

Cultivo continuo en siembra directa o rotaciones de cultivos y pasturas en suelos pesados del Uruguay

NOTA TÉCNICA

Fernando García Préchac*

INTRODUCCIÓN

Desde mediados del siglo XX se fue introduciendo en Uruguay la tecnología de pasturas sembradas mixtas (de gramíneas y leguminosas), integrándose a los sistemas de producción de las regiones con mayor presencia de cultivos, en rotación con los mismos. El proceso fue paulatino, pero los sistemas de producción basados en la rotación de cultivos y pasturas pasaron a ser dominantes desde mediados de los años 70. La adopción de estos sistemas de producción mixtos (agrícola-ganaderos) se explica por las siguientes causas: **1)** la degradación del suelo generada por ciclos de cultivos continuos con laboreo, conducente a pérdida de productividad, es revertida por un período bajo pasturas mixtas; **2)** la productividad de los cultivos siguientes a las pasturas de la rotación es mayor y menos variable que bajo cultivo continuo con laboreo, lo que se debe no solamente a mejor calidad del suelo, sino también a que las pasturas plurianuales contribuyen a interrumpir ciclos anuales de malezas, plagas y enfermedades de los cultivos de grano; **3)** en dichos cultivos se reduce significativamente la necesidad de fertilización nitrogenada; **4)** se agrega producción animal a la producción de granos, diversificando el sistema; esto le otorga mayor poder amortiguador frente a variaciones climáticas y económicas interanuales.

En la última década del siglo XX irrumpió en nuestra región la tecnología de eliminación del laboreo (siembra directa), con la caída de la patente de Roundup® y la producción regional de buenas máquinas para este tipo de siembra. Si en este nuevo sistema de manejo se respeta su base, que es la permanente cobertura del

suelo por residuos de la vegetación anterior, lo que también implica la devolución al suelo de importantes cantidades de biomasa, se reducen drásticamente la erosión y otras formas de degradación del suelo, por lo que los sistemas productivos no requerirían la inclusión de pasturas mixtas plurianuales para lograr sostenibilidad. Pero si el mencionado requisito básico no se cumple, los suelos igualmente tienden a degradarse bajo sistemas de cultivos continuos con siembra directa.

Asumiendo que se use siembra directa cumpliendo con el requisito básico, Díaz Zorita *et al.* (2002), opinan que la elección de los productores entre un sistema de producción de cultivos continuos o una rotación de cultivos y pasturas se basa en las expectativas del resultado económico inmediato de una y otra alternativa. Pero en función de la experiencia uruguaya (García Préchac *et al.*, 2004), se plantea que, además, se deberían hacer otras consideraciones: **1)** de acuerdo al más antiguo experimento de larga duración (40 años), el resultado económico de largo plazo (1963-1989, Fernández, 1992; Fernández y La Manna, 2004), fue mejor y su variación interanual menor, en las rotaciones de cultivos y pasturas, y **2)** asumiendo que las pasturas ocupan aproximadamente la mitad del tiempo, la utilización de agroquímicos y combustibles fósiles es al menos 50% inferior en estas rotaciones, puesto que no son usados significativamente en las pasturas y tampoco durante su uso ganadero. En un mundo globalizado, en el que se han abierto camino las inquietudes sobre los problemas ambientales y su mitigación, es razonable esperar que se desarrollen nuevas barreras no arancelarias al comercio internacional y que los productos de sistemas de producción que objetivamente demuestren ser más amigables con el ambiente tengan reales ventajas comparativas. Al respecto,

se citan en la literatura resultados que indican que, a pesar de que con siembra directa se gana carbono en el suelo y se captura más CH₄ que con laboreo, se incrementan las emisiones de N₂O (Six *et al.*, 2002), que tiene 310 veces más capacidad de calentamiento global que el CO₂ (Lal *et al.*, 1998), resultando en un balance desfavorable para la siembra directa. Pero la información proviene de sistemas de cultivos continuos, con alta aplicación de fertilización nitrogenada a la mayoría de los cultivos. En Uruguay han comenzado trabajos para cuantificar flujos de gases con efecto invernadero (Perdomo *et al.*, com. pers.), en un ensayo de larga duración de la Estación Experimental "Dr. Mario A. Cassinoni" (EEMAC, Paysandú), Facultad de Agronomía, Universidad de la República. Las tasas de emisión de N₂O seguidas periódicamente desde el invierno de 2001 al de 2002, como era de esperar, fueron mayores en cultivo continuo con siembra directa. Pero en los dos primeros cultivos siguientes a la pastura en una rotación con pasturas con siembra directa se encontró menor emisión de N₂O que en cultivo continuo y rotación de cultivos con pasturas con laboreo convencional. Las menores tasas de emisión de N₂O se midieron en pastura natural. Si bien las emisiones de este gas son muy variables entre años, ya que son gobernadas por los contenidos de agua (condiciones redox) y de NO₃ en el suelo, estos resultados son alentadores en cuanto al posible rol de las pasturas en mitigar las emisiones de N₂O en sistemas con siembra directa.

La actual coyuntura de muy altos precios de la soja ha impulsado dramáticos crecimientos de su presencia en los sistemas de producción Argentina, Brasil, Paraguay y Bolivia, y ha acentuado la tendencia hacia el cultivo continuo, lo que en Uruguay ha generado desde 2003 la ruptura de muchas rotaciones de cultivos y pasturas. Si

* Ing. Agr., Dpto. Suelos y Aguas. Facultad de Agronomía.

se pasara a una secuencia de cultivo continuo con siembra directa, con alta frecuencia de soja, hay evidencias para temer que la base de sostenibilidad no se cumpla, ya que la biomasa que deja este cultivo es cuantitativamente baja y su calidad la hace poco persistente como cobertura superficial. Además, en Uruguay, a pesar de que las variedades usadas son casi invariablemente resistentes a Glifosato, una parte importante del área en la zafra 2003/04 fue hecha con intensidades variables de laboreo.

Esta presentación tiene como objetivo discutir los principales resultados en que se basa lo antes dicho. También, pretende aportar a la reflexión que, como especialistas en el recurso suelo, debemos realizar para que nuestros aportes a la actividad agrícola-ganadera, básica para las economías de nuestros países y por lo tanto para el desarrollo de nuestras sociedades, conduzcan a que sea efectivamente sostenible.

EL CONTENIDO DE CARBONO DEL SUELO COMO INDICADOR DE SOSTENIBILIDAD DE LOS SISTEMAS DE USO Y MANEJO

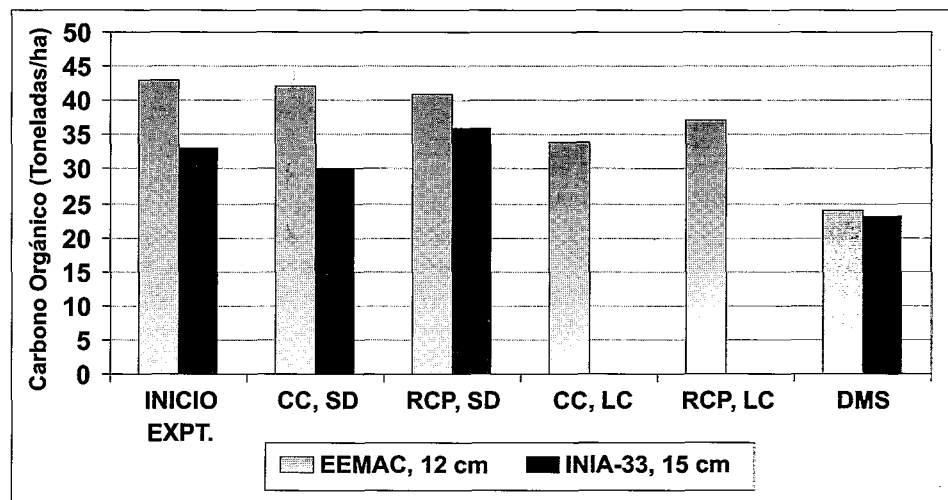
Es aceptado que el contenido de carbono orgánico o de materia orgánica del suelo es el más importante indicador de su estado de degradación y su calidad. El ensayo de larga duración de INIA-La Estanzuela (Díaz Roselló, 1992), sobre un Argiudol típico (horizonte A Franco arcillo limoso), es un ejemplo conocido de la caída del contenido de carbono orgánico bajo cultivo continuo con laboreo y de la tendencia a su mantenimiento en la rotación de la misma secuencia de cultivos durante 3 años con 3 años de pasturas mixtas. En 27 años de cultivo continuo se perdió el 25% del carbono orgánico original en la capa arable (20 cm), a una tasa lineal de 307 kg/ha/año. En el mismo período, en la rotación cultivos y pasturas el carbono orgánico se redujo durante las fases de cultivos arables y se incrementó durante la fase pasturas de la rotación, tendiendo a conservar el valor promedio original. Igualmente, el ajuste lineal a los datos mostró una ligera pérdida del 3,7% del mismo, a una tasa de 45 kg/ha/año. Es muy importante destacar que por las dimen-

siones de las parcelas de este experimento (0,5 ha) y por su disposición en la topografía, sufrieron el mismo grado de erosión que chacras comparables en condiciones normales de producción; por lo tanto, las pérdidas indicadas de carbono orgánico son, en parte significativa, debidas a erosión.

El advenimiento de la siembra directa en los 90 planteó la posibilidad de que la sostenibilidad del recurso suelo pudiera obtenerse en cultivo continuo, sin que los sistemas incluyesen las pasturas como elemento imprescindible de recuperación del carbono orgánico y de eliminación de la erosión. A principios y mediados de los 90 se instalaron dos ensayos, que entre otros objetivos, incluyeron dilucidar lo antes planteado. Uno de ellos se instaló en 1992 en la Estación Experimental "Dr. Mario A. Cassinoni" en Paysandú (Ernst y Siri-Prieto, 2000), sobre un Argiudol típico (horizonte A Franco arcillo limoso). En este experimento, se agregó a los contrastes discutidos en el viejo ensayo de La Estanzuela, el contraste de uso de Laboreo versus siembra directa. El segundo ensayo comenzó en 1995 en la Unidad Experimental Palo a Pique del INIA en Treinta y Tres (Terra y García Préchac, 2001), sobre un Argiudol abrupto (horizonte A Franco limoso). Este experimento tiene marcada diferencia con otros en que la fase de cultivos de sus rotaciones, así como su tratamiento de cultivo continuo, es de cultivos forrajeros. Los culti-

vos de invierno se pastorean directamente por los animales, y los de verano, sembrados en doble cultivo anual siguiendo inmediatamente a los anteriores, son también pastoreados o cosechados para heno o silo. Por lo tanto, en estos sistemas la devolución de biomasa aérea al suelo es mínima (alrededor de 2 toneladas de materia seca/ha/año), por lo que es de esperar pérdida de carbono orgánico, aun en siembra directa.

Los resultados de estos ensayos, luego de un ciclo completo de rotación (6 años), se presentan en la Figura 1. Se observa que los resultados de la EEMAC confirman la pérdida de carbono orgánico con laboreo convencional, pero ello fue así tanto en cultivo continuo como en rotación cultivos y pasturas. Sin embargo, con siembra directa el carbono orgánico se conservó en el suelo tanto en cultivo continuo como en la rotación cultivos-pasturas. En cambio, en INIA-33, con siembra directa, en cultivo continuo se observó una pérdida de 7,5% del carbono orgánico y una ganancia de 6% en la rotación cultivos-pasturas, con significación estadística. Los resultados de la EEMAC son confirmatorios de lo discutido previamente, con la particularidad de que en este caso, aun con rotación cultivos-pasturas, el uso de laboreo convencional determinó pérdida significativa de carbono orgánico. Los de INIA-33, muestran dos resultados relevantes: **1)** si la secuencia de cultivos en cultivo continuo no aporta im-



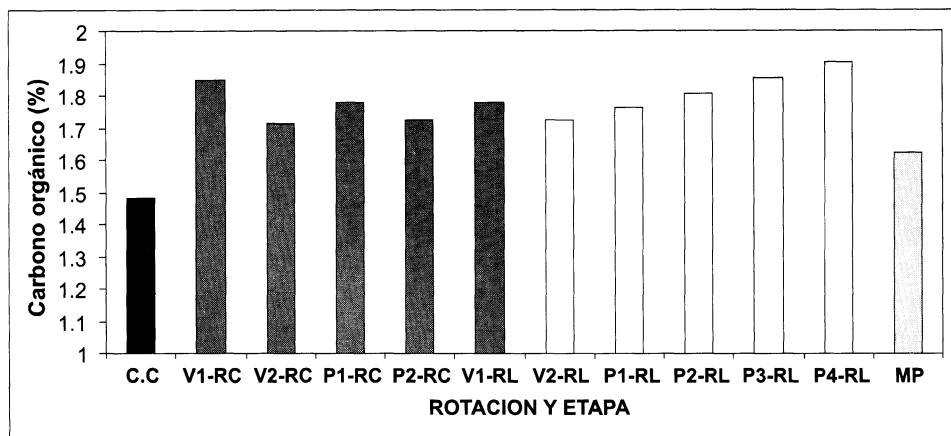
Referencias: INICIO EXPT: carbono orgánico al iniciar el experimento; CC: Cultivo continuo; RCP: Rotación cultivos-Pasturas; SD: Siembra Directa; LC: Laboreo Convencional; DMS: Diferencia mínima significativa.

Figura 1. Contenido de carbono orgánico del suelo luego de un ciclo de rotación (6 años). EEMAC: Ernst y Siri - Prieto (2000), INIA - 33: Terra y García Préchac (2001).

portante cantidad de biomasa como residuos en cobertura y dentro del suelo (raíces), éste tiende a degradarse aun con siembra directa; 2) si la secuencia mencionada en cultivo continuo es la fase de cultivos de una rotación de cultivos y pasturas en la que las pasturas son productivas y de larga duración (en el caso de los resultados de la Figura 1 ocupan 4 de los 6 años de la rotación), es seguro que con siembra directa se conserve, al menos, el contenido de carbono orgánico a largo plazo, y que aun puede aumentárselo.

El último resultado es infrecuente en la literatura, principalmente porque son escasos en el mundo los países en los que se utilizan rotaciones de cultivos y pasturas, menos aún con siembra directa, y son raros los experimentos de larga duración que los incluyan como tratamientos. En el caso de INIA-33, la productividad de las pasturas en las rotaciones estuvo siempre por encima de 8 toneladas de materia seca/ha/año. Si se considera que, en contraste con los cultivos anuales, la partición de la fotosíntesis neta de las pasturas mixtas destina la mitad o más al crecimiento de los sistemas radicales y que con siembra directa los restos de los mismos no son oxidados biológicamente en forma acelerada por el laboreo o perdidos por erosión, los resultados obtenidos dejan de ser sorprendentes. La Figura 2 muestra los valores de carbono orgánico promedio de 3 años de los diferentes componentes de las 4 intensidades de uso del suelo con siembra directa en INIA-33: 1) CC, cultivo continuo; 2) MP, pastura permanente: la original intersemebrada con leguminosas y raigrás y fertilizada con fósforo; 3) RL, rotación larga, 2 años de cultivo continuo y 4 de pasturas mixtas sembradas; 4) RC, rotación corta: 2 años de cultivo continuo y 2 de pasturas.

El valor de pastura permanente se mantuvo cercano al original del experimento y puede tomarse como referencia. Se observa la ya comentada reducción que generó el cultivo continuo en 6 años. Dentro de cualquiera de las dos rotaciones de cultivos y pasturas se observa la tendencia decreciente durante los 2 años de cultivos forrajeros y la recuperación durante los años de pasturas, muy claramente en el caso de la rotación larga. Pero lo más contundente es que en ambas rotaciones de cultivos y pasturas con siembra directa el carbono or-



Referencias: CC: Cultivo Continuo; RC: Rotación Corta; RL: Rotación Larga; MP: Pastura Permanente; V1: (1er año de cultivo, en Verdeo de invierno, V2: 2do. año cultivo, en verdeo de verano; P1, P2... :1er año Pradera,etc..

Figura 2. Contenido de carbono orgánico en cuatro intensidades de uso del suelo CON SIEMBRA DIRECTA y los respectivos momentos de la rotación; los datos son promedio de 1998, 1999 y 2000 (Terra y García Préchac, 2001).

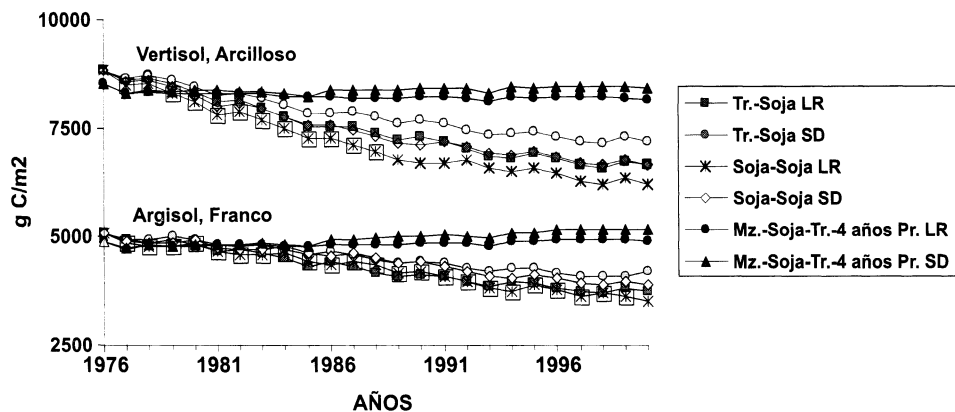


Figura 3. Evolución simulada, desde 1980 a 2000, del contenido de carbono orgánico de la capa arable de 2 suelos (Vertisol, Arcilloso: 43% arcilla, 32% limo y 25% arena y Argisol, Franco: 20% arcilla, 35% limo y 45% arena) bajo 3 sistemas de uso: Tr.- Soja: trigo-soja, Soja Soja: soja continua, Mz.-Soja-Tr. rotación maíz-soja-trigo-4 años de pradera, con laboreo reducido (LR) o siembra directa (SD) (Baethgen *et al.*, no public.).

gánico siempre aparece por encima del de la pastura permanente.

No disponemos de resultados experimentales de ninguna duración en sistemas cuya fase de cultivos esté dominada por soja, ya que en Uruguay este cultivo casi había desaparecido (hace 2 años se plantaron sólo 30.000 ha, pero en la última zafra se llegó a 250.000 ha). Pero los datos de INIA-33, en los que las fases de cultivos dejan tan pocos residuos como es de esperar lo hagan las fases de cultivos dominadas por soja, permitirían afirmar que a mediano y largo plazo, aun con siembra directa, estos últimos sistemas generarán alguna degra-

dación del recurso suelo.

Con el objetivo de explorar esta hipótesis se hicieron algunas corridas con el modelo CENTURY, que ha sido validado con los datos de los ensayos de larga duración de INIA La Estanzuela (Baethgen *et al.*, 1994). Los resultados obtenidos se presentan en la Figura 3.

Se observa que todos los sistemas de agricultura continua, en particular Soja/Soja, tienden a perder carbono orgánico y que la rotación con pasturas tiende a mantenerlo o incrementarlo levemente. En ambos casos se destaca el mejor resultado de siembra directa.

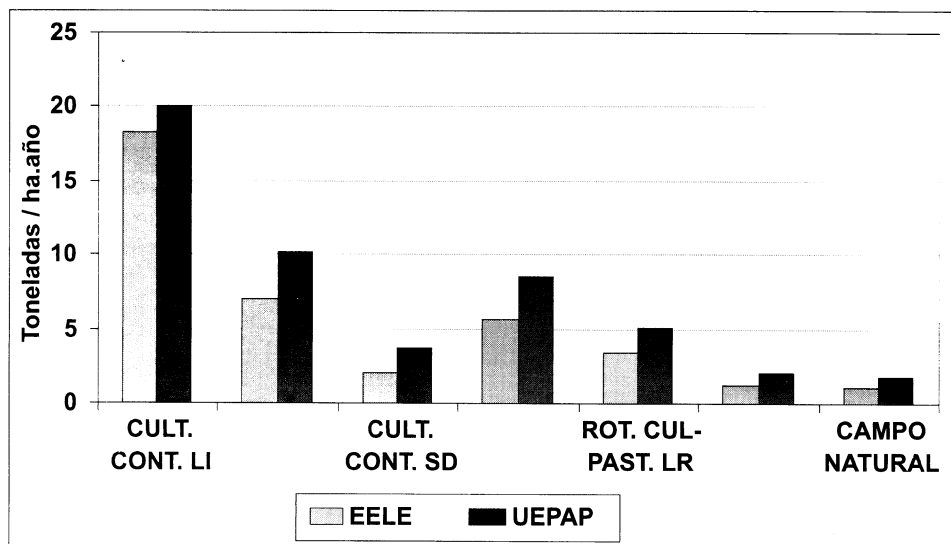
LA TASA DE EROSIÓN COMO INDICADOR DE SOSTENIBILIDAD DE LOS SISTEMAS DE USO Y MANEJO

Si la tasa de erosión promedio anual es significativa, el sistema de uso y manejo considerado no es sostenible. Entendemos que ésta, junto con la evolución del contenido de carbono orgánico del suelo, son los dos principales indicadores de sostenibilidad.

En la Estación Experimental La Estanzuela (EELE) y en la Unidad Experimental Palo a Pique (UEPAP) de INIA-33 se obtuvieron datos de largo plazo con parcelas de escurrimiento de tamaño estándar (tipo "Wischnmeyer") para obtener datos experimentales con que ajustar y validar el modelo USLE/RUSLE. Los tratamientos evaluados fueron el contraste de cultivo continuo contra rotación de cultivos y pasturas (con las particularidades ya indicadas en cada sitio experimental) con laboreo convencional, laboreo reducido) o siembra directa, más parcelas testigo en las que se mantuvo la pastura nativa. La Figura 4 presenta los resultados promedio anuales de 6 años (un ciclo completo de la rotación de cultivos y pasturas).

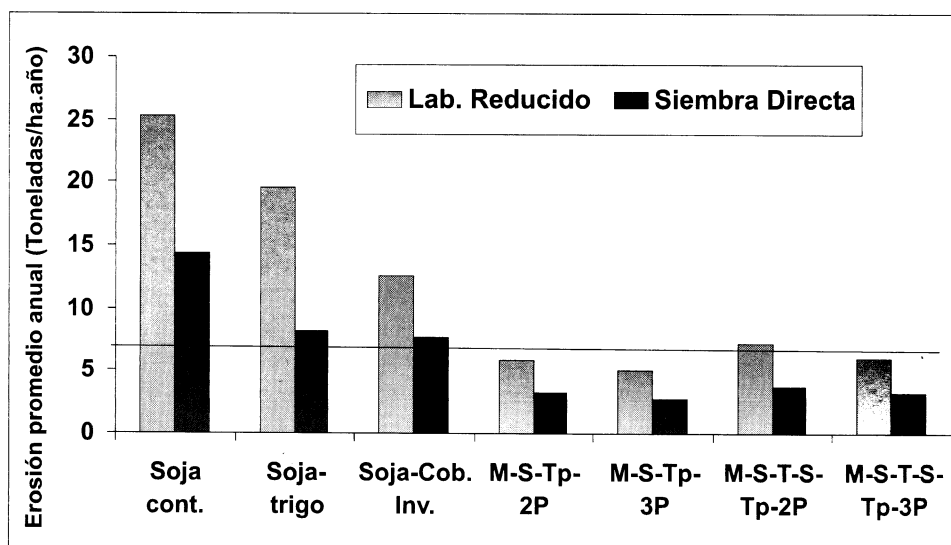
Los resultados muestran la conocida efectividad de la reducción o eliminación del laboreo. También, la efectividad de las rotaciones de cultivos y pasturas en reducir la erosión frente a los cultivos continuos, independientemente de la intensidad de laboreo utilizada. Pero lo más destacable es que en ambos sitios experimentales, la combinación rotación cultivos-pasturas con siembra directa alcanzó valores de erosión promedio anual tan bajos como los medidos bajo la pastura natural (lo más cercano al "clímax" que en la realidad actual se puede conseguir). Es difícil concebir un sistema más conservacionista dentro de los límites de la tecnología que conocemos.

La Figura 5 presenta estimaciones realizadas con USLE/RUSLE, un modelo ajustado y validado con resultados experimentales de largo plazo, como los recién presentados (García Préchac, 2003), para un suelo pesado muy representativo de los usados en agricultura en Uruguay. Se comparan sistemas de agricultura continua con predominancia de soja, así como rotaciones con pasturas, con laboreo reducido o siembra directa. Se observa que solamente



Referencias: LI y LR: Laboreo intensivo y reducido, respectivamente.

Figura 4. Erosión promedio anual en parcelas de escurrimiento, llevadas a 100m de pendiente. EELE: 1984-1990, Sawchik y Quintana, citado por García Préchac (1992); UEPAP: 1994-1999, Terra y García Préchac (2001).



Referencias: M: maíz; S: soja; T: trigo; Tp: pradera asociada con trigo; 2P: 2 años de pradera, etc.

Figura 5. Estimaciones de tasas de erosión realizadas con USLE/RUSLE (Clérid et al., modificado) para un Argiudol Típico de la Unidad Young del mapa de suelo 1:1M de Uruguay, considerando una pendiente de 3% y 100 m de largo y todas las labores a favor de la pendiente.

con siembra directa y con el suelo cubierto en invierno (trigo o cultivo de cobertura) se logra acercarse a la tasa de erosión tolerable con cultivo continuo. En cambio, las rotaciones con pasturas de 2 o 3 años de duración están por debajo de la tasa tolerable, excepto la que tiene la secuencia larga de cultivos y corta de pasturas y se hace con

laboreo reducido, que aparece ligeramente pasada de la tolerancia.

CONSIDERACIONES FINALES

Tal como se dijo en la introducción, los resultados que seleccionamos para presen-

tar nos permiten afirmar que con siembra directa la sostenibilidad del recurso suelo puede alcanzarse tanto en rotaciones de cultivos y pasturas como en sistemas de cultivos continuos. Los requisitos para ello son: 1) que las secuencias de cultivos sean cosechadas solamente para granos, dejando todo su rastrojo sobre el suelo y 2) que

dichos cultivos dejen rastrojos cuantitativamente importantes y cualitativamente determinantes de moderada a lenta velocidad de descomposición.

Si los sistemas de cultivos continuos tienen una muy alta proporción de soja, no se cumple con lo anterior y la sostenibilidad del recurso suelo podría comprometerse a

largo plazo, aun sin realizar laboreo.

Sobre las diferencias entre cultivos continuos y rotaciones de cultivos y pasturas ya se hizo una síntesis en la introducción y se presentaron las referencias bibliográficas para quienes se interesen por los resultados comparativos en cuanto a productividad física y económica de largo plazo y su variabilidad interanual. ■

BIBLIOGRAFÍA

- BAETHGEN, W. E.; MORÓN, A.; DÍAZ ROSELLÓ, R. M. 1994. Modelling long-term soil organic carbon changes in six cropping systems of SW Uruguay. *In* Int. Soil Sci. Soc. Transcripts, 9: 300-302, Acapulco México.
- DÍAZ-ROSELLÓ, R. M. 1992. Evolución de la materia orgánica en rotaciones de cultivos con pasturas. *Revista INIA-Uruguay Investigaciones Agronómicas* 1(1):103-110.
- DÍAZ-ZORITA, M.; DUARTE, G. A.; GROVE J. H. 2002. A review of no-till systems and soil management for sustainable crop production in the subhumid and semiarid Pampas of Argentina. *Soil Tillage Res.* 65, 1-18.
- ERNST, O.; SIRI-PIRETO, G. 2000. Impact of crops-pasture rotation with conventional tillage and no till systems on soil quality and crops yield in Uruguay. *In* Morrison, J.E. (Ed.), Proc. 15th Int. Conf. of the International Soil Till. Res. Org., Forth Worth, TX, USA, in CD.
- FERNÁNDEZ, E. 1992. Análisis físico y económico de siete rotaciones de cultivos y pasturas en el suroeste de Uruguay. *Revista INIA-Uruguay Investigaciones Agronómicas* 1(2):251-271.
- FERNÁNDEZ, E.; LA MANNA A. 2004. Análisis de la sostenibilidad física y económica de rotaciones de cultivos y pasturas. *In* Morón, A. y R. Díaz (Eds.) 40 años de rotaciones agrícola-ganaderas, INIA-La Estancuela, Serie Técnica 134: 55-63.
- GARCÍA-PRÉCHAC, F. 1992. Guía para la toma de decisiones en conservación de suelos, 3ra. Aproximación. INIA-Uruguay, Serie Técnica 26:63.
- GARCÍA PRÉCHAC, F. 2003. Propiedades físicas y erosión en los trabajos de larga duración de La Estancuela. *In* Morón A.; Díaz R., Simposio 40 años de rotaciones agrícolas-ganaderas, INIA-La Estancuela, Serie Técnica 134:19-23.
- GARCÍA PRÉCHAC, F.; ERNST, O.; SIRI G; TERRA J. A. 2004. Integrating no-till in Crop-Pasture rotation in Uruguay, Review. *Soil Tillage Res.* 77:1-13.
- LAL, R.; KIMBLE, J. M.; FOLLET R. F.; COLE, C. V. 1998. The potential of US cropland to sequester Carbon and mitigate the greenhouse effect. *Ann. Arbor Press*, 128 p.
- SIX, J., CH.; FELLER, K.; DENEFF, S. M.; OGLE, J. C.; DE MORAES, S.; ALBRECHT A. 2002. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils- Effects of no-tillage (Review Article). *Agronomie* 22: 755-775.
- TERRA, J.A.; GARCIA-PRÉCHAC, F. 2001. Siembra directa y rotaciones forrajeras en las Lomadas del Este: Síntesis 1995-2000, INIA-Uruguay, Treinta y Tres. Serie Técnica. 125:100.

QUÉDESE CON LA EXCELENCIA EN INOCULACIÓN



LATU SISTEMAS
ISO 9001:2000
Registro N° 316/01
Sistema de Gestión de Calidad de
Procesos de Elaboración de Inoculantes.

LAGE y Cía. S.A.

www.lageycia.com



LAGE y CÍA