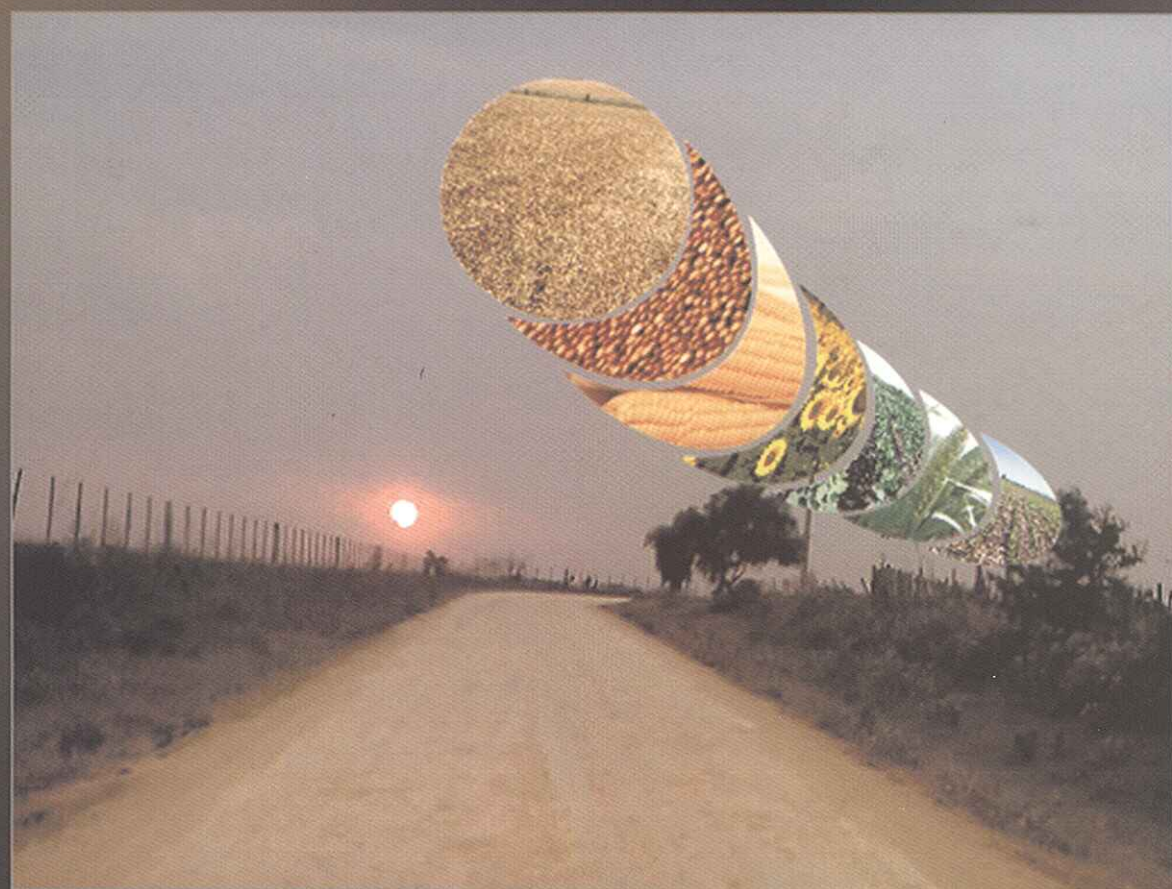


**FACULTAD DE AGRONOMÍA - UDELAR
IPNI CONO SUR**

Primer Simposio Nacional de Agricultura de Secano



**17 y 18 de Setiembre 2009
Centro de Convenciones EGEO.
Paysandú**

Organización GTI AGRICULTURA - EEMAC

Primer Simposio Nacional de Agricultura de Secano

Organizadores:

Esteban Hoffman
Adela Ribeiro
Oswaldo Ernst
Fernando O. García

Coordinación general:

E. Hoffman

Revisión trabajos:

Adela Ribeiro

Secretaría:

Graciela Geninazza

Maite Fajardo

Diseño y fotos de Tapa: Esteban Hoffman

Impreso en el Departamento de Publicaciones de la Facultad de Agronomía.
Av. Garzón 780. 12900 Montevideo - URUGUAY

Depósito legal: 349.749/09

ISBN: 978-9974-0-583-9

© UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA - Facultad de Agronomía

Todos los derechos reservados

Desde la viabilización de la siembra directa en suelos marginales hasta la oportunidad del manejo sitio específico de los mismos.

J.A. Terra¹, M.V. Pravia², L. Salvo³, A.M. Carbone⁴, F. García Préchac³

¹Ing. Agr. (Ph.D.) INIA-Uruguay / Ruta 8 km 281, Treinta y Tres/ jterra@inia.org.uy. ²Ing. Agr. INIA-Uruguay / Ruta 8 km 281, Treinta y Tres/ vpravia@inia.org.uy. ³Ing. Agr. M.Sc. FAGRO-UdelaR / Garzón 780, Montevideo/ lsalvo@fagro.edu.uy. ⁴Ing. Agr. (Ph D.) FAGRO-UdelaR / Garzón 780, Montevideo, fgarciap@fagro.edu.uy

INTRODUCCIÓN

El área destinada a la agricultura ha tenido un gran crecimiento en Uruguay en la última década. Este se ha caracterizado por la generalización de la siembra directa, la incorporación de cultivos transgénicos, la intensificación del uso del suelo y una alta incorporación de tecnología en los sistemas productivos. El incremento del área agrícola, fundamentalmente soja, se ha basado en la intensificación de la agricultura en las zonas tradicionales (en detrimento de las pasturas sembradas) y en la expansión a nuevas regiones que antes eran consideradas marginales, ya sea por su lejanía a los centros de acopio o por la menor superficie o aptitud de uso de suelos agrícolas.

La mayor parte de los suelos con aptitud agrícola ubicados en la región de lomadas de la cuenca de la laguna Merín (ej: Unidades Alférez y J.P. Varela), tienen menor capacidad de uso y manejo que los suelos agrícolas tradicionales del litoral oeste. Entre sus diferencias destacan su mayor diferenciación textural y menor capacidad de almacenamiento de agua, estabilidad estructural, contenido de materia orgánica y fertilidad natural (Duran y García-Préchac, 2007a y 2007b). Se trata entonces de suelos con mayores limitantes de uso y manejo incluyendo alto riesgo de erosión y degradación, alto riesgo de sequía en periodos estivales y problemas de drenaje durante el invierno.

El uso de estos suelos con laboreo en el pasado, aun con practicas conservacionistas incluyendo rotaciones cultivo-pastura, condujeron a perdidas de suelo por encima de niveles tolerables, reducción de C orgánico, compactación, falta de piso para el trafico de maquinaria y animales y retrasos en la época de siembra de los cultivos que atentaban contra la sustentabilidad de los sistemas productivos. Sin embargo, con la aparición de la siembra directa a inicios de la década del 90, se planteó la expectativa sobre la viabilidad de esta tecnología para la intensificación de uso sustentable de estos suelos que dio origen en 1995 al experimento de rotaciones de larga duración de INIA Treinta y Tres que tuvo inicialmente una orientación agrícola forrajera destinada a la producción de carne (Terra y García-Préchac, 2001).

Luego, con la expansión de la agricultura de grano a nuevas regiones en los últimos años, se ha reactivado el interés de la sostenibilidad productiva y ambiental de los sistemas agrícolas sobre estos suelos. Aunque la siembra directa se ha consolidado como sistema, la expansión agrícola a

suelos frágiles, el predominio de la soja en la rotación y la disminución o eliminación de las pasturas perennes de las mismas, plantea nuevos desafíos en términos de conservación del recurso suelo en estas regiones. El cultivo de soja determina balances negativos de N y C del suelo y su rastrojo, poco abundante y de baja relación C-N, no brinda cobertura eficiente y duradera para mantener la erosión hídrica dentro de valores tolerables (Duran y García-Préchac, 2007; Morón, 2007). Esto implica la necesidad de conocer el impacto sobre la calidad del suelo y la productividad de los cultivos de grano que pueda tener la inclusión o no de pasturas perennes en la rotación, el uso de cultivos de cobertura y la secuencia de los cultivos seleccionados.

El principal factor relacionado con la productividad de cultivos de verano es la capacidad de suministro de agua por el ambiente, resultante de la interacción del clima (lluvias y evapotranspiración), la topografía y la capacidad de almacenamiento de agua del perfil del suelo. Sobre estos suelos, deberían utilizarse prácticas de manejo conservacionistas que maximicen los rastrojos sobre superficie, la preservación del agua en el perfil y la exploración radicular de los cultivos en profundidad.

Por otro lado, es ampliamente reconocida la alta variabilidad espacial de atributos edáficos y topográficos en las chacras comerciales (Kravchenko y Bullock, 2000). Por tanto, la variabilidad de suelos y topografía debería ser considerada al estudiarse el impacto de prácticas de manejo sobre un cultivo. Los ensayos en fajas a escala de chacra permiten captar esta variabilidad y estudiar su interacción con las prácticas de manejo mediante el uso de las tecnologías asociadas a la agricultura de precisión (GPS y monitores de rendimiento) y técnicas estadísticas de análisis multivariado y geoestadístico (Mallarino et al., 1999, Mallarino et al., 2000; Terra et al., 2006).

Esta nueva realidad dio origen en 2005 a la primera modificación importante en el experimento de rotaciones a los efectos de incluir los cultivos graníferos e incorporar la dimensión espacial a los trabajos de investigación con estos cultivos mediante las herramientas de la agricultura de precisión.

El objetivo de este artículo es resumir alguno de los principales resultados productivos alcanzados en el experimento de larga duración de INIA Treinta y Tres en las diferentes etapas de viabilización de la siembra directa en los suelos de lomadas y mostrar algunos impactos sobre indicadores de calidad de suelos de las alternativas estudiadas. Finalmente, se intentará dejar plasmados algunos nuevos desafíos que se abren en aspectos vinculados al manejo sitio específico de los suelos para ser abordados en el experimento de largo plazo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento de rotaciones de larga duración fue instalado en la unidad experimental Palo a Pique en INIA Treinta y Tres en 1995 y evalúa en 72 ha, cuatro intensidades de uso del suelo con siembra directa que se diferencian en la duración y proporción de las pasturas en la rotación. Los tratamientos iniciales consistieron en: i) doble cultivos continuos (CC); ii) rotación corta de 2 años (2 años de cultivos y 2 años de pasturas); iii) rotación larga (2 años de pasturas y 4 años de pasturas); y iv) pastura mejorada permanente. El cultivo continuo consiste en doble cultivo de raigrás (*Lolium multiflorum* Lam.) o avena (*Avena* sp.) para pastoreo en el invierno y sorgo (*Sorghum bicolor* L) o moha (*Setaria italica*) para reservas en el verano. La rotación corta incluye 2

PRIMER SIMPOSIO NACIONAL DE AGRICULTURA DE SECANO

años como CC seguidos de una pastura bianual de raigrás y trébol rojo (*Trifolium pretense* L.). La rotación larga tiene 2 años como CC seguido de una pastura de larga duración de Festuca arundinacea o dactilis (*Dactylis glomerata* L.), trébol blanco (*Trifolium repens* L.), y lotus (*Lotus corniculatus* L.). Finalmente, la pastura permanente consiste en un mejoramiento sobre campo regenerado con raigrás, trébol blanco y lotus que es renovado cada 4 años.

El experimento no cuenta con repeticiones sincrónicas, pero todas las fases de las rotaciones están presentes al mismo tiempo. Los suelos dominantes en el área experimental pertenecen a la unidad Alférez y consisten en Argisoles subéutricos melánicos abrupticos y Planosoles subéutricos melánicos/ócricos clasificados como de clase III por su capacidad de uso y manejo.

Los objetivos macro del experimento fueron: a) identificar sistemas de intensificación del uso del suelo mediante rotaciones de cultivos forrajeros y pasturas con siembra directa que fueran una alternativa sustentable a los sistemas ganaderos extensivos de aquel entonces; y b) contar con una plataforma analítica para resolver problemas puntuales de adaptación de la tecnología en la región.

En los primeros 10 años, las rotaciones instaladas en el ensayo tuvieron un enfoque agrícola forrajero destinado a la producción de carne bajo pastoreo. Durante esta etapa, se cuantificó la productividad de carne en las mismas, el resultado económico y los efectos sobre algunos indicadores de calidad de suelos, particularmente C orgánico y erosión (Terra y García-Préchac, 2001, García-Préchac et al., 2004; Terra *et al.*, 2006). A nivel analítico parcelario se focalizó en la viabilización de la tecnología de siembra directa en las distintas fases de las rotaciones y en su comparación como alternativa al laboreo en aspectos de productividad, respuesta a N y calidad de suelos (Terra y García-Préchac, 2001; Terra y García-Préchac, 2002).

Posteriormente, ante la necesidad de generar información con cultivos de grano sobre estos suelos, en 2005 se subdividieron las unidades experimentales de forma de mantener por un lado las rotaciones con cultivos forrajeros y en la otra mitad incluir cultivos graníferos, manteniendo en ambas alternativas las mismas pasturas. Los trabajos experimentales con cultivos de grano se iniciaron en 2005 y se concentran inicialmente en una secuencia sorgo-soja rotando con pasturas anuales o perennes priorizando tres aspectos. Primero, la integración de los cultivos en sistemas de siembra directa que incluyan la rotación con estas pasturas. Segundo, la búsqueda de prácticas de manejo que maximicen la disponibilidad de agua para el cultivo y que minimicen los posibles efectos negativos del pastoreo (compactación y rastrojo). Finalmente, el estudio de la interacción entre las prácticas de manejo y la variabilidad de la chacra sobre la productividad de los cultivos y las propiedades dinámicas de los suelos. El objetivo general de estos trabajos fue determinar el efecto relativo e interactivo a escala de chacra de algunas prácticas de manejo de suelos sobre la productividad del cultivo de soja y sorgo en suelos sometidos a diferentes intensidades de uso en siembra directa.

RESULTADOS

Resultado físico y económico de las rotaciones forrajeras

Entre el año 1996 y el 2000 se llevaron registros de productividad de carne y económica sobre las cuatro intensidades de uso contrastadas en el ensayo que fueron reportadas en detalle por Terra y García-Préchac (2001). La productividad de forraje y de carne de cada tratamiento fue evaluada durante 5 años con cruza de Hereford x Aberdeen Angus (en general sobreaños) que entraban a los sistemas en otoño y permanecían hasta mediados del verano. La carga se fijaba en base a una presupuestación forrajera teórica y se ajustaba con animales de otras categorías de acuerdo a la disponibilidad de forraje y a las actividades operativas durante el año. La productividad alcanzada en todas las intensidades de uso del suelo evaluadas estuvo muy por encima de la producción de carne obtenida a nivel comercial en suelos de lomadas a base de campo natural (Figura 1). Las diferencias de producción de carne fueron analizadas estadísticamente utilizando los años como repeticiones. Se encontró que la producción de carne de la pastura permanente fue significativamente menor que la de los otros tratamientos, que no difirieron entre sí. La mayor variación interanual de productividad fue encontrada en los cultivos continuos y la menor sobre rotaciones de pasturas y cultivos.

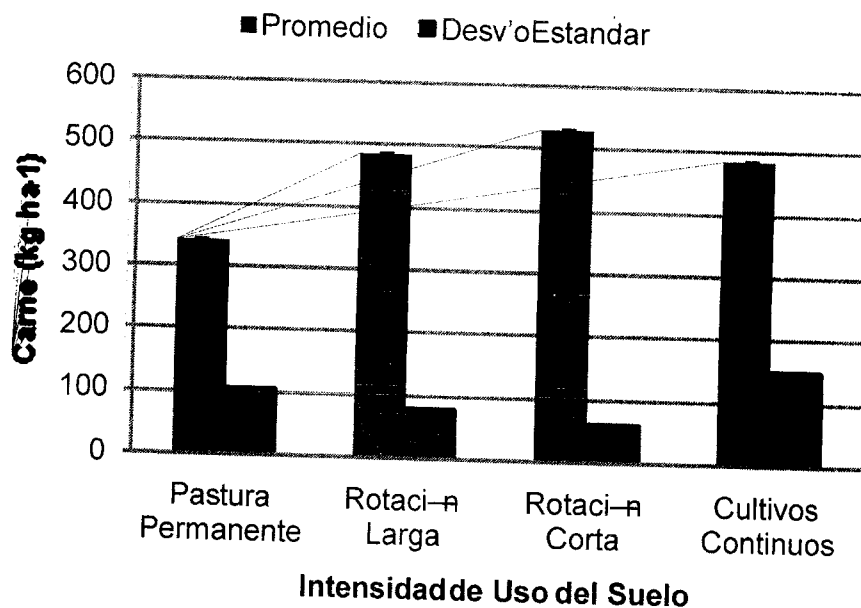


Figura 1. Efecto de cuatro intensidades de uso del suelo para producción de forraje con siembra directa, sobre la producción promedio anual de carne bovina durante 5 años.

Por otro lado se realizó un análisis de margen bruto de cada una de las rotaciones durante el período que considero todos los costos directos además de la mano de obra y toda la producción de carne y eventuales forrajes generados durante el ejercicio a precios corrientes (Figura 2). El mayor margen bruto, con la menor variación interanual fue encontrado en las rotaciones de

PRIMER SIMPOSIO NACIONAL DE AGRICULTURA DE SECANO

cultivos forrajeros y pasturas, mientras que el menor margen con la mayor variación ocurrió en el sistema de cultivos forrajeros continuos. El margen bruto en una situación económica favorable, simulada con un análisis de sensibilidad, fue significativamente menor y más variable en pasturas permanentes que en los otros sistemas. Por otro lado, en una situación económica desfavorable, las pasturas permanentes tuvieron un margen bruto mayor y más variable que las rotaciones cultivo-pastura. Aunque los costos directos de las rotaciones cultivo-pasturas fueron mayores que los de mantener una pastura permanente, no existieron diferencias significativas en la relación costo/beneicio entre las mismas.

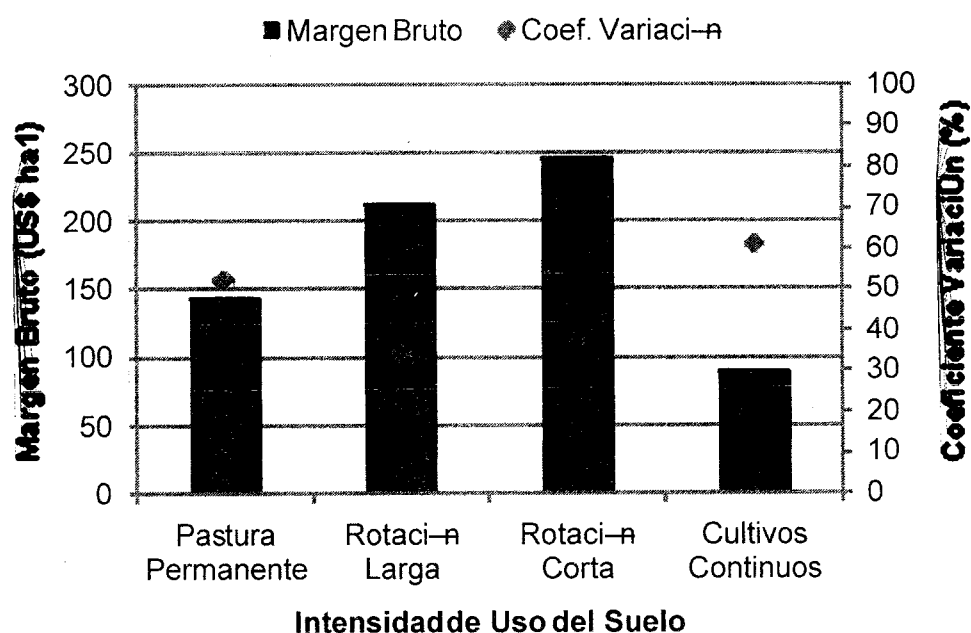


Figura 2. Efecto de cuatro intensidades de uso del suelo para producción de forraje con siembra directa, sobre el margen bruto y su variación interanual evaluada durante 5 años.

Impacto de las rotaciones forrajeras sobre el C orgánico del suelo

El C orgánico es considerado el indicador de calidad de suelos más importante debido a los diversos efectos directos e indirectos que tiene sobre varias funciones básicas del suelo (Doran y Parkin, 1994; Reeves, 1997). Sin embargo, como el C orgánico es relativamente estable en el corto plazo, diversos autores han propuesto al C de la materia orgánica particulada (C-POM, 53-2000 μm) obtenida de procesos de fraccionamiento físicos como un indicador más sensible para

18 Y 19 DE SETIEMBRE 2009 - PAYSANDÚ

detectar efectos de prácticas de manejo en el corto y mediano plazo (Cambardella y Elliot, 1992; Franzluebbbers *et al.*, 2000; Morón, 2003).

En 2003 y 2006 se realizaron muestreos detallados de suelos (0-5, 5-15 cm) en 12 sitios georeferenciados de cada unidad experimental del ensayo de rotaciones y agrupados en 3 posiciones topográficas (alto-ladera-bajo) que fueron tomados como pseudobloques para el análisis estadístico. Las muestras fueron sometidas a un proceso de fraccionamiento físico similar al descrito por (Cambardella y Elliot, 1992) y se determinó C de las fracciones resultantes definidas como C-POM gruesa (200-2000 μm) y fina (53-200 μm) mediante la técnica de Mebius (Nelson y Sommers, 1982).

Los efectos acumulados al 2003 de las distintas intensidades de uso del suelo contrastadas en el experimento fueron publicados por Terra *et al.* (2006) y son resumidos en el cuadro 1 y el cuadro 2. Luego de 8 años, se observó una reducción del 17% del C total del suelo presente de 0-15 cm en la rotación de cultivos forrajeros continuos respecto al promedio de las rotaciones conteniendo pasturas de larga duración. Sin embargo, no se observaron diferencias en el C total o C-POM a esa profundidad entre rotaciones con cualquier proporción de pasturas. Las rotaciones con pasturas de larga duración mostraron un contenido de C total de 0-15 cm similar al del campo natural aledaño (38.2 Mg ha^{-1}). Como se podía esperar, la mayor reducción de C (32%) en el sistema de cultivos continuos respecto a la pastura permanente fue observada en la fracción C-POM (200-2000 μm).

Los mayores efectos de las intensidades de uso del suelo contrastadas sobre el C del suelo ocurrieron en los primeros 5 cm del perfil y en las fracciones de C-POM; sin embargo las tendencias fueron las mismas que las observadas de 0-15 cm. La pastura permanente y la rotación con pasturas largas tuvieron mayor contenido de C-POM fina (74 y 60%, respectivamente) y C-POM gruesa (140 y 107%, respectivamente) que la rotación de cultivos continuos. La información sugiere que un sistema de cultivos forrajeros continuos con alta remoción de biomasa por el pastoreo directo o por las reservas forrajeras, no logra mantener los contenidos de C orgánico respecto a la situación original o a otros sistemas que incluyan pasturas, inclusive en siembra directa. Por otro lado, la misma secuencia de cultivos forrajeros rotando con pasturas cortas o largas logró mantener luego de 8 años el contenido de C orgánico en niveles similares al sistema de pastura permanente.

PRIMER SIMPOSIO NACIONAL DE AGRICULTURA DE SECANO

Cuadro 1. Impacto de la intensidad de uso del suelo sobre el contenido de C orgánico del suelo (0-15-cm) y materia orgánica particulada (C-POM) en un experimento de rotaciones forrajeras en siembra directa localizado en INIA Treinta y Tres (1995-2003). Terra *et al.* (2006)

	Intensidad de Uso del Suelo †			
	Cultivos Continuos	Rotación Corta	Rotación Larga	Pastura Permanente
Fracciones C orgánico	(Mg C ha ⁻¹)			
Total C (<2000 µm)	31,8b‡	35,2ab	37,8a	38,8a
C-POM (2000-200 µm)	5,3b	6,0ab	6,8ab	7,8a
C-POM (200-53 µm)	2,9a	3,7a	4,4a	4,7a
No-C-POM (< 53 µm)	23,6a	25,5a	26,6a	26,3a

† Cultivos continuos (CC): 2 cultivos forrajeros por año; Rotación Corta: 2 años igual que CC y 2 años de pasturas; Rotación Larga: 2 años igual que CC y 4 años de pasturas; Pastura Permanente: mejoramiento sobre campo natural con leguminosas.
‡ Los valores seguidos por la misma letra dentro de la fila no difieren significativamente con $P \leq 0,1$.

Cuadro 2. Impacto de la intensidad de uso del suelo sobre el contenido de C orgánico del suelo (0-5-cm) y materia orgánica particulada (C-POM) en un experimento de rotaciones forrajeras en siembra directa localizado en INIA Treinta y Tres (1995-2003). Terra *et al.* (2006).

	Intensidad de Uso del Suelo †			
	Cultivos Continuos	Rotación Corta	Rotación Larga	Pastura Permanente
Fracciones C orgánico	(Mg C ha ⁻¹)			
Total C (<2000 µm)	15,3b‡	17,9ab	19,0ab	20,8a
C-POM (2000-200 µm)	3,5b	4,6ab	5,6a	6,1a
C-POM (200-53 µm)	1,5b	2,7a	3,1a	3,6a
No-C-POM (< 53 µm)	10,3a	10,5a	10,4a	11,1a

† Cultivos continuos (CC): 2 cultivos forrajeros por año; Rotación Corta: 2 años igual que CC y 2 años de pasturas; Rotación Larga: 2 años igual que CC y 4 años de pasturas; Pastura Permanente: mejoramiento sobre campo natural con leguminosas.
‡ Los valores seguidos por la misma letra dentro de la fila no difieren significativamente con $P \leq 0,1$.

En 2006, se siguió observando un mayor contenido de C orgánico en los sistemas en rotación con pasturas en comparación con el sistema de cultivos continuo (cuadro 3 y cuadro 4). La disminución de C orgánico en la rotación de cultivos continuos respecto a la pastura permanente fue 23% comparado con 18% observado 3 años antes. A diferencia del muestreo de 2003, la reducción de C orgánico en el suelo con cultivos continuos respecto a la rotación con pasturas largas fue verificada en todas las fracciones de C evaluadas.

18 Y 19 DE SETIEMBRE 2009 - PAYSANDÚ

Sin embargo, por primera vez en 11 años se detectó que el contenido de C orgánico del suelo en los primeros 15 cm en las rotaciones cultivo-pastura fue 10% menor respecto al C del suelo bajo pastura permanente (cuadro 3). Este cambio en la tendencia que necesita confirmarse en próximos muestreos, sugiere que tal vez en sistemas agrícola forrajeros de alta extracción de biomasa durante la fase de cultivos, no es posible mantener los niveles de C orgánico, aun en siembra directa y rotando con pasturas, tal como ocurría en las rotaciones cultivo-pasturas con laboreo en el litoral agrícola (Díaz-Roselló, 1992).

Cuadro 3. Impacto de la intensidad de uso del suelo sobre el contenido de C orgánico del suelo (0-15-cm) y materia orgánica particulada (C-POM) en un experimento de rotaciones forrajeras en siembra directa localizado en INIA Treinta y Tres (1995-2006). Carbone *et al.*, (sin publicar)

	Intensidad de Uso del Suelo†				
	Cultivos Continuos	Rotación Corta	Rotación Larga	Pastura Permanente	Campo Referencia
Fracciones C orgánico	(Mg C ha ⁻¹)				
Total C (<2000 µm)	30,0d‡	35,8b	34,5b	39,1a	40,1a
C-POM (2000-200 µm)	4,6c	5,7bc	5,8b	6,8b	8,7a
C-POM (200-53 µm)	3,3c	3,6bc	3,9ab	4,4a	4,3a
No-C-POM (< 53 µm)	22,1c	26,5ab	25,0b	27,8a	27,1a

† Cultivos continuos (CC): 2 cultivos forrajeros por año; Rotación Corta: 2 años igual que CC y 2 años de pasturas; Rotación Larga: 2 años como CC y 4 años de pasturas; Pastura Permanente: mejoramiento sobre campo natural con leguminosas.

‡ Los valores seguidos por la misma letra dentro de la fila no difieren significativamente con $P \leq 0.1$.

PRIMER SIMPOSIO NACIONAL DE AGRICULTURA DE SECANO

Cuadro 4. Impacto de la intensidad de uso del suelo sobre el contenido de C orgánico del suelo (0-5-cm) y materia orgánica particulada (C-POM) en un experimento de rotaciones forrajeras en siembra directa localizado en INIA Treinta y Tres (1995-2006). Carbone *et al.*, (sin publicar)

	Intensidad de Uso del Suelo†				
	Cultivos Continuos	Rotación Corta	Rotación Larga	Pastura Permanente	Campo Referencia
Fracciones C orgánico	(Mg C ha ⁻¹)				
Total C (<2000 µm)	13,8d‡	17,1bc	16,5c	19,9a	20,8a
C-POM (2000-200 µm)	3,3c	4,5b	4,4b	4,9b	6,2a
C-POM (200-53 µm)	2,4c	2,7bc	2,6c	3,4a	3,1ab
No-C-POM (< 53 µm)	8,1b	9,9ab	9,5ab	11,6a	11,5a

† Cultivos continuos (CC): 2 cultivos forrajeros por año; Rotación Corta: 2 años igual que CC y 2 años de pasturas; Rotación Larga: 2 años igual que CC y 4 años de pasturas; Pastura Permanente: mejoramiento sobre campo natural con leguminosas.

‡ Los valores seguidos por la misma letra dentro de la fila no difieren significativamente con $P \leq 0.1$.

Impacto productivo y ambiental de la siembra directa de cultivos forrajeros.

Los experimentos analíticos conducidos los primeros años en el interior del experimento macro fueron diseñados para atender especialmente los problemas de implementación o adaptación de la tecnología de siembra directa en las distintas fases de las rotaciones forrajeras evaluadas. En la fase de pasturas se trabajó en algunas alternativas que brindaban las maquinas de siembra directa y los herbicidas para la instalación y rejuvenecimiento de pasturas (Terra y García-Préchac, 2001).

Productividad de cultivos forrajeros

En la fase de cultivos, las interrogantes fueron planteadas sobre las diferencias de producción de biomasa, respuesta a N, utilización del forraje e impactos sobre el C orgánico del suelo y la erosión hídrica que pudiesen existir entre instalar los cultivos con siembra directa o con laboreo (Terra y García-Préchac, 2001). Entre 1995 y 2000 se instaló un ensayo en la rotación de cultivos continuos (que aún permanece) y otros 6 ensayos (1998, 1999, 2000) durante la fase de cultivos de las rotaciones con pasturas para evaluar el efecto de la intensidad de laboreo y el N sobre estos factores.

En términos productivos, cuando se utilizaron barbechos adecuados, no se observaron diferencias significativas en la producción de forraje entre los verdeos instalados con siembra directa y los instalados con laboreo convencional en el 90% de los casos estudiados (Terra y García-Préchac, 2001). En general, hubo respuesta significativa en producción de biomasa al agregado de N durante el ciclo de los verdeos en ambos sistemas de laboreo que mostraron similares probabilidades de respuesta a los niveles de N-NO₃ presentes en el suelo. Sin embargo, no se detectaron interacciones significativas entre la intensidad de laboreo y las dosis de N. En algunos casos, se encontraron diferencias significativas en la utilización del forraje por los

animales a favor de la siembra directa que estuvieron estrechamente vinculadas al contenido de agua y resistencia a la penetración del suelo.

Impacto de la intensidad de laboreo sobre el contenido de C orgánico y la erosión

Durante dos años se estudió el impacto sobre el C orgánico del suelo que tenía un único laboreo realizado para promover el primer verdeo ubicado a la salida de una fase de pasturas (Terra y García-Préchac, 2002). Aunque al final del ciclo del cultivo se observaron reducciones de C orgánico en las parcelas labreadas respecto a las de siembra directa en ambas rotaciones (cuadro 5), estas diferencias tendieron a desaparecer al final de la fase de cultivos luego de la instalación consecutiva de los otros tres cultivos con siembra directa. Sin embargo, las diferencias en el contenido de C orgánico generado por las distintas intensidades de uso del suelo se mantuvieron durante todo el periodo hasta el retorno a la fase de pasturas de las rotaciones. Los resultados sugieren que en estos sistemas bajo pastoreo, las diferencias generadas por el uso anterior permanecen en el tiempo, al igual que las diferencias entre sistemas de laboreo cuando se realizan cultivos continuos. En cambio, si el uso previo determinó acumulación de C por tratarse de pasturas, la caída inicial de C debida a un laboreo ocasional se atenúa rápidamente si se continúa con siembra directa. Esto confirma que aun en condiciones de siembra directa, en los sistemas de agricultura forrajera con pastoreo directo y alta extracción de biomasa para la generación de reservas es imprescindible la inclusión de pasturas de larga duración en la rotación para mantener los niveles de C del suelo.

Cuadro 5. Efecto de la intensidad de uso del suelo y del sistema de laboreo sobre el contenido de C orgánico luego de cuatro cultivos forrajeros consecutivos.

Sistema Laboreo	Intensidad de Uso del Suelo			Media
	Cultivo Continuo	Rotación Corta	Rotación Larga	
	g kg^{-1}			
Laboreo Reducido	15,6bC†	16,5bB	19,6bA	17,2b
Siembra Directa	16,5aC	18,0aB	21,2aA	18,5a
Media	16,0C	17,3B	20,4A	

† Valores seguidos por una misma letra minúscula en la misma columna no difieren significativamente con $p=0.05$

Valores seguidos por una misma letra Mayúscula en misma la fila no difieren significativamente con $p=0.05$

La siembra de cultivos forrajeros de alta extracción de biomasa, raigrás-avena para pastoreo en rotación con sorgo o moha para heno o silo, en forma continua durante 11 años redujeron drásticamente el contenido original de C orgánico del suelo un 14 y un 31% en siembra directa y laboreo convencional, respectivamente (cuadro 6). Las diferencias de C entre siembra directa y laboreo se dio por igual en todas las fracciones de materia orgánica, incluso en la fracción mas recalcitrante supuestamente mas estable.

PRIMER SIMPOSIO NACIONAL DE AGRICULTURA DE SECANO

Cuadro 6. Efecto de la intensidad de laboreo en una rotación forrajera de doble cultivo anual continuo luego de 11 años de iniciado el experimento.

	Sistema de Laboreo		
	Laboreo Convencional	Laboreo Reducido	Siembra Directa
Fracciones C orgánico	(Mg C ha ⁻¹)		
Total C (<2000 µm)	27,5 b†	28,5 b	33,7 a
C-POM (2000-200 µm)	3,1 ab	2,6 b	3,6 a
C-POM (200-53 µm)	2,1 bc	1,9 b	2,8 a
No-C-POM (< 53 µm)	22,4 b	23,9 b	27,3 a

† Los valores seguidos por la misma letra dentro de la fila no difieren significativamente con $P \leq 0,05$.

La pérdida de suelo cuantificada en parcelas de escurrimiento conteniendo las mismas rotaciones y secuencias del ensayo de larga duración mostraron que el suelo de Alferez sometido a doble cultivo anual con laboreo convencional tuvo una erosión 8.5 veces mayor a registrada en una parcela testigo de campo natural (Figura 3). En cambio, la misma intensidad de cultivos, pero con siembra directa, generó menor erosión que los niveles de tolerancia manejados para este suelo de 7 Mg ha⁻¹ año⁻¹ (García-Préchac, 1992). La combinación de la rotación pastura-cultivo con siembra directa tuvo valores de pérdidas de suelo muy similares a las observadas en campo natural, lo que sumado al mantenimiento del C orgánico, confirma a estos sistemas como claramente sustentables desde el punto de vista de conservación del recurso suelo.

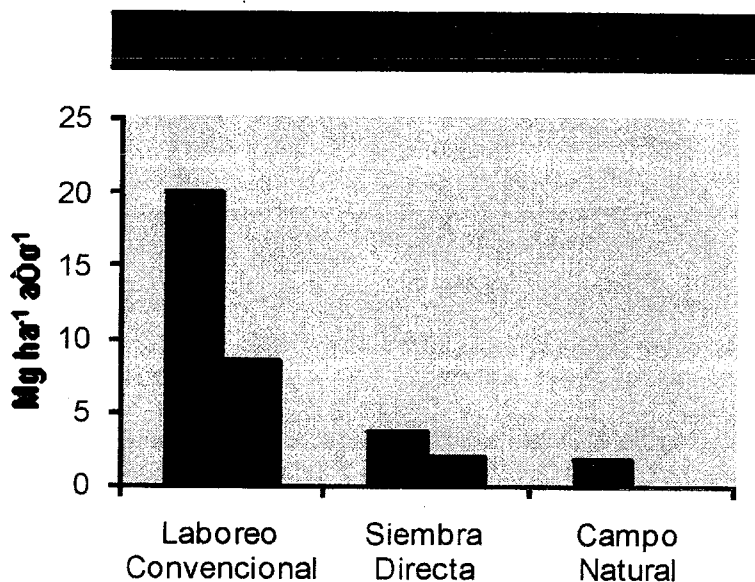


Figura 3. Efecto de la intensidad de uso de suelo y el sistema de laboreo sobre la erosión anual promedio de un Argisol ubicado sobre la unidad Alférez. (Adaptado de Terra y García-Préchac, 2001)

Impacto de la rotación y las practicas de manejo sobre el rendimiento de grano.

A partir de 2005, cada unidad experimental de 6 ha que entraba en la fase de cultivos fue subdividida en dos partes. En una de estas subparcelas se instaló una secuencia raigrás-sorgo-raigrás-soja. Así, cada año hubo dos ensayos sobre una rotación de pasturas cortas (RC) y dos sobre una rotación de pasturas de larga duración (RL), uno conteniendo sorgo y otra soja; al tiempo que otro experimento se ubicó sobre la rotación de cultivos continuos (CC) conteniendo sorgo o soja en años alternados.

Dentro de cada sitio de 3 ha con cultivos de grano (5 en cada zafra) se instaló un ensayo en fajas evaluando 4 manejos de suelos resultantes de un factorial de 2 niveles de rastrojo (alto o bajo) generados por la intensidad de pastoreo invernal en el raigrás previo, y el uso o no de subsolado. Cada uno de los experimentos tuvo 3 bloques y 2 repeticiones por bloque. Las fajas conteniendo los tratamientos fueron de aprox. 100-m de largo y 10-m de ancho y fueron dispuestas al azar en 3 bloques (ladera alta, ladera media y ladera baja). Cada faja fue segmentada en tramos de 20-m (celdas) donde algunos fueron seleccionados para muestro de suelos y plantas. Los análisis de suelo en los sitios de muestreo incluyeron contenido de C orgánico, P (ác.cítrico), K y textura.

La cosecha se realizó a lo largo de cada faja con una cosechadora comercial equipada con GPS y un monitor de rendimiento que generó datos de posición, flujo de grano y humedad cada 2 segundos. Esto permitió generar mapas de rendimiento a lo largo de la pendiente y conocer la variación espacial del mismo. En cada sitio se obtuvo un mapa altimétrico detallado donde se

PRIMER SIMPOSIO NACIONAL DE AGRICULTURA DE SECANO

derivaron atributos topográficos primarios (elevación y pendiente) y secundarios (índice compuesto topográfico) para cada celda. Adicionalmente se obtuvieron mapas de conductividad eléctrica de los suelos mediante un sensor VERIS 3100 a los efectos de mejorar la delimitación de los suelos en el área experimental.

El análisis estadístico de la información fue realizado con modelos mixtos (PROC MIXED en SAS); conteniendo efectos fijos y aleatorios. Para el análisis de los efectos de los tratamientos en el rendimiento se removió la correlación espacial de sus residuales (Littell *et al.*, 1996). Se utilizaron árboles de clasificación y regresión según el método CART (Breiman *et al.*, 1984) para estudiar la importancia relativa de las variables de manejo, propiedades del suelo (C.org, P. cítrico, K, textura, conductividad eléctrica) y condiciones topográficas asociadas al rendimiento de ambos cultivos.

Indicadores de calidad de suelos durante los cultivos graníferos

El contenido de carbono orgánico en el suelo fue siempre superior en las rotaciones con pasturas de larga duración comparado con las rotaciones de mayor intensidad de uso del suelo. El potencial de mineralización de N, que es un indicador de calidad de suelo más sensible que el C orgánico, también fue mayor en los potreros que rotaron con pasturas de larga duración. Esta mejor calidad de suelo constatada en la rotación con pasturas perennes coincide con los resultados previos observados con rotaciones forrajeras en el experimento (Terra *et al.*, 2006). El mayor contenido de P en el suelo en las rotaciones más intensivas era esperable debido a la mayor frecuencia de fertilización fosfatada destinada a los cultivos anuales en la rotación. Si bien los niveles de fósforo en el suelo de las rotaciones con pasturas de larga duración fueron menores, los mismos no fueron limitantes para los. Se observó una tendencia a mayores niveles de P en las posiciones topográficas más elevadas y planas que puede estar relacionada a la variación de rendimiento de los cultivos como se verá más adelante. El contenido de K intercambiable fue bajo en todas las rotaciones y posiciones topográficas determinando la necesidad de agregar fertilizantes en forma generalizada.

Efecto de las prácticas de manejo y la rotación sobre el rendimiento de sorgo

Existieron grandes variaciones de rendimiento de sorgo entre años (cuadro 7), que se ordenaron de acuerdo al régimen pluviométrico de las zafras. Por otro lado, se encontraron diferencias de rendimiento entre rotaciones que no fueron consistentes entre años. En general, se constató que una mejor calidad de suelo en las rotaciones incluyendo pasturas por sí sola no se correlacionó necesariamente con mayores rendimientos de grano de sorgo.

Tanto el volumen de rastrojo generado por el pastoreo invernal, como el uso del subsolado no tuvieron efecto significativos sobre el rendimiento de sorgo a excepción la zafra 2008, donde el subsolado tuvo un efecto positivo en rendimiento de sorgo ($1.45 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$) sobre la pradera de larga duración que presentaba una importante enmalezamiento con gramilla. El sorgo confirmó su carácter de cultivo rústico, con relativamente alta estabilidad de rendimientos y baja respuesta a las prácticas de manejo durante 4 años de ensayos.

Cuadro 7. Efecto de la intensidad de uso del suelo sobre el rendimiento de soja en siembra directa en el experimento de rotaciones de INIA Treinta y Tres.

18 Y 19 DE SETIEMBRE 2009 - PAYSANDÚ

Zafra	Intensidad de Uso del Suelo†			Media
	Cultivos Continuos	Rotación Corta	Rotación Larga	
kg ha ⁻¹				
2005-06	-	2370a	1820b	2095
2006-07	2230a‡	2050b	1570c	1950
2007-08		3490a	3605a	3548
2008-09	3360b	3410ab	3610a	3460

† Cultivos continuos (CC): raigrás-sorgo-raigrás-soja; Rotación Corta: 2 años igual que CC y 2 años de pasturas; Rotación Larga: 2 años como CC y 4 años de pasturas; ‡ Los valores seguidos por la misma letra dentro de la fila no difieren significativamente con $P \leq 0.1$.

Efecto de las prácticas de manejo y la rotación sobre el rendimiento de soja

Se obtuvieron altos rendimientos del cultivo para estos suelos. En las dos últimas zafras promediaron 3505 kg ha⁻¹ que fueron un 80% y un 67% superior al promedio de rendimiento de los ensayos de las zafras 2005-2006 y 2006-2007, respectivamente (cuadro 8).

Las diferencias de productividad entre rotaciones no fueron consistentes entre años, en las primeras dos zafras la productividad sobre pasturas largas, a pesar de la mejor calidad de suelos, fue menor comparada a la de las alternativas más intensivas en el uso del suelo. No se observaron diferencias de productividad entre rotaciones en la zafra 2007-08. En esta zafra existió un claro efecto (de escasa relevancia agronómica) en ambas rotaciones de aumentar el rendimiento de las fajas pastoreadas mediante el uso del subsolado.

En la zafra 2008-09 la productividad en la rotación larga fue un 9% superior a la obtenida en la rotación de cultivos continuos. Esto cambia la tendencia a lo observado en los primeros años en estos ensayos, donde la productividad del sorgo y la soja fueron generalmente menores sobre pasturas de larga duración que en rotaciones más intensivas a pesar de las diferencias en calidad de suelos observada (Pravia *et al.*, 2008).

En la rotación con pasturas largas, la menor productividad fue observada en las fajas sin pastoreo que fue un 9% inferior a los otros tratamientos de manejo. En la rotación con pasturas cortas, las fajas pastoreadas sin subsolado tuvieron un rendimiento 8% inferior al promedio de las fajas sin pastoreo. En la rotación con cultivos continuos las fajas pastoreadas que fueron subsoladas tuvieron un rendimiento 8% superior al promedio de los otros 3 tratamientos. Los trabajos indicaron que la compactación generada por el pastoreo de los verdes de invierno en condiciones controladas y de buen piso, no causa mermas de rendimiento importantes en el cultivo siguiente y que la biomasa de rastrojo de raigrás no tuvo mayor incidencia en la conservación de agua del suelo más allá de las etapas tempranas del cultivo.

Aunque se observó que los tratamientos con subsolado tuvieron una tendencia a mejorar la implantación del cultivo y promover un mayor desarrollo inicial permitiendo mayor extracción de agua en el perfil, el incremento de rendimiento fue muy modesto cuando hubo respuesta. El uso del subolador permitió aumentar un 7% el rendimiento de las parcelas pastoreadas en 3 de los 5 ensayos, superando incluso en dos de estos casos a la productividad de las parcelas no pastoreadas. De todas formas, el impacto productivo de subsolar cuando hubo respuesta fue de solo 230 kg/ha en promedio lo que no justifica su uso.

PRIMER SIMPOSIO NACIONAL DE AGRICULTURA DE SECANO

Cuadro 8. Efecto de la intensidad de uso del suelo sobre el rendimiento de sorgo en siembra directa en el experimento de rotaciones de INIA Treinta y Tres. (Adaptado de Pravia *et al.*, 2008 y Terra *et al.*, 2009)

Zafra	Intensidad de Uso del Suelo†			Media
	Cultivos Continuos	Rotación Corta	Rotación Larga	
kg ha ⁻¹				
2005-06	8600a‡	8120ab	7740b	8150
2006-07	-	4760a	4520a	4640
2007-08	5490b	6760a	5880b	6050
2008-09	-	5325a	5290a	5310

† Cultivos continuos (CC): raigrás-sorgo-raigrás-soja; Rotación Corta: 2 años igual que CC y 2 años de pasturas; Rotación Larga: 2 años como CC y 4 años de pasturas; ‡ Los valores seguidos por la misma letra dentro de la fila no difieren significativamente con $P \leq 0.1$.

Importancia relativa de las prácticas de manejo, la variabilidad temporal y la variabilidad del terreno sobre los rendimientos del sorgo.

El análisis de árbol de regresión indica que la variabilidad temporal fue el principal factor relacionado con la variación del rendimiento del sorgo (Figura 4). En segundo lugar, dentro de una misma zafra, las propiedades del suelo y del terreno fueron los factores más importantes. Estos resultados coinciden con los reportados en otras regiones, donde atributos del terreno como pendiente y acumulación de agua de escurrimiento se han visto afectando el rendimiento de cultivos particularmente bajo condiciones de bajas precipitaciones (Kravchenko y Bullock, 2000). En tercer lugar, aparecen las rotaciones afectando el rendimiento. Sin embargo, este efecto no fue consistente, ya que los rendimientos más altos no se encontraron todas las zafras sobre las mismas rotaciones, y por lo tanto existió interacción de la variabilidad temporal y el efecto de estas variables de manejo. En este caso, el efecto de variables de manejo como la rotación ocurrió dentro de un marco de condiciones impuestas por el ambiente productivo determinado por el clima y suelo.

18 Y 19 DE SETIEMBRE 2009 - PAYSANDÚ

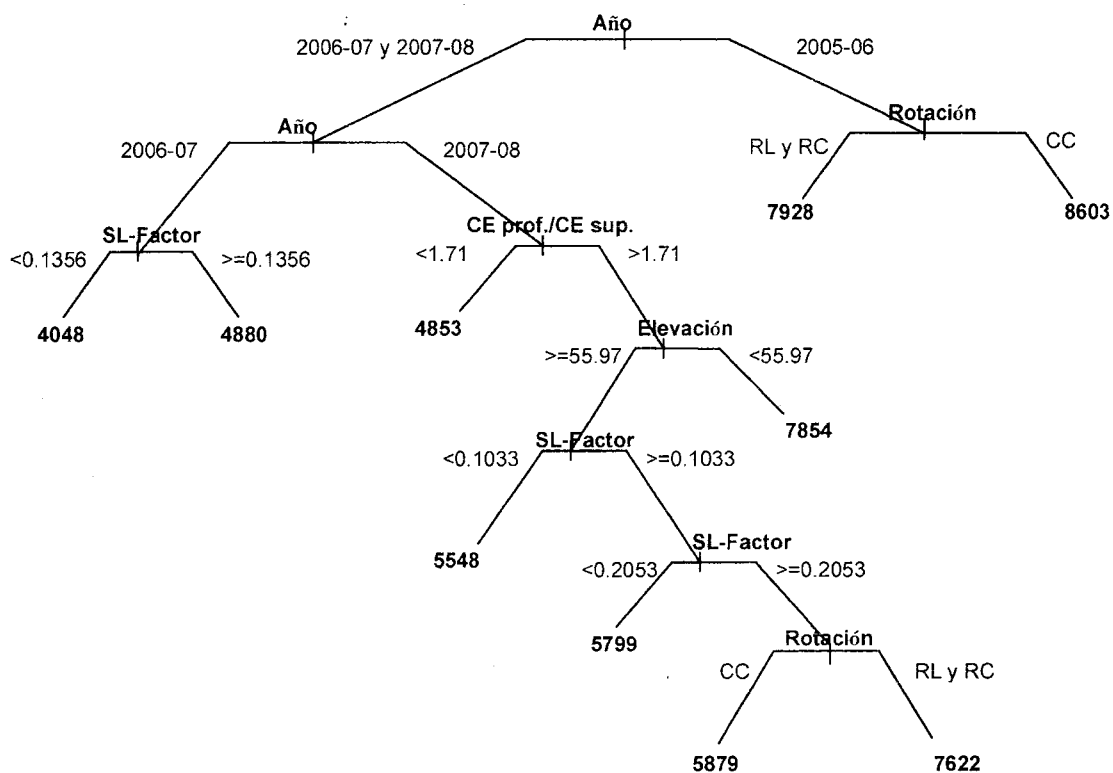


Figura 4. Árbol de clasificación y regresión (CART) para el rendimiento de sorgo en 3 zafras tomando en cuenta las practicas de manejo, la rotación, la variabilidad ambiental entre años y la variabilidad de atributos edáficos y topográficos de los sitios experimentales.

Importancia relativa de las prácticas de manejo, la variabilidad temporal y la variabilidad del terreno sobre los rendimientos de soja.

La variabilidad temporal fue el principal factor determinante del rendimiento de soja (Figura 5). El efecto año fue lo que más afectó el rendimiento de soja en comparación con el efecto de rotación, manejo de suelo (subsulado y manejo del pastoreo), y variables del suelo y del terreno. En segundo lugar, para la zafra 2006-07 donde los rendimientos fueron menores, asociadas a un verano muy seco, la textura del suelo fue determinante. Sitios con menor contenido de arena y mayor contenido de arcilla presentes principalmente en la chacra de la rotación larga, afectaron negativamente el rendimiento de soja.

PRIMER SIMPOSIO NACIONAL DE AGRICULTURA DE SECANO

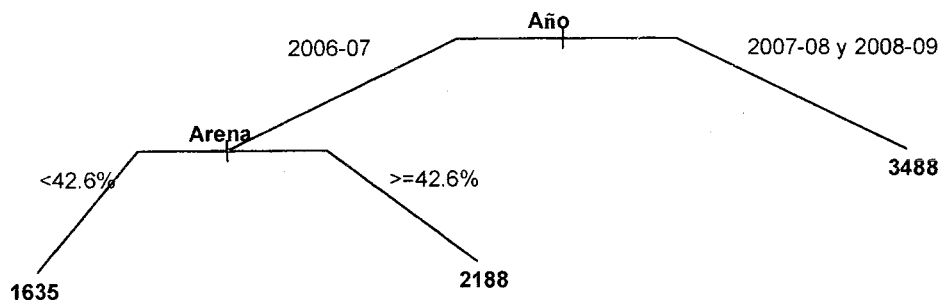


Figura 5. Árbol de clasificación y regresión (CART) para el rendimiento de soja en tres zafras tomando en cuenta las practicas de manejo, la rotación, la variabilidad ambiental entre años y la variabilidad de atributos edáficos y topográficos de los sitios experimentales.

Por otro lado, el análisis con la misma metodología de los 2 años de mayor rendimiento (Figura 6) indican que los atributos de terreno asociados con el movimiento de agua sobre el suelo fueron el factor más importante en separar altos de bajos rendimientos. Dentro de los rendimientos altos, la conductividad eléctrica del suelo en el horizonte b, posiblemente asociada a la diferenciación textural del suelo, separó rendimientos altos de rendimientos excelentes.

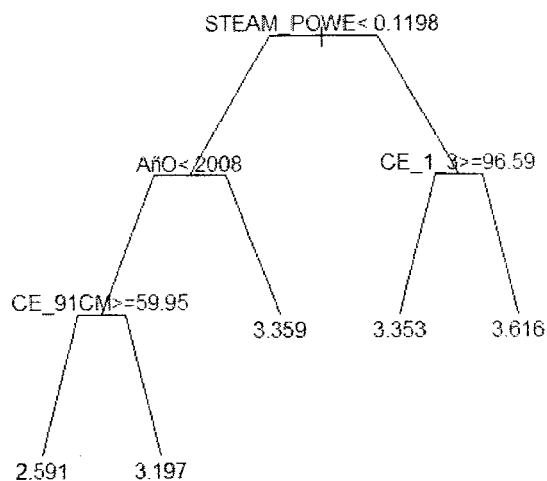


Figura 6. Árbol de clasificación y regresión (CART) para el rendimiento de soja en tres zafras tomando en cuenta las practicas de manejo, la rotación, la variabilidad ambiental entre años y la variabilidad de atributos edáficos y topográficos de los sitios experimentales.

CONSIDERACIONES FINALES

A casi 15 años de instalado el experimento de rotaciones se ha generado valiosa información que indican que es posible intensificar el uso sustentable de estos suelos mediante la tecnología de siembra directa tanto en sistemas de producción animal como en sistemas de rotaciones que incorporen la producción de grano. En ambos casos, la rotación con pasturas, aunque sean de corta duración parece ineludible para mantener la capacidad productiva de estos suelos.

Luego de cuatro años contrastantes en términos climáticos, la secuencia sorgo-soja mostró ser una alternativa viable y estable para su inclusión en sistemas de rotaciones de intensificación variable con siembra directa en los suelos de lomadas. Los rendimientos promedio de sorgo y soja en los últimos 4 años en los ensayos de rotaciones a escala de chacra fueron de 6000 y 2770 kg/ha respectivamente. Si bien la soja tuvo una alta respuesta productiva ante ambientes favorables como los ocurridos en las ultimas dos zafras con rendimientos del orden de 3500 kg/ha, ante años climáticas complicados como en 2006-07, se pudieron obtener rendimientos aceptables en el orden de 2100 kg/ha.

A diferencia del sorgo, la soja fue ligeramente afectada en algunas situaciones por el pastoreo del raigrás que le precedió. El hecho que los efectos negativos hayan sido esporádicos, de escasa magnitud y que hayan ocurrido solo en años climáticamente favorables, relativiza al pisoteo animal como un factor de compactación importante y a la biomasa de rastrojo como un factor relevante en la dinámica de agua más allá de las etapas iniciales del cultivo. Si bien el subsolado logró mitigar el efecto negativo del pisoteo cuando se constató, el escaso impacto sobre el rendimiento de ambos y el costo operativo no justificaría su uso mas allá de situaciones complejas constatadas eventualmente a la salida de praderas degradadas.

El análisis de los efectos de los tratamientos en zonas de distinta productividad aparece como una cuestión relevante con el avance de las tecnologías de la agricultura de precisión. Es indudable que con el avance de las tecnologías de la información y los sistemas de geoposicionamiento el manejo sitio específico de suelos y cultivos esta al alcance de la mano.

Es necesario perseverar en la búsqueda de alternativas sustentables de rotación para el cultivo de soja en la región que incluyan cultivos de alta producción de rastrojos de lenta descomposición como el sorgo o el trigo y en la integración de estos cultivos a sistemas de rotación con pasturas, al menos de corta duración, para mantener la capacidad productiva y calidad del suelo en el mediano y largo plazo.

PRIMER SIMPOSIO NACIONAL DE AGRICULTURA DE SECANO

BIBLIOGRAFÍA

- Breiman, L.; Friedman, J.H.; Olhson, R.A.; Stone, C.J. 1984. Classification and Regression Trees. Chapman & Hall, Inc. New York, NY. 358p.
- Cambardella, C.A.; Elliot, E.T. 1992. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:777-783.
- Christensen, B.T., 2001. Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover. *European J. Soil Sci.* 52:345-353.
- Díaz-Roselló, R. M., 1992. Evolución de la materia orgánica en rotaciones de cultivos con pasturas. *INIA, Investigaciones Agronómicas 1(I):103-110.*
- Doran, J. y Parkin, T. 1994. Defining and assessing soil quality. In: Defining soil quality for a sustainable environment. *SSSA Special Publication 35.*
- Durán, A.; García Préchac, F. 2007a. Suelos del Uruguay, Origen, Clasificación, Manejo y Conservación - Tomo I.. Montevideo, Buenos Aires, Hemisferio Sur, p. 334.
- Durán, A.; García Préchac, F. 2007b. Suelos del Uruguay, Origen, Clasificación, Manejo y Conservación - Tomo II. Montevideo, Buenos Aires, Hemisferio Sur, p. 358.
- García Préchac, F. 1992. Guía para la toma de decisiones en conservación de suelos, 3ra. Aproximación. *INIA, Serie Técnica 26.* p. 63.
- García-Préchac, F.; Ernst, O.R.; Siri-Prieto, G.C.; Terra, J.A. 2004. Integrating no-till in livestock/crop-pastures rotations in Uruguay. *Soil Tillage Research.* 77:1-13.
- Franzluebbers, A.J.; Stuedemann, J.A.; Schomberg, H.H.; Wilkinson, S.R., 2000. Soil organic C and N pools under long-term pasture management in the Southern Piedmont USA. *Soil Biol. Biochem.* 32:469-478.
- Kravchenko, A.N.; Bullock, D.G., 2000. Correlation of corn and soybean grain yield with topography and soil properties. *Agron. J.* 92:75-83.
- Littell, R.C.; Milliken, G.A. Stroup, W.W ; Wolfinger, R.D. 1996. SAS system for mixed models. SAS Institute, Cary, NC, 633pp.
- Mallarino, A.P.; Oyarzabal, E.S.; Hinz, P.N. 1999. Interpreting within-field relationships between crops yields and soil and plant variables using factor analysis. *Precis. Agric.* 1:15-25.
- Mallarino, A., Bermudez, M., Wittry, D.J. ; Hinz, P.N., 2000. Alternative data managements and interpretations for strip trials harvested with yield monitors. In P.C. Robert *et al.* (ed.) Precision Agriculture [CD-ROM] Proc. Int. Conf., 5th, Bloomington, MN. 16-19 July 2000. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.
- Morón, A.; Sawchik, J. 2002. Soil quality indicators in a long-term crop pasture rotation experiment in Uruguay. In: 17th World Congress of Soil Science, 14-21 Aug. 2002. Thailand.
- Morón, A. 2007. El aporte de N vía fijación biológica en el cultivo de soja. In: Seminario Internacional de nutrición vegetal. Criterios para la fertilización de cultivos y pasturas, Mayo 2007, Paysandú.

- Nelson, D.W, Sommers, L.E., 1982. Total carbon, organic, and organic matter. In: A.L. Page (Ed), *Methods of Soil Analysis, Part 2, Agronomy No.9, Am. Soc.Agron., Madison, WI*, pp. 539-579.
- Pravia, M.V.; Terra, J.A.; Roel, A.; Correa, J.M. 2009. Impacto de la intensidad de uso del suelo sobre la productividad del cultivo de sorgo en lomadas del Este. *INIA-Serie Actividades de Difusión*. 538: 7-22.
- Reeves, D.W. 1997. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil Tillage Res.* 43:131-167.
- Terra, J.; García-Préchac, F. 2001. Siembra directa y rotaciones forrajeras en las lomadas del Este: Síntesis 1995-2000. *INIA, Serie Técnica* 125.
- Terra, J.A.; García-Préchac, F. 2002. Soil organic carbon content of a Typic Argiudol in Uruguay under forage crops and pastures for direct grazing: Effect of tillage intensity and rotation system. In: E. Van Santen (ed.) *Proc. 25th Annual Southern Conservation Tillage Conference for Sustainable Agriculture*. 24-26 June 2002, Auburn, AL. pp. 70-73.
- Terra, J.A., Shaw, J.N.; Reeves, D.W.; Raper, R.L.; van Santen, E.; Schwab E.B.; Mask. P.L. 2006. Soil management and landscape variability affects field-scale cotton productivity. *Soil Science Society of America Journal*. 70:98-107.
- Terra, J.A.; García-Préchac, F.; Salvo, L.; Hernández, J. 2006. Soil use intensity impacts on total and particulate soil organic matter in no-till crop-pasture rotations under direct grazing. In: *Soil Management for Sustainability*. – (Horn R., H. Fleige, S., Peth, and X. Peng (editors). *Advances in GeoEcology* 38: 233-241.
- Terra, J.A.; Pravia, M.V.; Roel, A.; Correa, J.M. 2009. Impacto de la intensidad de uso del suelo sobre la productividad del cultivo de soja en lomadas del Este. *INIA-Serie Actividades de Difusión*. 580: 1-18.