreo producido. Parte del C fijado por las pasturas es devuelto vía las excretas. Utilizando las ecuaciones de Vu et al. (2008), la entrada de C por vía excreta animal (considera el contenido de fibra de la mezcla forrajera) sería de 6.0 Mg⁻¹ en todo el período (28% del C retornaría al sistema), por lo que el total de biomasa estimada aportada al sistema suelo sería de 76.1 Mg ha⁻¹ (70.1 + 6.0) en los 12 años.

En la Figura 2 se presentan los cambios en el carbono y N del suelo medidos al inicio (1993) y en el 2005 en respuesta al laboreo o no del suelo combinados con rotación con pastura o cultivos continuos. Sólo hubo una tendencia a una menor concentración de carbono en el sistema de cultivos continuos con laboreo convencional (Figura 2 AB). Sin embargo, promediando por tipo de laboreo (NL o LC), el efecto fue significativo. Los sistemas de NL tuvieron un 7% más de concentración y cantidad de COS que los de LC (24.4 vs. 22.8 g kg⁻¹ y 52.6 vs. 49.0 Mg ha⁻¹, respectivamente). El efecto de rotar cultivos con pasturas se cuantificó como una tendencia sólo sobre la cantidad de carbono del suelo. Si bien otros trabajos han mostrado un efecto positivo de las pasturas sobre el COS (Díaz-Roselló, 1992; Arshad et al., 2004; Hermle et al., 2008), la ausencia de diferencias entre CC y ROT podría estar explicada por: una mayor producción de biomasa en los tratamientos de cultivos continuos como fuera presentado en la Tabla 1; la mayoría de la producción de biomasa aérea generada por las pasturas fue consumida por los animales, con poco retorno de C vía heces (solo 6 Mg ha⁻¹); las pasturas estuvieron sólo en 5 de los 12 años del experimento.

Es de destacar la disminución del N total por ha en los primeros 18 cm del suelo. Esta reducción en la concentración de N en el suelo luego de 12 años de agricultura continua está asociada a la evolución del balance aparente acumulado de N durante el período (Figura 3).

El balance aparente de N, medido como la diferencia entre

Tabla 1. Biomasa aérea y radicular producida por los cultivos y/o pasturas en respuesta a la inclusión o no de pasturas en el experimento de largo plazo en Paysandú, Uruguay (1993-2005). Los valores son promedios de los tipos de laboreo (Adaptado de Ernst y Siri-Prieto, 2009a).

	CC	ROT
	--- Mg ha ⁻¹ ----	
	Producción de Cultivos	
Biomasa aérea	68.6 (5.71)	41 (5.86)
Biomasa radicular	10.9 (0.91)	6.5 (0.93)
Subtotal Total	79.5	47.5
	Producción de Pasturas	
Biomasa aérea	0	4.2 (0.84)
Biomasa radicular	0	18.4 (3.68)
Subtotal Total	0	22.6
Total	79.5	70.1
Raíces totales	10.9 (14%)	24.9 (36%)

Valores entre paréntesis corresponden al aporte de C anualizado (Mg ha⁻¹ año⁻¹)

el ingreso de N por fertilizantes más la fijación simbiótica y las salidas de N en los productos, fue positivo y creciente con la inclusión de las pasturas. La fijación de N por las leguminosas durante las dos fases de pastura se estimó en 90 kg N ha⁻¹ año⁻¹ (Ernst y Siri-Prieto, 2009). Si bien el balance aparente de N sólo contabiliza salidas asociadas a la producción de grano, el sistema CC tuvo un descenso de casi 550 kg N ha⁻¹, lo que representa una pérdida de 46 kg N ha⁻¹ año⁻¹ (Figura 2). Si bien en los últimos 7 años de la rotación (2001-2008) de cultivos continuos predominó el cultivo de soja (7 cultivos), éste igualmente presentó un balance negativo de N por una mayor extracción de N en el grano que por fijación simbiótica. Las consecuencias de esta pérdida en la cantidad de N total en el suelo explicarían las mayores necesidades de fertilización nitrogenada asociadas a sistemas de producción agrícolas puros.

Rendimiento de los cultivos

Uno de los indicadores a considerar en la evaluación de la sostenibilidad del sistema de producción es la productividad y variabilidad anual asociada. Cuando los sistemas pierden productividad o sus rendimientos son muy variables entre años, no son sostenibles en el tiempo y, por lo tanto, es necesario modificar aquellas variables que se identifican como responsables de los resultados.

En la Figura 4 se presenta la evolución de los rendimientos relativos de cultivos de invierno (trigo y cebada) y de verano (girasol, maíz, soja y sorgo), para sistemas con y sin laboreo combinados con rotación agricultura-pastura o agricultura continua.

Tanto los cultivos de invierno como los de verano, integrados en una secuencia, tuvieron rendimientos menores sin laboreo que con laboreo en los primeros años del experimento, pero mostraron un comportamiento relativo creciente con los años de implementado el sistema sin laboreo. Entre los años 2000 y 2008, todos los cultivos tuvieron mayores rendimientos en los tratamientos sin laboreo que en aquellos con laboreo, tanto en agricultura continua como en la rotación cultivos-pastura. El efecto positivo fue mayor en cultivos de verano que en los de invierno y en agricultura continua que en la rotación cultivos-pastura. Se podría concluir que la siembra sin laboreo representó una clara ventaja para los cultivos de verano en sistemas de agricultura continua; tuvo menor impacto sobre los

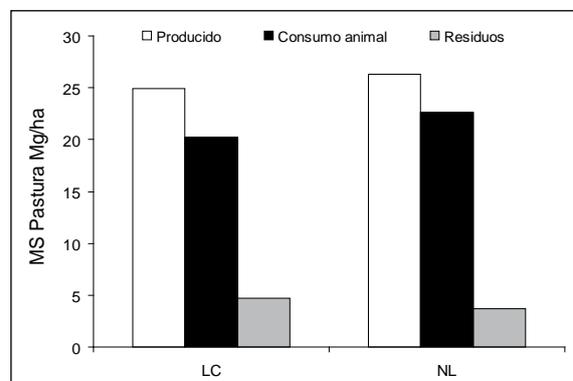


Figura 1. Producción, consumo animal y residuos aéreos de la MS de pastura (Mg ha⁻¹) sumando las dos fases según el sistema de laboreo en el experimento de largo plazo en Paysandú, Uruguay (1993-2005) (LC= laboreo convencional y NL = no laboreo) (Ernst y Siri-Prieto, 2009a).

rendimientos de los cultivos de invierno y no mostró un efecto positivo de importancia en sistemas integrados de agricultura con pastura perennes.

Entre los años 1994 y 2008, los rendimientos de siete cultivos de trigo indican que el único tratamiento significativamente diferente a los demás fue el de agricultura continua con laboreo convencional (Figura 5).

Es de destacar que sin laboreo, el rendimiento medio de trigo de 15 años de agricultura continua (AC-NL) no fue afectado negativamente por los dos sistemas que rotan cultivos con pasturas perennes. No hubo una interacción significativa con los años, exceptuando 2005, cuando todos los tratamientos recibieron la misma cantidad de fertilizante nitrogenado y que será comentado en el apartado siguiente.

Uso de insumos

El cambio de un esquema productivo basado en el laboreo y quema de rastrojos a uno sin laboreo y con retención de rastrojos sobre el suelo, determina respuestas a nivel de la comunidad de malezas, en la incidencia de enfermedades causadas por hongos necrotróficos y en la entomofauna. En nuestro sistema productivo no son problemas nuevos, sino que adquieren una mayor o menor relevancia al modificarse el ambiente. En la medida que el sistema se hace más agrícola, existen menos tiempos para manejar los efectos residuales de

un cultivo sobre otro, por lo que la solución a los problemas se implementa con el uso de agroquímicos. En la Tabla 2 se presenta el uso medio de distintos insumos en tres sistemas de producción para el período 1993-2005.

La agricultura sin laboreo en rotación con pastura tuvo los mejores indicadores en cuanto a cantidad de insumos requeridos durante el período. Esto se refleja además en el ingreso de energía fósil requerida para producir. La mayor eficiencia de uso de la energía ingresada al sistema la tuvieron los tratamientos sin laboreo. El sistema agrícola produjo más energía en el período y mantuvo una eficiencia similar al sistema agricultura-pastura sin laboreo. La alta eficiencia de uso de la energía fósil consumida en los tres sistemas evaluados es responsabilidad de la implementación del doble cultivo anual. Mientras que la eficiencia energética de los cultivos de invierno estuvo entre 0.7 y 0.8 MJ consumido/MJ producido, la de soja y sorgo de segunda varió entre 0.10 y 0.17 MJ consumido/MJ producido respectivamente. Los cultivos de segunda recibieron menos fertilizante, menos laboreo y produjeron más energía por unidad de superficie, mejorando la eficiencia del sistema en su conjunto. Esta alta eficiencia aparente de los sistemas evaluados resulta en un aumento de la captación de energía solar del doble cultivo anual con relación a un cultivo por año pero, con el manejo actual, tiene incorporado un subsidio de exportación de nutrientes (N y fósforo) del suelo.

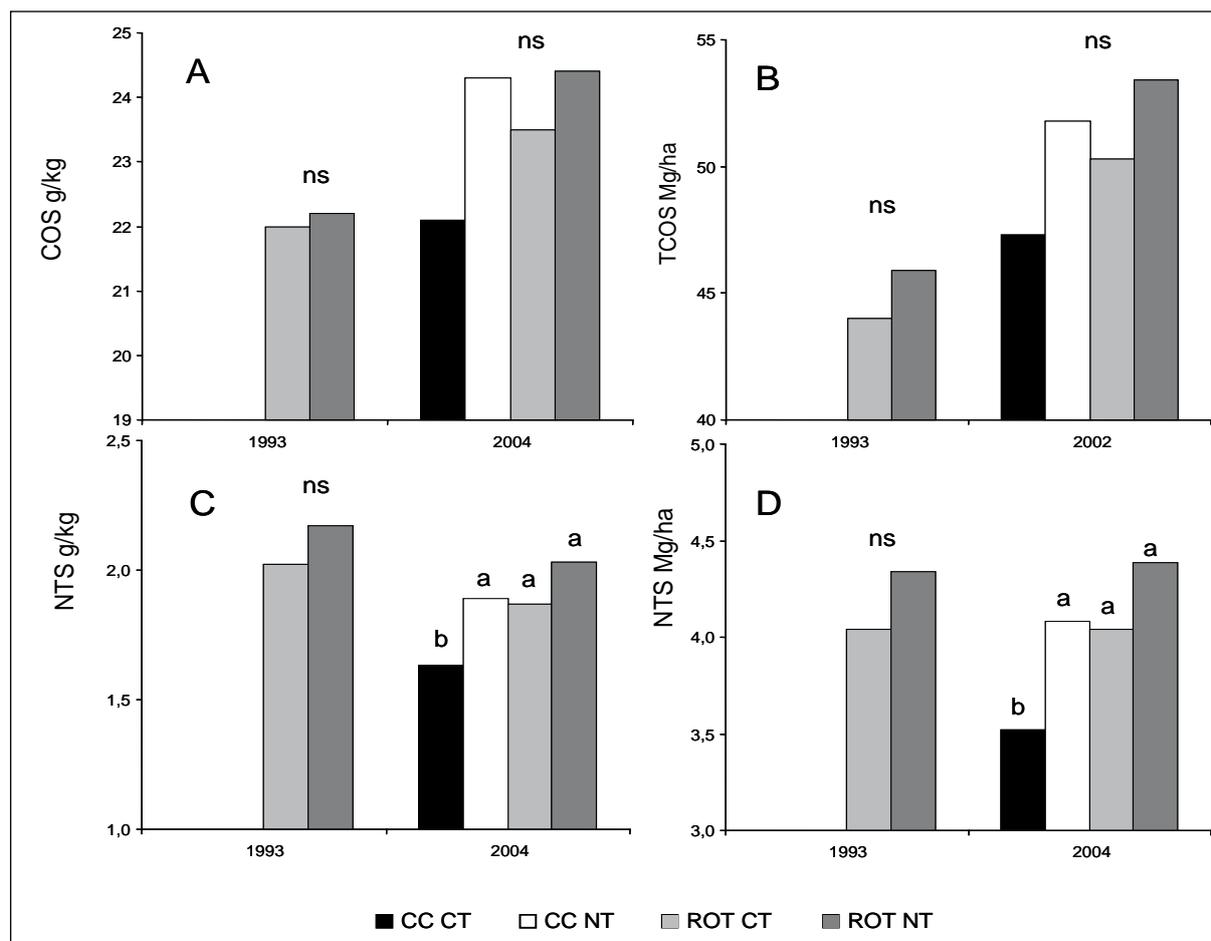


Figura 2. Concentración de carbono orgánico del suelo (A), cantidad total de carbono orgánico del suelo (B), concentración de N total del suelo (C) y cantidad total del N del suelo (D) en los primeros 18 cm de profundidad según la inclusión o no de las pasturas (CC= cultivos continuos, ROT = rotación con pasturas) y el efecto del tipo de laboreo (LC= laboreo convencional y NL = no laboreo) en dos momentos del experimento de largo plazo en Paysandú, Uruguay (1993-2005) (Adaptado de Ernst y Siri-Prieto, 2009a).

Una proporción importante de las diferencias resultan del 40% del tiempo que el suelo estuvo con pasturas, con bajos ingresos de insumos y menores necesidades de nutrientes como el N. El ingreso de N por fijación simbiótica es uno de los principales efectos residuales positivos que se pierden al separar geográficamente los sistemas de producción (Figura 6). La información muestra que, ajustando la cantidad de N a agregar a cada cultivo con los indicadores en dosis recomendadas para Uruguay, el sistema de agricultura continua recibió más fertilizante nitrogenado que el sistema que rota con pasturas, ambos sin laboreo.

Cuando se evaluó el comportamiento de cultivos a la misma cantidad de N agregado, el rendimiento de maíz y de trigo sembrados como cultivos cabeza de rotación fue significativamente superior en rotación agricultura-pastura que en agricultura continua (Figura 7).

El déficit de N de los sistemas de producción agrícola no sólo está indicando mayores requerimientos de fertilizantes nitrogenados para los cultivos, sino que estaría determinando pérdidas en la cantidad de N total del suelo en el mediano-largo plazo. Es en procura de mitigar este efecto negativo que se estudia la posibilidad de incorporar N vía simbiótica con cultivos de cobertura en secuencias de cultivos con largos períodos de barbecho.

Consideraciones finales

Los resultados sugieren que luego de transcurridos 12 años de la aplicación de 4 tecnologías para la producción de grano y/o forraje, solo la agricultura continua (CC) con laboreo no cumplió con los objetivos de mantener y/o aumentar la calidad del suelo medido en algunas propiedades químicas del mismo. Sólo por pasar de laboreo convencional a no laboreo, el carbono total del suelo en los primeros 18 cm de profundidad aumentó 10% (4.5 Mg ha^{-1}), significando una tasa de mejora en este perfil del suelo de $375 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Esta mejora en la ganancia de carbono en el sistema se debería a: 1. Un sistema de rotación muy intenso, con 19 cultivos en 12 años, resultando en una alta producción de biomasa generada en el periodo ($6.63 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$), que representa una entrada de C de $2.65 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$; 2. Bajas tasas de pérdida de suelos generadas en el periodo de estudio (1993-2005), principalmente por la baja erodabilidad del suelo, baja pendiente y alta frecuencia de cultivos por año (1.8).

Al cambiar de un sistema de rotación con pastura con laboreo convencional a un esquema de agricultura continua con laboreo, el descenso de N medido en los primeros 18 cm fue de 520 kg ha^{-1} , que representa una pérdida de $43 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Estos datos confirman los resultados analizados en el balance aparente de N, que mostraron un descenso de casi 550 kg N ha^{-1} . Si bien en agricultura continua sin laboreo el descenso fue menor (300 kg N ha^{-1}), es una tendencia generada en sólo 12 años de la aplicación de este sistema, por lo que se requiere un mayor uso de fertilizante nitrogenado para mantener los niveles de N de suficiencia para los cultivos.

Bibliografía

Arshad M.A., A.J. Franzluebbers y R. H. Azooz. 2004. Surface-soil structural properties under grass and cereal production on a Mollic Cyroboralf in Canada. *Soil and Tillage Research* 79:15-23.

Bolinder M.A., H.H. Janzen, E.G. Gregorich, D.A. Angers y A.J. VandenBygaart. 2007. An approach for estimating net primary pro-

ductivity and annual carbon inputs to soil for common agricultural crops in Canada. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 118:29-42.

Díaz-Roselló R.M. 1992. Evolución de la materia orgánica en rotaciones de cultivos con pasturas. *Investigaciones Agronómicas* 1:103-110.

Díaz-Zorita M. G., A. Duarte y J. H. Grove. 2002. A review of no-till systems and soil management for sustainable crop production in the subhumid and semiarid Pampas of Argentina. *Soil and Tillage Research* 65:1-18.

Ernst O. y G. Siri-Prieto. 2009a. Impact of perennial pasture and tillage systems on carbon input and soil quality indicators. *Soil and Tillage Research* 105:260-268.

Ernst O. y G. Siri-Prieto. 2009b. Manejo del suelo y rotación con pasturas: efecto sobre rendimiento de cultivos, su variabilidad y el uso de insumos. En: Primer Simposio Nacional de Agricultura de Secano. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 125-140.

García-Préchac F., O. Ernst, G. Siri-Prieto y J. A. Terra. 2004. Integrating no-till into crop-pasture rotations in Uruguay. *Soil and Tillage Research* 77:1-13.

Hermle S., T. Anken, J. Leifeld y P. Weiskopf. 2008. The effect of the tillage system on soil organic carbon content under moist, cold-temperate conditions. *Soil Till. Res.* 98:94-105.

Hulugalle N.R. y F. Scott. 2008. A review of the changes in soil quality and profitability accomplished by sowing rotation crops after cotton in Australian Vertisols from 1970 to 2006. *Australian Journal of Soil Research* 46:173-190.

Krupinsky J.M., D.L. Tanaka, M.T. Lares y S.D. Merrill. 2004. Leaf Spot Diseases of Barley and Spring Wheat as Influenced by Preceding Crops. *Agron. J.* 96:259-266.

López-Bellido L., M. Fuentes, J.E. Castillo, F.J. López-Garrido y Fernández. 1996. Long-term tillage, crop rotation, and nitrogen fertilizer effects on wheat yield under Mediterranean conditions. *Agron. J.* 88: 783-791.

López-Bellido L. R. J. López-Bellido, J. E. Castillo y F.J. López-Bellido. 2000. Effects of tillage, crop rotation, and nitrogen fertilization on wheat under rainfed mediterranean conditions.

Tabla 2. Uso de insumos en cuatro sistemas de producción durante 12 años, Paysandú, Uruguay 1993-2005. (Ernst y Siri-Prieto, 2009)

	Agricultura-pastura	Agricultura-pastura	Agricultura continua
	Laboreo convencional	Sin laboreo	Sin laboreo
Fertilizante			
Nitrógeno (kg ha^{-1})	349	431	775
Fósforo (kg ha^{-1})	214	230	425
Herbicidas			
Glifosato (l ha^{-1})	0	22	38
Metsulfuron metil (g ha^{-1})	6	6	11
Atrazina (kg ha^{-1})	6	6	7
Alfa metolaclor (kg ha^{-1})	2	3	6
Insecticidas			
Clorpirifos (g ha^{-1})	960	480	480
Endosulfan (l ha^{-1})	0,53	0,53	3
Maquinaria			
Gasoil (l ha^{-1})	633	377	713
Labores (horas)	51	31	60
Consumo total de energía fósil ($\text{MJ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) *	7520	6226	7856
Producción de energía ($\text{MJ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$)	35809	36623	49100
Eficiencia aparente ($\text{MJ consumido/MJ producido}$)	0,21	0,17	0,16

* Incluye la energía requerida para la producción de los insumos necesarios.

Agron. J. 92:1054-1063.

Martens D.A. 2000. Nitrogen cycling under different soil management systems. *Advances in Agron.* 70: 143-191

Mc Ewen J., R.J. Darby, M.V. Hewitt y D.P. Yeoman. 1989. Effects of field beans, fallow, lupins, oats, oilseed rape, peas, ryegrass, sunflowers and wheat on nitrogen residues in the soil and on the growth of a subsequent wheat crop. *J. Agric. Sci.* 115:209-219.

Pierce F.J. y C.W. Rice. 1988. Crop rotation and its impact on efficiency of water and nitrogen use. En: W.L. Hargrove, ed. *Cropping strategies for efficient use of water and nitrogen.* Madison, WI: ASA, CSSA, and SSSA, 1988:21-42 ASA Spec. Publ. 15.

Rasmussen P.A., R.W. Rickman y B.L. Klepper. 1997. Residue and

fertility effects on yield of no-till wheat. *Agron. J.* 89: 563-567.

Siri-Prieto G. y O. Ernst. 2009. Cambios en el contenido de carbono y nitrógeno del suelo: ¿Hacia dónde va el sistema? En: Primer Simposio Nacional de Agricultura de Secano. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 111-124

Triplett G.B. y W.A. Dick. 2008. No-tillage crop production: a revolution in agriculture! *Agron. J.* 100: 153-165.

Zentner R.P., D.D. Wall, C.N. Nagy, E.G. Smith, D.L. Young, P.R. Miller, C.A. Campbell, B.G. McConkey, A.A. Brandt, G.P. Lafond, A.M. Johnston y D.A. Derksen. 2002. Economics of crop diversification and soil tillage opportunities in the Canadian Prairies. *Agron. J.* 94:216-230. ■

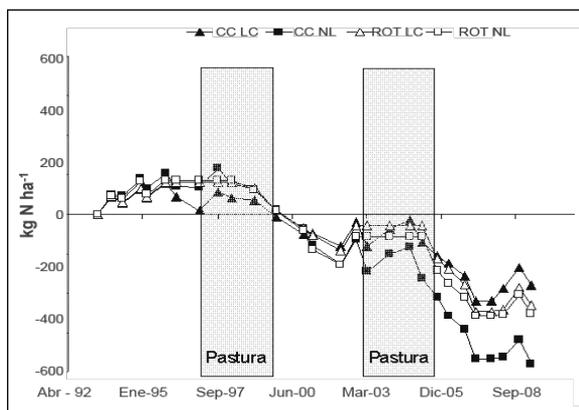


Figura 3. Balance aparente de N en el sistema según el tipo de laboreo (LC o NL) y la inclusión o no de pastura (ROT y CC) en el experimento de largo plazo iniciado en 1993, EEMAC, Uruguay, período 1993-2008 (Siri-Prieto y Ernst, 2009).

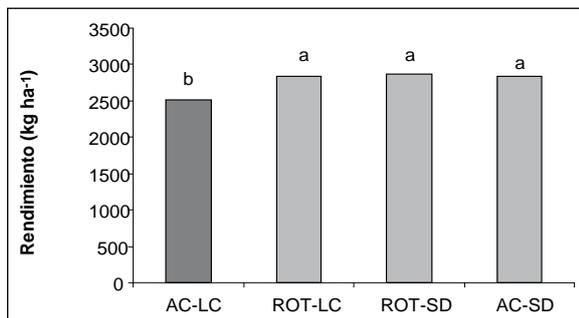


Figura 5. Rendimiento de trigo (media de mínimos cuadrados de siete cultivos entre 1994 y 2008) con laboreo en agricultura continua (CC-LC) o en rotación con pasturas (ROT-LC) y en siembra directa en agricultura continua (CC-NL) o en rotación con pasturas sin laboreo (ROT-NL) en el experimento de largo plazo iniciado en 1993, EEMAC, Uruguay. (Ernst y Siri-Prieto, 2009)

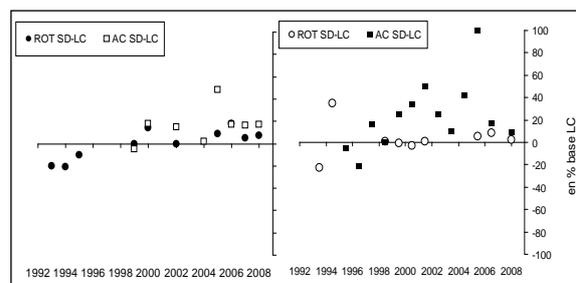


Figura 4. Rendimiento en grano relativo en relación al tratamiento con laboreo para cultivos de invierno (izquierda) y cultivos de verano (derecha) en el experimento de largo plazo iniciado en 1993, EEMAC, Uruguay, período 1993-2008. Ernst y Siri-Prieto, 2009. Referencias: ROT = rotación, CC = agricultura continua, NL-LC = no laboreo-laboreo convencional

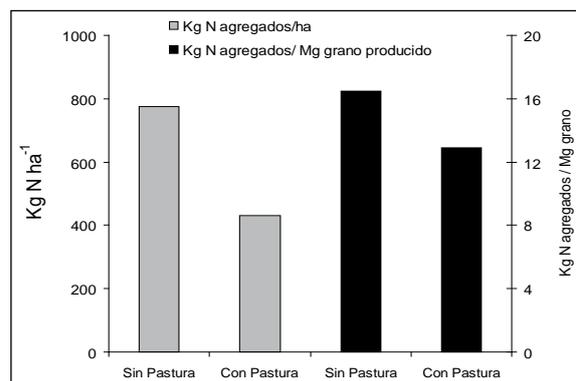


Figura 6. Nitrógeno agregado como fertilizante en 12 años (1993-2005) en sistemas agrícolas con y sin rotación con pasturas perennes (festuca, trébol blanco y lotus) y su eficiencia de uso en el período medida como N agregado por tonelada de grano producido. Experimento de largo plazo iniciado en 1993, EEMAC, Paysandú. Uruguay. (Ernst y Siri-Prieto, 2009)

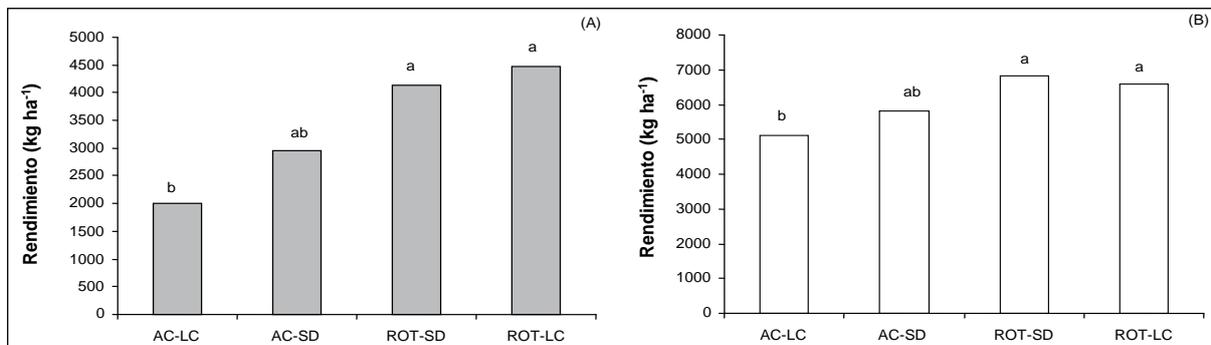


Figura 7. Rendimiento de grano de trigo (A) y (B) maíz sembrados como cabeza de rotación con laboreo (rotación-laboreo), sin laboreo (rotación- siembra directa), agricultura continua sin laboreo (agricultura-siembra directa) y agricultura continua con laboreo (agricultura-siembra directa) a igual dosis de N al cultivo (Ernst y Siri-Prieto, 2009).