

IMPACTO DE LA INTENSIDAD DE USO DEL SUELO SOBRE LOS CULTIVOS DE SORGO Y SOJA A ESCALA DE CHACRA EN LOMADAS DEL ESTE

Virginia Pravia¹, José Terra², Álvaro Roel³ y José Correa⁴

INTRODUCCIÓN

En los últimos años la agricultura en el Uruguay ha sufrido un proceso de crecimiento y expansión muy importantes. La consolidación de tecnologías de producción como la siembra directa, los transgénicos, y cambios en los escenarios de precios junto con políticas regionales han determinado un sólido crecimiento del área sembrada de cultivos de verano. Desde el año 2000, el área de soja y sorgo creció en su conjunto cerca de 10 veces. En números redondos, el área de sorgo se encuentra en el doble del valor promedio de los últimos años, mientras que la soja lleva 30 veces aumentada la superficie que se manejaba en aquel entonces (DIEA, 2006). Este fuerte crecimiento ha llevado a la expansión del área de siembra a zonas no tradicionalmente agrícolas, donde los suelos tienen mayores limitantes para la producción de cultivos de grano.

Estas zonas hasta ahora marginales para la producción de cultivos de verano en seco, como los argisoles del Este, cuentan con escasa información acerca de la producción sostenible de estos cultivos en sistemas de siembra directa. Las limitantes más importantes del suelo consisten en su mayor riesgo de erosión y de sequía, y limitantes de drenaje. Las prácticas de manejo de suelo deben tener en cuenta estas limitantes, apuntando hacia una mayor conservación del agua del suelo y de exploración radicular de los cultivos en profundidad.

El principal factor que define el crecimiento de los cultivos es la disponibilidad de agua del suelo, que resulta de la interacción entre las propiedades físicas del suelo, el comportamiento de clima y la topografía del terreno. La variabilidad del suelo y del terreno es por tanto uno de los factores más importantes que deberían tenerse en cuenta al estudiar las prácticas de manejo del suelo. Aunque esto es científicamente aceptado, la investigación raramente ha abordado el estudio de esta variabilidad aunque hoy existen herramientas para hacerlo. Mediante el uso de cosechadoras equipadas con monitor de rendimiento y GPS pueden realizarse ensayos donde las evaluaciones se realicen en fajas a través de todo el terreno, que a diferencia de los ensayos parcelarios tienen la capacidad de captar esta variabilidad y estudiar su interacción con las prácticas de manejo.

El objetivo de este trabajo es determinar el efecto relativo e interactivo a escala de chacra de algunas prácticas de manejo de suelos con la variación espacial de los suelos sobre la productividad de los cultivos de sorgo y soja en suelos de la unidad Alférez sometidos a diferentes intensidades de uso en siembra directa.

¹ Ing. Agr., Programa Producción y Sustentabilidad Ambiental

² Ing. Agr., Ph.D. Programa Producción y Sustentabilidad Ambiental

³ Ing. Agr., Ph.D. Programa Producción y Sustentabilidad Ambiental, Director Regional

⁴ Téc. Agr., Programa Producción y Sustentabilidad Ambiental

Los trabajos se centran en una secuencia sorgo-soja rotando con pasturas anuales o plurianuales priorizando tres aspectos básicos. Primero, la integración de estos cultivos en sistemas de producción en siembra directa que incluyan la rotación con pasturas. Segundo, la búsqueda de prácticas de manejo en siembra directa que maximicen la disponibilidad de agua para el cultivo como principal factor limitante del rendimiento y que minimicen los efectos negativos del pastoreo animal (compactación y retorno rastrojo). Finalmente, en el estudio de la interacción entre estas prácticas de manejo y la variabilidad espacial del terreno sobre la productividad y variación espacial de los cultivos y las propiedades dinámicas de los suelos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los estudios fueron realizados dentro del experimento de rotaciones de la UEPP que evalúa desde 1995, cuatro intensidades de uso del suelo con siembra directa contrastando en la proporción de pasturas perennes en la rotación respecto a la de cultivos anuales.

La mitad de cada potrero de 6 ha en la fase de la rotación correspondiente a cultivos se siembra con cultivos graníferos basados en una secuencia Sorgo-Soja y pasturas anuales y/o perennes dependiendo de la rotación. De esta forma, cada año existen dos experimentos en fajas sobre una rotación de pasturas cortas (RC) y dos experimentos sobre una rotación de pasturas de larga duración (RL), uno conteniendo sorgo y otro soja; al tiempo que otro experimento se encuentra sobre una rotación de cultivos continuos (CC) conteniendo sorgo o soja.

Dentro de cada potrero de 3 ha con cultivos de verano (5 cada año) se instaló un ensayo en fajas que evalúa 4 tratamientos de manejo de suelos resultantes de la combinación de 2 niveles de rastrojo (alto o bajo) generados por menor y mayor intensidad de pastoreo invernal, y el uso o no de subsolado. Cada uno de los experimentos consta de 3 bloques y 2 repeticiones por bloque. Las fajas en las que se realizan los tratamientos son de aprox. 100-m de largo y 7-10-m de ancho y están dispuestas a favor de la pendiente, interceptando la máxima variación del terreno posible.

Mediciones

Las variables medidas en cada faja fueron las siguientes:

- Biomasa seca de rastrojo al inicio de barbecho (aplicación de glifosato).
- Población de plantas por unidad de superficie.
- Estimación del contenido de clorofila.
- Número de panojas por unidad de superficie.
- Evolución de la altura de las plantas a lo largo del ciclo.
- Estado fisiológico.
- Evolución del contenido de agua del suelo por muestreo y sonda de neutrones.
- Rendimiento en grano.

Se utilizó una cosechadora equipada con monitor de rendimiento y GPS para la cosecha de las fajas permitiendo conocer el efecto del tratamiento a escala de chacra y también la variación espacial de rendimientos a través del terreno.

I. SORGO

Los ensayos de sorgo se sembraron en 2 situaciones de chacra, generadas por 2 rotaciones en siembra directa desde 1995, con diferentes intensidades de uso del suelo:

a) Rotación Corta: 2 años de doble cultivo anual, forrajero en invierno y granífero en verano y 2 años de pasturas. Antecesoros inmediatos: trébol rojo + raigrás (2004-2005) – raigrás (2006).

b) Rotación Larga: 2 años de doble cultivo anual, forrajero en invierno y granífero en verano y 4 años de pasturas. Antecesoros inmediatos: trébol blanco + lotus + festuca (2002-2005) – raigrás (2006).

Se aplicaron los siguientes tratamientos en fajas (Figura 1):

- 1) Pastoreo Invernal Restringido (retiro animales 24/08, 4 semanas antes de la primera aplicación de glifosato).
- 2) Pastoreo Invernal Restringido + Subsulado
- 3) Pastoreo Invernal (retiro de animales 21/09, semana previa a la aplicación de glifosato).
- 4) Pastoreo Invernal + Subsulado

Número de Bloques: 3 (ladera alta, ladera media y ladera baja), 2 repeticiones/bloque.

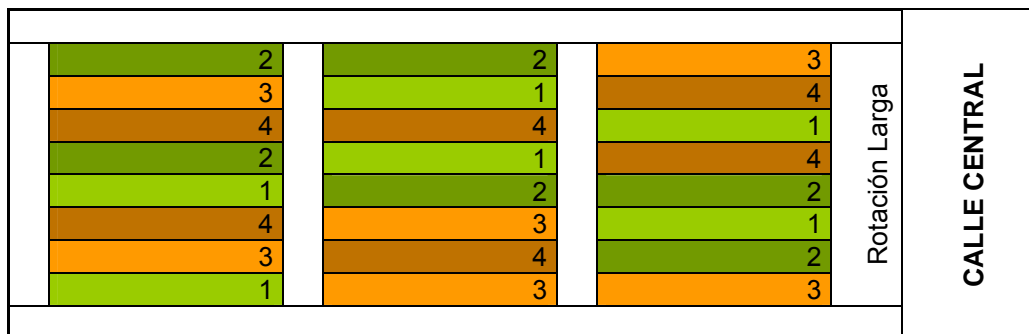


Figura 1. Esquema de una de las chacras de sorgo conteniendo en tres bloques los 4 tratamientos en fajas.

El barbecho sobre raigrás se inició el 25 de setiembre, con la aplicación de 5 litros de glifosato, realizándose una segunda aplicación antes de la siembra del 15 de noviembre según se detalla en el cuadro 1, donde se presenta el manejo agronómico del cultivo.

Cuadro 1. Manejo agronómico del cultivo de sorgo.

Fecha	Actividad	Producto	N. comercial	Dosis /ha
25/09/2006	Pulverización	Glifosato	Rango®	5 L
		Auxiliar	Hyspray	250 cc
02/10/2006	Pulverización	Dicamba	Dombel®	330 cc
		2-4D		1 L
13/11/2006	Pulverización	Glifosato	Rango®	3,3 L
		Atrazina 90%	Gesaprim®	1,5 kg
		Metholaclor	Dual Gold®	1 L
		Auxiliar	Hyspray	150 cc
14 y 15/11/06	Subsolado Siembra	Sorgo grano	DK39	9 kg
		Curasemilla	Conceplll Gavilan	40 cc/100kg 500cc/100kg
	Fertilización	18-46-46-0	Maccio	120 kg
16/12/2006	Fertilización	Urea		100 kg
15/12/2006	Pulverización	Insecticida	Intrepid	200 cc
20/04/2007	Cosecha			

El análisis estadístico de la información fue realizado con modelos mixtos (PROC MIXED en SAS), conteniendo efectos fijos y aleatorios. Se tomaron como efectos fijos los efectos de tratamientos, y los bloques y sus interacciones fueron considerados aleatorios. Para determinar la significancia estadística de los efectos fijos se utilizó un test de F con $p < 0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Condiciones climáticas

En el año 2006 las precipitaciones no cubrieron la demanda atmosférica desde el mes de setiembre (Figura 2), un mes antes que en el promedio de la serie (Figura 3), alcanzando una diferencia mayor en la zafra 2006-2007. Esta brecha se volvió más importante desde mediados de diciembre hasta mediados de febrero, donde el agua almacenada en el suelo estuvo cerca del punto de marchitez permanente en los primeros 30 cm de profundidad (Figura 4). Por lo tanto, el agua disponible para el cultivo fue escasa en profundidad y prácticamente nula en superficie. Estas condiciones sucedieron luego del estado de 6 hojas (V6, Vanderlip, 1993), coincidiendo con las etapas críticas del cultivo, (floración y llenado de grano), lo que limitó el rendimiento del cultivo.

Esta situación fue contraria a la ocurrida en la zafra pasada (Figura 5), donde la demanda atmosférica durante las primeras etapas del cultivo pudo ser cubierta por el almacenaje de agua del suelo recargado durante el barbecho, mientras que durante el período crítico del cultivo las precipitaciones fueron suficientes, obteniéndose un muy buen rendimiento en grano en la cosecha 2006.

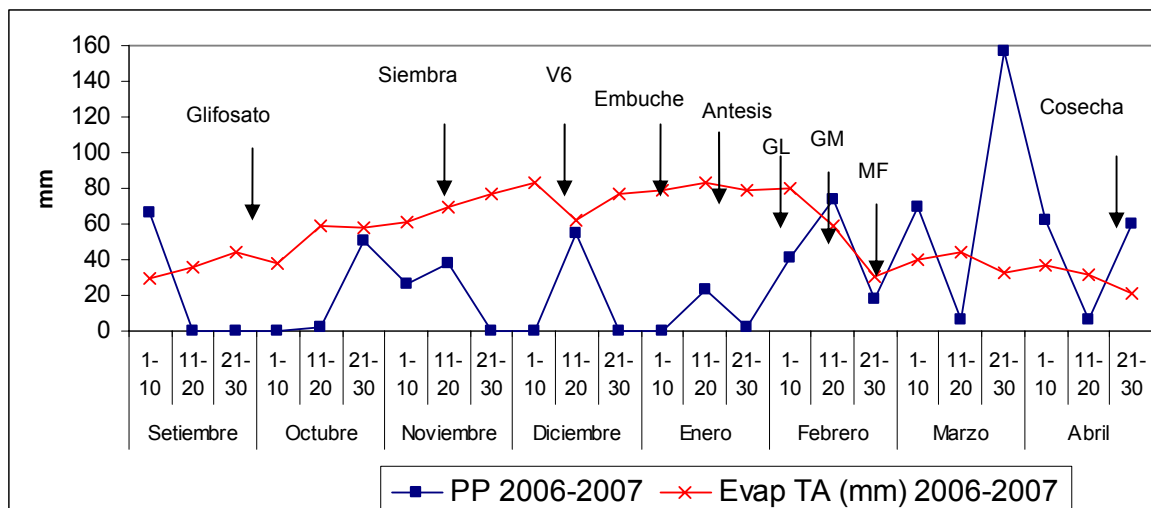


Figura 2. Precipitaciones y evaporación medida en tanque A decádicas (mm) durante el período de los cultivos, desde inicio del barbecho con aplicación de glifosato y durante la etapa del cultivo hasta la cosecha (20 abril 2007).

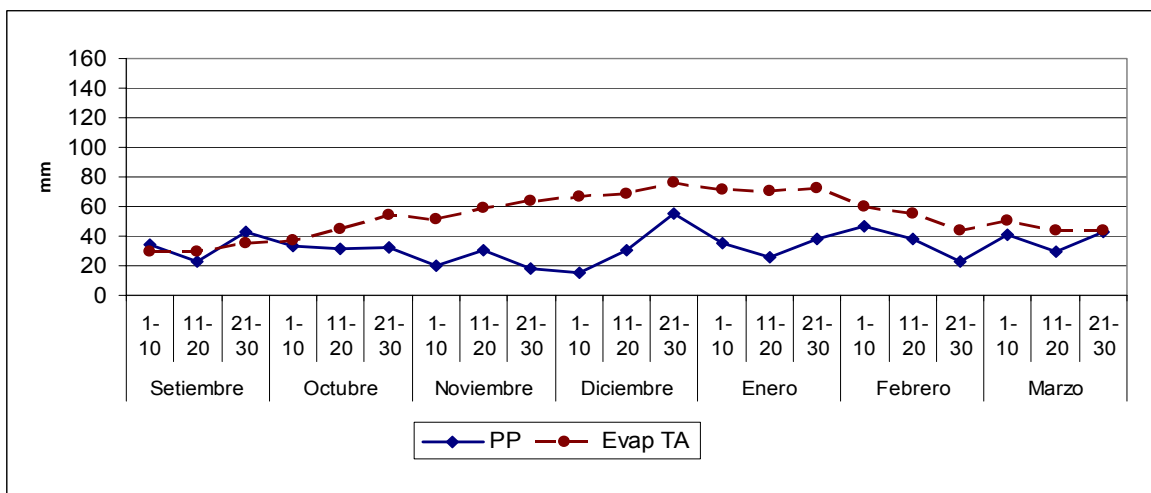


Figura 3. Precipitaciones y evaporación medida en el tanque A de la serie 1991 hasta 2007, desde setiembre hasta abril.

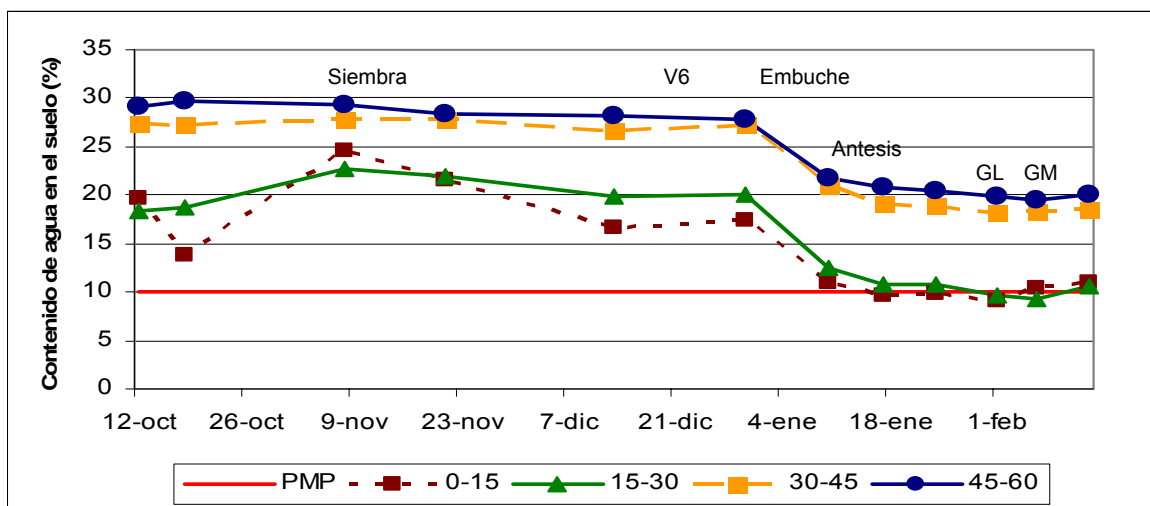


Figura 4. Contenido de agua gravimétrico del suelo a distintas profundidades (cm) mostrando el estado fenológico del cultivo de sorgo durante el mismo período y punto de marchitez permanente (PMP).

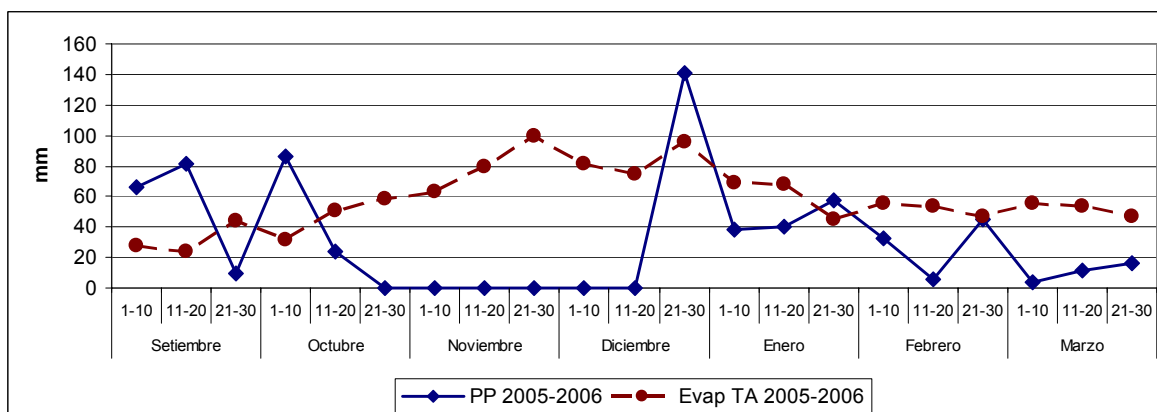


Figura 5. Precipitaciones y evaporación medida en el tanque A (en mm) durante el período de los cultivos, desde setiembre 2005 hasta abril 2006.

Análisis de suelo

El análisis de suelo previo a la siembra (Cuadro 2) mostró que contrariamente a lo esperado, los niveles de nutrientes en la rotación corta fueron iguales o superiores a los de la rotación larga. El caso del potencial de mineralización de nitrógeno (PMN), los niveles en la rotación corta fueron superiores en todos los bloques, mientras que en fósforo y potasio se alternaron. En teoría un mayor largo de pradera debería implicar mayor tiempo de acumulación de materia orgánica de fácil descomposición y por ende un mayor potencial de aporte de nitrógeno a través de la mineralización de dicha materia orgánica. Sin embargo, esto depende no solo del tiempo que haya estado presente la pradera, sino también de la cantidad de biomasa que haya producido y de su composición botánica.

Cuadro 2. Análisis de suelo realizados previamente a la siembra de sorgo para cada rotación y bloque.

Bloque	P Citrico (ppm)		K (meq/100g)		PMN N-NH ₄ (mg/Kg)	
	RL	RC	RL	RC	RL	RC
Zona Alta	14,7	18,2	0,23	0,26	22	53
Ladera media	12,9	13,7	0,23	0,24	31	34
Ladera baja	15,7	11,1	0,22	0,22	32	42

Referencias: RL rotación larga, RC rotación corta

Nivel de rastrojo

Las diferencias en el nivel de rastrojo generadas con las distintas intensidades de pastoreo que se implementaron en el raigrás precedente al cultivo de sorgo fueron estadísticamente significativas ($p < 0.0001$) (Cuadro 3). Las fajas pastoreadas hasta la semana previa a la aplicación del glifosato dejaron una masa de rastrojo sobre el suelo 56% inferior que aquellos tratamientos que tuvieron un mes de descanso previo a la aplicación. Por otro lado, se constató un 46% más de biomasa de rastrojo en los tratamientos ubicados sobre la pradera de larga duración ($p < 0.0001$), comparados con los ubicados sobre pradera de corta duración.

Cuadro 3. Efecto de la intensidad de uso del suelo (rotación) sobre el nivel de rastrojo medido como kg/ha de MS al inicio del barbecho químico según manejo de pastoreo invern

Tratamiento	ROTACIÓN		Media
	Larga	Corta	
	kg/ha MS		
Pastoreo restringido +Subsolado	4681 a	3286 a	3983 a
Pastoreo restringido	4769 a	2808 a	3789 a
Pastoreo intensivo +Subsolado	2025 b	1541 b	1783 b
Pastoreo intensivo	1838 b	1481 b	1660 b
Media	3328 A	2279 B	

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

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

Stand de plantas

La población de 225417 plantas/ha lograda en el cultivo de sorgo sobre la rotación larga estuvo en el entorno de la que se utiliza en los ensayos de evaluación de cultivares de INIA - INASE (230000 pl/ha), mientras que en la rotación corta el nivel de plantas obtenido de 200208 pl/ha fue estadísticamente menor ($p < 0.01$).

Esto pudo deberse a una mayor presencia de malezas en la rotación corta ($p < 0.001$), principalmente digitaria, que a pesar de haberse controlado con herbicida tuvo emergencias posteriores al período de residualidad del metolaclor debido a una alta infestación sobre la rotación corta. Por otro lado, no se detectaron diferencias estadísticas en la implantación debidas a la intensidad de pastoreo o subsolado, a pesar de notarse algunas tendencias a favor de los tratamientos subsolados (Cuadro 4).

Cuadro 4. Efecto de la intensidad de uso del suelo (rotación) sobre la población lograda (n° plantas/ha) en el cultivo de sorgo según manejo de pastoreo invernal y el uso o no de subsolado.

Tratamiento	ROTACIÓN		Media
	Rotación Larga	Rotación Corta	
	N° plantas/ha		
Pastoreo restringido + Subsulado	237083	210625	223854
Pastoreo intensivo + Subsulado	237917	200417	219167
Pastoreo restringido	213542	197083	205313
Pastoreo intensivo	213125	192708	202917
Media	225417 A	200208 B	

Valores seguidos por una misma letra mayúscula en misma la fila no difieren significativamente con $p=0.005$

Nivel de clorofila (SPAD)

El nivel nutricional del cultivo medido al estado de hoja bandera-embuche a través del nivel de clorofila (SPAD) en la hoja bandera no mostró diferencias entre tratamientos de subsolado o pastoreo, pero mostró efectos de intensidad de uso del suelo ($p=0.01$) a favor de la rotación corta (Cuadro 5). Estos datos son coincidentes con los obtenidos en los análisis de suelo, que mostraban un potencial de mineralización de nitrógeno mayor en la rotación corta (Cuadro 2).

Cuadro 5. Efecto de la intensidad de uso del suelo (rotación) en el estado nutricional del cultivo al estado de embuche, medido como SPAD según manejo de pastoreo invernal y uso o no de subsolado.

Manejo de pastoreo – suelo	Rotación		Media
	Larga	Corta	
	SPAD		
Pastoreo restringido + Subsulado	42.6	45.5	44.0
Pastoreo restringido	42.8	45.3	44.1
Pastoreo intensivo + Subsulado	42.9	44.0	43.5
Pastoreo intensivo	41.3	45.4	43.4
Media	42.4 A	45.1 B	

Valores seguidos por letras mayúsculas distintas en misma la fila difieren significativamente ($p=0.05$).

Los niveles reportados en la literatura como críticos para suficiencia de nitrógeno en maíz son lecturas de SPAD de 56 (Novoa y Villagrán, 2002). Si usamos este criterio salvando las diferencias entre especies, el sorgo se encontraría en niveles aún deficientes. Cabe señalar que al momento de la medición de SPAD, el contenido de agua del suelo en los primeros 15 cm de profundidad se encontraba en el punto de marchitez permanente, y hasta 30 cm el agua disponible era muy escasa (Figura 4).

Este podría haber sido un factor limitante para la absorción del nitrógeno agregado al estado de V6. Además el cultivo en la rotación corta tuvo una población de plantas algo menor, por lo cual la competencia por agua sería menos importante que en el caso de la rotación larga, y la absorción de nitrógeno no se vería entonces tan afectada.

El mayor número de plantas en la rotación larga determinó una mayor extracción de agua en las etapas tempranas del cultivo, llegando al momento crítico del cultivo con un menor contenido de agua en el suelo (Figura 7).

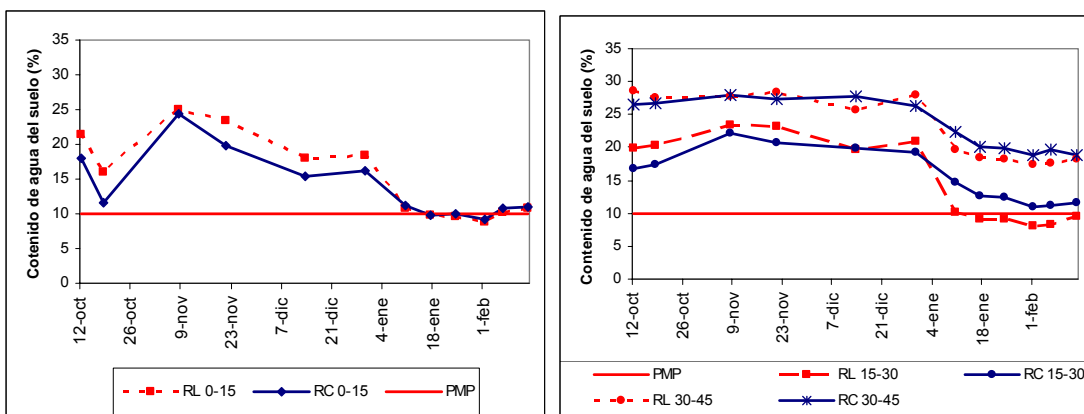


Figura 7. Evolución del contenido de agua en el suelo hasta 60 cm de profundidad y punto de marchitez permanente (PMP) expresados como contenido gravimétrico según rotación. A la izquierda se representa el tramo de 0 a 15 cm, y a la derecha los dos tramos de 15-30 y de 45-60 cm de profundidad de suelo.

Altura de planta

En las primeras etapas del cultivo se notó un mayor crecimiento en altura del sorgo en los tratamientos que habían sido subsolados, aunque estas diferencias solo se hicieron presentes en la chacra de la rotación corta, y luego se diluyeron a medida que se avanzó en el ciclo del cultivo y a medida que el déficit hídrico se hacía más importante (Figura 8).

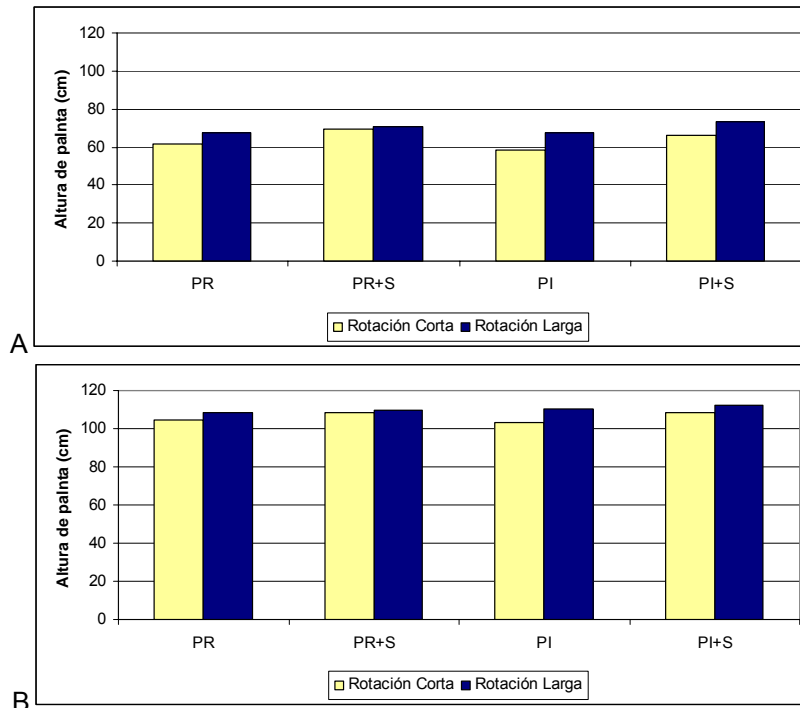


Figura 8. Efecto de la intensidad de uso del suelo (rotación) sobre la altura de planta (cm) de sorgo en dos momentos fenológicos del cultivo (A. Altura de planta en V8. B: Altura de planta en grano lechoso.), según intensidad de pastoreo y uso o no de subsolado: PR: Pastoreo Restringido, PI: pastoreo intensivo, S: Subsulado.

Número de panojas

Los tratamientos subsolados tuvieron un mayor número de panojas respecto a los no subsolados ($p < 0.03$); pero no se observaron efectos significativos de la intensidad de pastoreo (cuadro 6). Por otro lado la rotación larga tuvo mayor número de panojas que la rotación corta ($p < 0.0001$). Esto coincide con una mayor implantación constatada sobre la rotación larga.

Cuadro 6. Efecto de la intensidad de uso del suelo (rotación) sobre el número de panojas/m² según manejo de pastoreo invernal y el uso o no de subsolado.

Manejo de pastoreo – suelo	Rotación		Total tratamiento
	Larga	Corta	
Pastoreo intensivo + Subsolado	43.3	36.3	39.7 a
Pastoreo restringido + Subsolado	43.3	34.8	39.1 a
Pastoreo intensivo	41.0	30.5	35.7 ab
Pastoreo restringido	36.6	31.6	34.1 b
Total Rotación	41.0 A	33.3 B	

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

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

El número de panojas por unidad de superficie, 41 panojas/m² en la rotación larga y 33 en la rotación corta, fue mayor al observado en la zafra anterior de 22 panojas/m² (Terra y Roel, 2006), donde el déficit hídrico se hizo presente en las primeras etapas del cultivo, pudiendo haber inhibido el macollaje, no permitiendo expresar diferencias entre tratamientos. Esta zafra si bien el déficit hídrico fue de mayor importancia, se dio en etapas más avanzadas del cultivo que limitaron otros componentes de rendimiento.

Rendimiento de grano

Es evidente el efecto que tuvo la escasez de agua durante el período del cultivo limitando el rendimiento en grano de sorgo en la presente zafra, obteniéndose un nivel de rendimiento promedio de 4580 kg/ha, que fue 44% inferior al rendimiento obtenido en la zafra anterior.

No hubieron diferencias estadísticamente significativas en la producción de grano entre diferentes intensidades de uso del suelo ni tampoco entre el uso o no de subsolado o debidas al manejo del pastoreo invernal.

En la zafra 2005-2006 la producción de grano de sorgo fue menor en la rotación larga comparado con el promedio de la rotación de cultivo continuo y la rotación corta. Sin bien estas dos últimas zafras fueron contrastantes en cuanto a las condiciones hídricas y a la cantidad de grano obtenida, en la cosecha 2006-2007 se observa una tendencia que repite este comportamiento, aunque las diferencias encontradas no sean de significancia estadística (Cuadro 7).

Cuadro 7. Efecto de la intensidad de uso del suelo (rotación) en el rendimiento en grano de sorgo según manejo de pastoreo invernal y uso o no de subsolado.

Manejo de pastoreo – suelo	Rotación		Media
	Larga	Corta	
	kg/ha		
Pastoreo restringido + subsolado	4314	4988	4651
Pastoreo Intensivo + subsolado	4444	4728	4586
Pastoreo restringido	4427	4539	4483
Pastoreo Intensivo	4712	4491	4602
Media	4475	4687	4581

A pesar que la rotación corta tuvo una mayor presión de malezas, y obtuvo una menor implantación y menor cantidad de panojas, la información sugiere que dadas las condiciones de un año seco, el cultivo sufrió menor competencia por agua y tuvo mayor disponibilidad de nitrógeno comparado con el cultivo sobre la rotación larga, que le permitió compensar su menor crecimiento en la fase vegetativa (Figura 9).

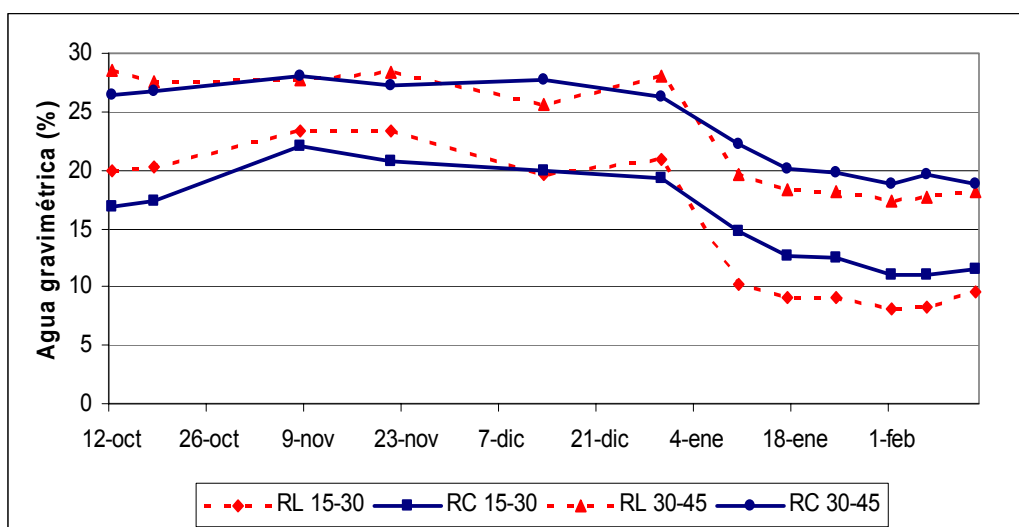


Figura 9. Efecto de la intensidad de uso del suelo (rotación) sobre el contenido de agua del suelo a dos profundidades a lo largo del ciclo del cultivo de sorgo.

En todos los casos los tratamientos subsolados parecieron extraer más agua del perfil, a juzgar por los menores contenidos constatados en el suelo (Figura 10). Este efecto se vio reflejado en alguna medida en la tendencia observada en la rotación corta a mayores rendimientos de los tratamientos subsolados, que no pudo ser observada en la rotación larga. Sobre esta última, el agua que había en el suelo durante las etapas críticas del cultivo era menor al punto de marchitez permanente en los primeros 30 cm (Figura 9).

Hay que destacar que tampoco se vio un efecto positivo del subsolado en los tratamientos de pastoreo intensivo comparados con los de pastoreo restringido, lo que permite relativizar el pisoteo animal como un factor relevante en la depresión del rendimiento. Por otro lado, los datos sugieren que la masa de rastrojo tampoco fue un factor determinante más allá de sus efectos en el contenido de agua en superficie durante las etapas iniciales del cultivo.

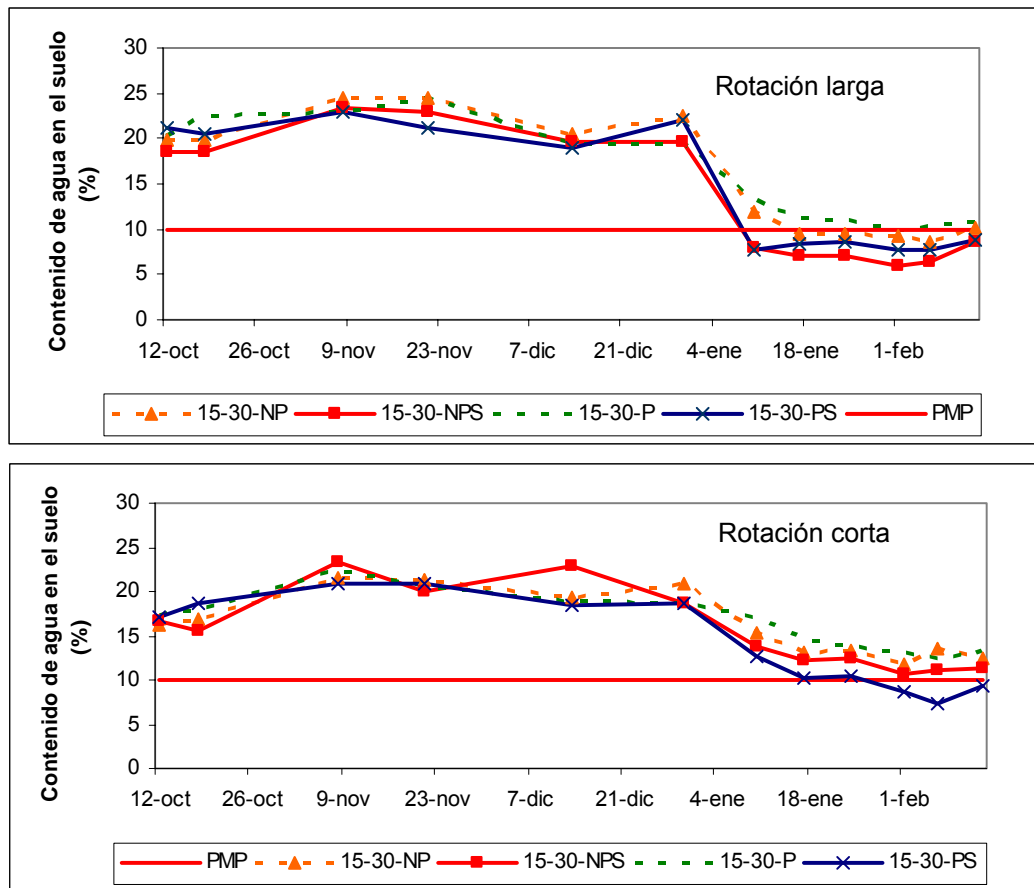


Figura 10. Contenido de agua en el suelo entre los 15 y 30 cm de profundidad según rotación y profundidad de muestreo en comparación con el punto de marchitez permanente (PMP).

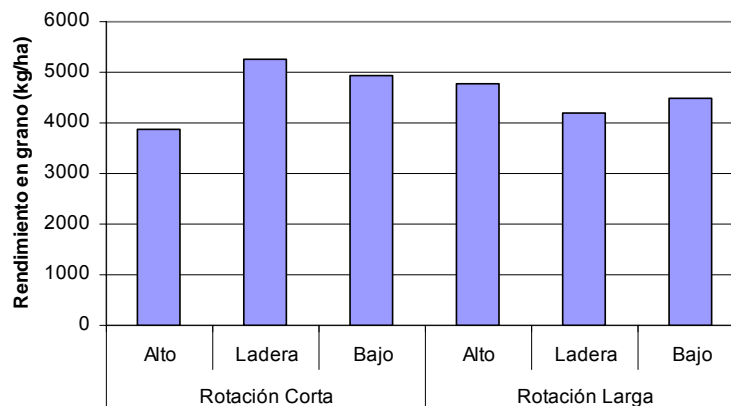


Figura 11. Rendimiento en grano de sorgo según intensidad de uso del suelo (rotación) y posición topográfica dentro de la chacra.

Separando los rendimientos por posición topográfica (Figura 11), en la rotación corta, el rendimiento en grano de sorgo en la zona alta fue menor que en los demás bloques, acompañando la presencia de blanqueales en esa posición topográfica. Esto puede ser constatado en el mapa de rendimiento obtenido con el monitor (Figura12).

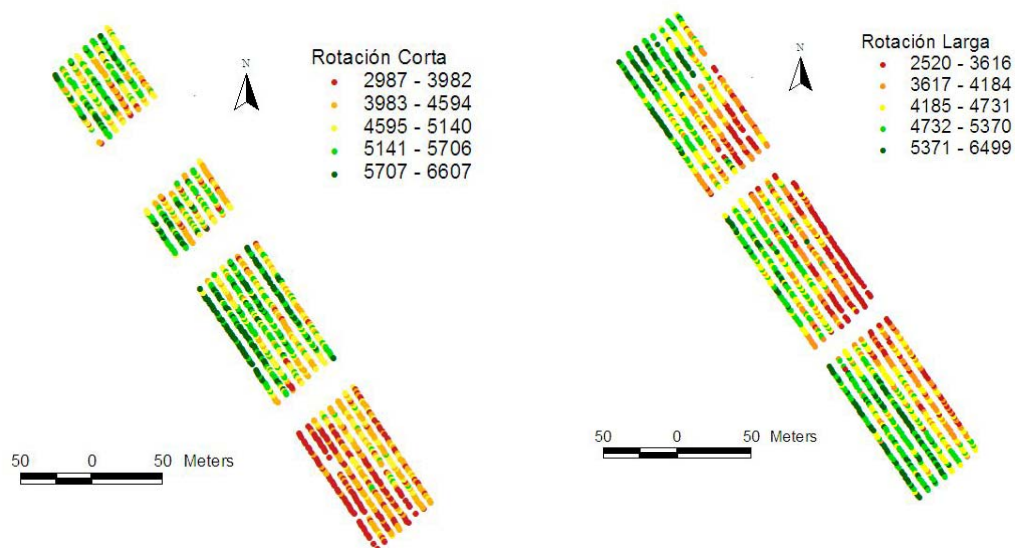


Figura 12. Mapas de rendimiento del cultivo de sorgo generados por el monitor en las dos chacras evaluadas en la zafra 2006-2007.

Rendimiento de cosecha manual

Resulta interesante comparar los resultados obtenidos por el monitor de rendimiento instalado en la cosechadora con los que se obtienen al realizar una cosecha manual en 48 sitios en cada chacra, tomando como muestra 4 m lineales del cultivo (Cuadro 8). De esta comparación surge en primer lugar que el nivel de rendimiento con la cosecha manual se sobreestimó en un 14% con respecto al obtenido con la cosechadora.

En este caso, tampoco se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre intensidades de uso del suelo ni prácticas de manejo, pero se observa una tendencia contraria a la de la cosecha realizada con el monitor de rendimiento. La rotación larga parecería superar a la rotación corta en producción de grano. Este hecho se repite con respecto a la zafra pasada, donde los resultados de la cosecha manual simulando parcelas resultó en conclusiones diferentes de las que se derivaron de la información obtenida con el monitor.

Cuadro 8. Efecto de la intensidad de uso del suelo (rotación) en el rendimiento en grano de sorgo según manejo de pastoreo invernal y uso o no de subsolado, en base al muestreo de 48 puntos por chacra.

Tratamiento	Rotación		Media
	Larga	Corta	
	kg/ha		
Pastoreo restringido	5488	5234	5361
Pastoreo restringido +Subsolado	5572	4722	5147
Pastoreo intensivo	5179	4650	4915
Pastoreo intensivo + Subsulado	5521	5342	5432
Promedio Rotación	5440	4987	5214

CONSIDERACIONES FINALES

En primer lugar, para un año donde las condiciones del verano para la producción de grano en la zona fueron deficientes desde el punto de vista hídrico se obtuvo un rendimiento de sorgo bastante aceptable. Esto confirma su rusticidad y viabilidad de siembra con resultados satisfactorios en suelos como los de la Unidad Alférez, con un mayor riesgo de sequía comparados con los tradicionalmente agrícolas.

Por segundo año consecutivo el rendimiento en sorgo no respondió a la intensidad de pastoreo del verdeo que le precedió, relativizando al pisoteo animal como un factor de compactación importante como limitante para el desarrollo del cultivo y producción de grano; y a la masa de rastrojo como un factor relevante en la dinámica de agua más allá de las etapas iniciales del cultivo.

El subsolado permitió una mayor extracción de agua al cultivo, aunque esto no se manifestó claramente en el rendimiento, debido a limitantes en el contenido de agua del suelo. Sería interesante tener resultados en años de comportamiento climático intermedios, donde la posibilidad de extraer más agua del suelo pueda hacer una diferencia para el cultivo, de modo de cuantificar el impacto potencial de ésta práctica de manejo del suelo.

También por segundo año se vio que los cultivos en siembra directa sobre pasturas de mayor duración no siempre tienen un mejor comportamiento que aquellos sembrados en rotaciones de mayor intensidad de uso del suelo, sino que éste es uno de los factores que intervienen a la hora de definir el rendimiento del cultivo, pero el resultado final depende de la interacción de todos ellos.

Se confirma nuevamente la importancia de la inclusión de herramientas de agricultura de precisión en investigación, que permitan realizar ensayos a escala de chacra donde las evaluaciones se realicen en condiciones más parecidas a las comerciales; y donde sea posible tener en cuenta la variabilidad intrínseca del campo, realizando evaluaciones a través de todo el terreno. Esto permitiría un acercamiento entre la producción y la investigación, aportando elementos para un proceso más rápido de adopción de distintas tecnologías en el sector productivo.

II. SOJA

Los ensayos se sembraron en 3 situaciones de chacra, generadas por 3 rotaciones en siembra directa desde 1995, con diferentes intensidades de uso del suelo:

- a) Cultivos anuales continuos (CC): sudangrass o moha – avena o raigrás (1995-2004), soja (2005) – raigrás (2005)- sorgo 2006 - raigrás (2006)
- b) Rotación Corta (RC): 2 años de doble cultivo anual forrajero y 2 años de pasturas. Antecesoros inmediatos: Pradera trébol rojo + raigras (2003-2005), raigras (2005), sorgo 2006 - raigrás (2006).

c) Rotación Larga (RL): 2 años de doble cultivo anual forrajero y 4 años de pasturas. Antecesoros inmediatos: Pradera trébol blanco + lotus + festuca (2001-2005), raigrás (2005) - sorgo 2006 - raigrás (2006).

Se aplicaron los siguientes tratamientos en fajas (Fig. 13):

- 1) Pastoreo Invernal Restringido (retiro animales 4 semanas antes 1era aplicación glifosato).
 - 2) Pastoreo Invernal Restringido + Subsulado
 - 3) Pastoreo Invernal (retiro de animales la semana previa a la aplicación de glifosato).
 - 4) Pastoreo Invernal + Subsulado
- Número de Bloques: 3 (ladera alta, ladera media y ladera baja), 2 repeticiones/bloque.

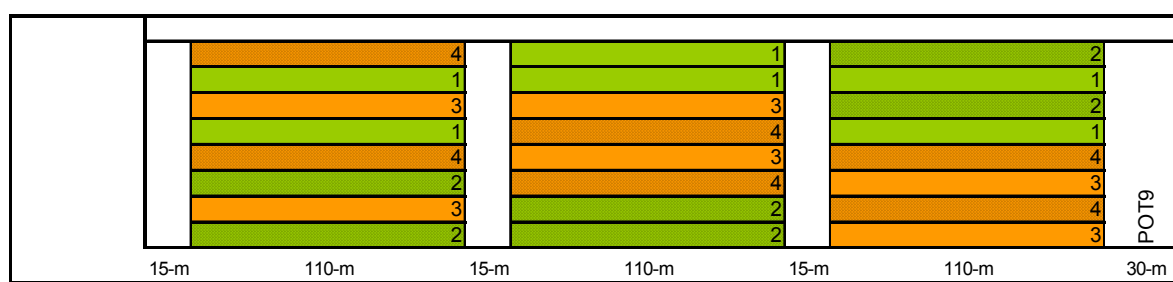


Figura 13. Esquema de una de las chacras de soja conteniendo en tres bloques los 4 tratamientos en fajas.

Al igual que en el cultivo de sorgo, el barbecho comenzó a fines de septiembre, y la siembra se realizó a principios de noviembre, como se detalla en el cuadro 9 donde se muestra el manejo del cultivo.

Cuadro 9. Manejo agronómico del cultivo de soja.

Fecha	Actividad	Producto	N. comercial	Dosis /ha
26/09/2006	Pulverización	Glifosato	Rango®	5 L
		Auxiliar	Hyspray	250 cc
08/11/2006	Pulverización	Glifosato	Rango®	3,3 L
		Auxiliar	Hyspray	150 cc
09/11/2006	Subsulado			
	Siembra	Soja	Rafaela 58	75 Kg
		Curasemilla	Draza	500g/100kg
		Inoculante		1,5
	Fertilización	9-39-15	Maccio	130 kg
15/12/2006	Pulverización	Insecticida	Intrepid	200 cc
		Glifosato	Rango®	3 L
09/01/2007	Pulverización	Insecticida	Intrepid	120 cc
08/02/2007	Pulverización	Insecticida	Endosulf + sal	750 cc + 500gr
06/03/2007	Pulverización	Insecticida	Engeo	200 cc
		Fungicida	Bucaner	500 cc
		Adherente		30 cc
20/03/2007	Pulverización	Insecticida	Engeo	200 cc
		Fungicida	Bucaner	500 cc
30/04/2007	Cosecha			

RESULTADOS

Condiciones Climáticas

La figura 14 muestra el régimen de precipitaciones y evaporación potencial desde el inicio del barbecho durante el ciclo del cultivo y hasta la cosecha. En primer lugar se puede apreciar que la recarga hídrica durante el barbecho fue pobre por la ausencia de precipitaciones en setiembre. Por otro lado, las precipitaciones de fines de octubre y noviembre cubrieron la demanda del cultivo durante las etapas tempranas. Sin embargo, entre V8 y R3 existió un pronunciado déficit hídrico debido a la ausencia de precipitaciones durante el período y a la alta demanda atmosférica que afectó severamente al cultivo en sus etapas críticas. Por último hubo un exceso hídrico al final del ciclo del cultivo, afectando la entrada a cosecha.

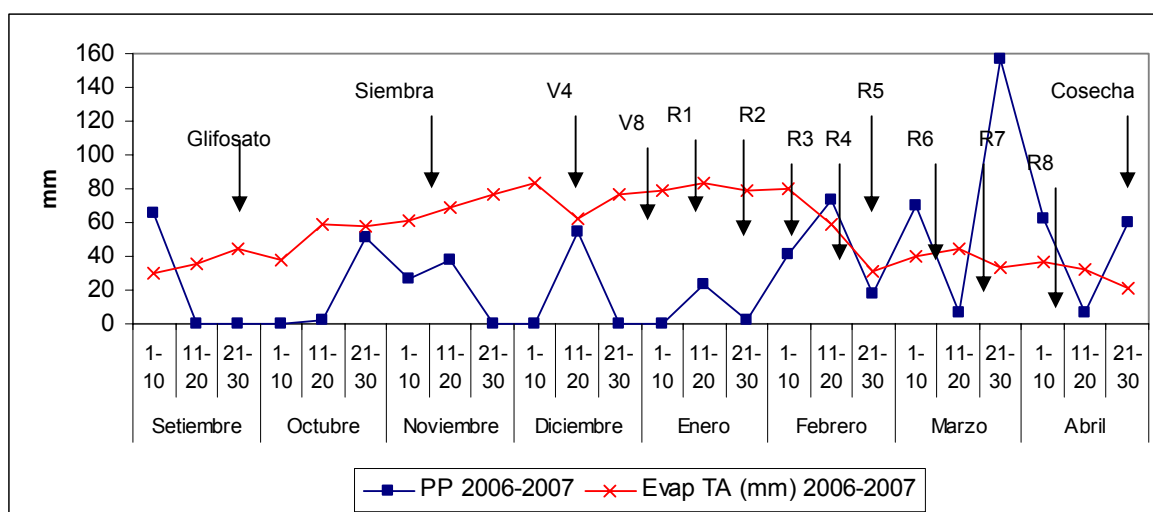


Figura 14. Precipitaciones y evaporación medida en tanque A decádicas (mm) desde el inicio del barbecho químico y durante el ciclo del cultivo de soja hasta la cosecha (30 abril 2007).

La escasez de lluvias durante el período crítico tuvo directa incidencia en el contenido de agua del suelo de 0-30 cm que se agotó rápidamente en todos los tratamientos, desde inicios del mes de enero (Figura 15). Los tratamientos con subsolado extrajeron más rápidamente el agua de 15-30 cm, pero no hicieron la diferencia a mayor profundidad, por lo que el cultivo de todas maneras llegó a la etapa reproductiva sin agua disponible en el perfil efectivamente explorado por las raíces.

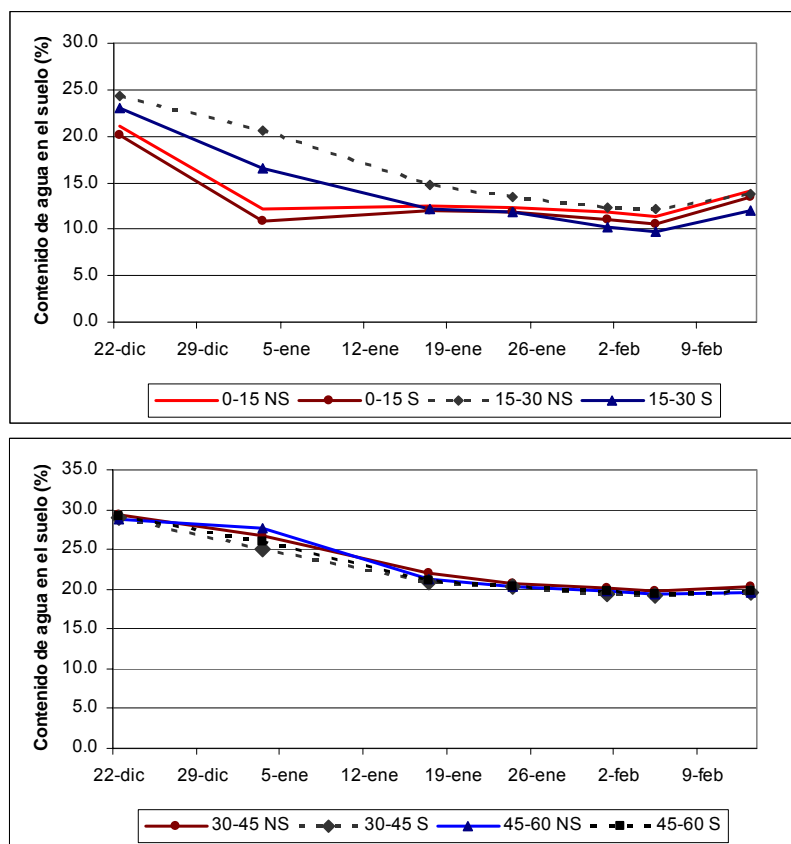


Figura 15. Efecto del subsolado sobre la evolución del contenido de agua del suelo hasta 60 cm de profundidad en intervalos de 15cm (S: subsolado, NS: no subsolado).

Análisis de Suelo

El contenido de fósforo del suelo fue mayor en la intensidad de uso con mayor proporción de cultivos anuales en la rotación debido a una mayor fertilización en la instalación de estos (Cuadro 10). Por otro lado, el potencial de mineralización de nitrógeno (PMN) fue mayor en aquellas rotaciones que incluyen pasturas, debido a una mayor contribución de biomasa de rápida mineralización, reflejándose el largo de la pastura en la cantidad de nitrógeno potencialmente disponible, a mayor tiempo ocupado por la pastura en la rotación, mayor es el aporte de materia orgánica lábil y mayor el nitrógeno mineralizable a partir de ésta.

Cuadro 10. Análisis de suelo (0-15-cm) realizados previamente a la siembra de soja para cada rotación y bloque.

Bloque	P Citrico (ppm)			K (meq/100g)			PMN (mg/Kg N-NH ₄)		
	RL	RC	CC	RL	RC	CC	RL	RC	CC
Zona alta	7,7	14,4	17,1	0,21	0,24	0,23	27	26	14
Ladera media	11,1	10,6	19,8	0,25	0,26	0,25	42	18	23
Ladera baja	11,8	8,7	19,9	0,25	0,21	0,23	25	27	24

Nivel de Rastrojo

Se generaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.0001$) en la masa de rastrojo en superficie al momento de aplicar el glifosato para el inicio del barbecho (Cuadro 11). Las fajas pastoreadas hasta la semana previa a la aplicación del glifosato dejaron una masa de rastrojo sobre el suelo 16% inferior a la obtenida en el tratamiento que se dejó de pastorear un mes antes de la aplicación. La masa de rastrojo también fue afectado por la intensidad de uso del suelo ($p < 0.0001$). La chacra sobre la rotación corta dejó un 11% y un 7% más de rastrojo comparada con la chacra sobre la rotación larga y la de cultivo continuo respectivamente.

Cuadro 11. Efecto de la intensidad de uso del suelo medida como la proporción de pasturas pluri anuales en la rotación (Corta: 2 años, Larga: 4 años, Cultivos Continuos) sobre la masa de rastrojo (kg/ha de MS) al inicio del barbecho químico según manejo de pastoreo previo.

TRATAMIENTO	Rotación			Promedio
	Larga	Corta	Continuo	
	kg/ha de MS			
No Pastoreado	2761 a	3176 a	2953 a	2963 a
No Pastoreado Subsulado	2802 a	3261 a	3009 a	3024 a
Pastoreado	2483 b	2636 b	2458 b	2526 b
Pastoreado Subsulado	2464 b	2632 b	2488 b	2528 b
Promedio	2628 C	2926 A	2727 B	

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

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

Stand de Plantas

No se observaron diferencias significativas en el stand de plantas por efecto del manejo del pastoreo previo o por el subsulado, obteniéndose una población promedio de 292.000 plantas/ha. Tampoco se observaron diferencias entre bloques ubicados en diferentes posiciones topográficas. Sin embargo, hubo una clara tendencia ($p < 0.06$) de poca relevancia agronómica a obtenerse un mejor stand de plantas (5%) en la chacra de cultivos continuos comparada con la de la rotación larga (Cuadro 12).

Cuadro 12. Efecto de la intensidad de uso del suelo medida como la proporción de pasturas pluri anuales en la rotación (Corta: 2 años, Larga: 4 años, Cultivos Continuos) sobre la población de plantas logradas en el cultivo soja.

Rotación	Población (pl/m ²)
Cultivo continuo	30.0 a
Rotación corta	29.1 ab
Rotación larga	28.6 b

Valores seguidos por una misma letra no difieren significativamente con $p = 0.05$

Altura de Planta

El crecimiento del cultivo en la zona baja fue mayor comparado con las otras posiciones topográficas. El uso del subsolado incrementó algo la altura de planta aunque no en todas las posiciones topográficas. Por otra parte, su efecto en el crecimiento del cultivo tendió a ser mayor en la rotación larga y en cultivo continuo, que podrían considerarse fuesen las dos situaciones con problemas físicos de suelo (Figura 16).

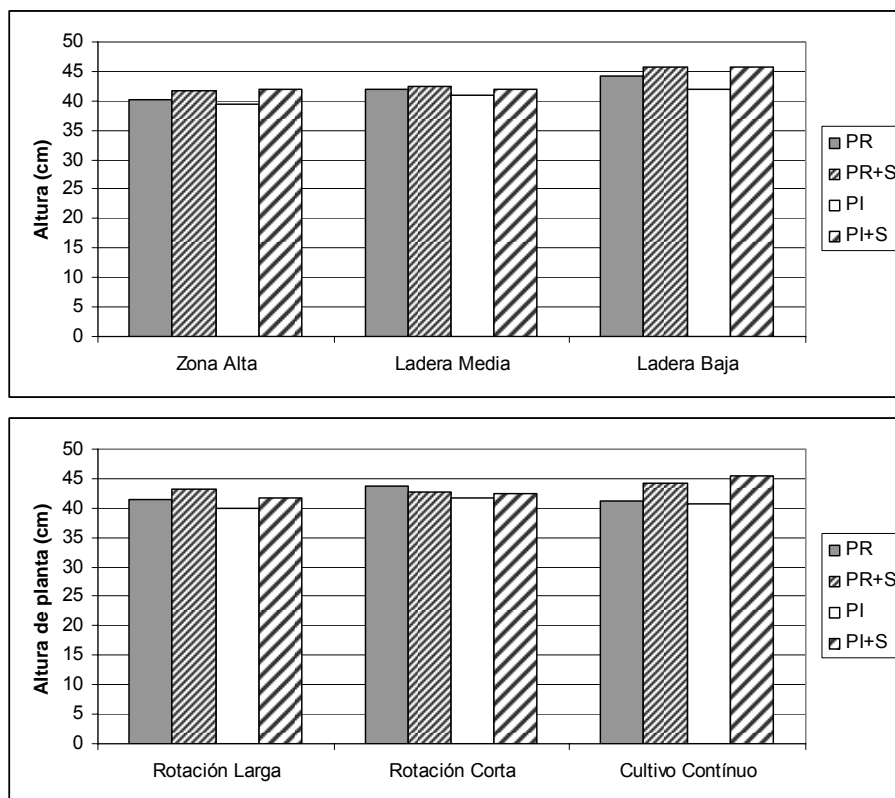


Figura 16. Efecto de la intensidad de uso del suelo (rotación) y posición topográfica sobre la altura de planta en plena floración (R2), en función del uso o no del subsolado y de la intensidad de pastoreo invernal

Rendimiento de Grano

Al igual que lo observado en estas chacras con el cultivo de sorgo en la zafra pasada (Terra y Roel, 2006), el mayor rendimiento de grano de soja fue obtenido sobre cultivo continuo y el menor sobre la rotación que incluye praderas de larga duración. El rendimiento de grano de soja en cultivo continuo fue 34% y 7% mayor que el obtenido en las rotaciones que incluyen pasturas de larga y corta duración respectivamente. (Cuadro 14) Al igual que lo observado en el cultivo de sorgo en las dos últimas zafras, no se encontraron efectos significativos del uso de subsolado o manejo de la intensidad de pastoreo en invierno sobre el rendimiento de grano del cultivo de soja.

Cuadro 14. Efecto de la intensidad de uso del suelo (rotación) sobre el rendimiento de grano de soja, según intensidad de pastoreo invernal y el uso o no de subsolado.

TRATAMIENTO	ROTACIÓN			Media
	Continuo	R Corta	R Larga	
	kg/ha			
No Pastoreado	2389	2171	1764	2108
No Pastoreado Subsolado	2129	2157	1630	1972
Pastoreado	2342	2060	1715	2039
Pastoreado Subsolado	2126	1995	1592	1904
Media	2247 a	2095 b	1675 c	

Valores seguidos por la misma letra en la fila no difieren significativamente ($p=0.05$)

Estas diferencias en rendimiento favorables a rotaciones con mayor intensidad de uso del suelo, se observaron consistentemente en los ensayos de soja de las últimas tres zafras en la UEPP (Cuadro 15). En la zafra 2004-2005 el rendimiento de soja sobre cultivo continuo fue 38% superior al obtenido sobre la rotación con pasturas de corta duración. En la zafra 2005-2006 el rendimiento de soja sobre la rotación corta fue un 30 % mayor que la correspondiente a la rotación larga.

Cuadro 15. Efecto de la intensidad de uso del suelo (rotación) sobre el rendimiento de soja de las últimas tres zafras en la UEPP.

ZAFRA	ROTACIÓN		
	Continuo	Corta	Larga
	kg/ha		
2004-2005	1868 a	1417 b	---
2005-2006	---	2367 a	1820 b
2006-2007	2233 a	2051 b	1568 c

Valores seguidos por la misma letra en la fila no difieren significativamente ($p=0.05$)

CONSIDERACIONES FINALES

Hasta el momento la integración de estos cultivos en sistemas de rotación que incluyan pasturas de larga duración no parece ser una ventaja productiva, al menos en el corto plazo, a pesar de haberse constatado una mejor calidad de suelo en estos sistemas (Terra *et al.*, 2006). Cabe señalar que estos resultados fueron obtenidos con una rotación de cultivo continuo que incluye una alta proporción de cultivos de la producción de alta producción de biomasa como rastrojo que se devuelve al sistema y con cobertura permanente en invierno

Por otro lado el uso de prácticas de manejo que maximicen la disponibilidad de agua para el cultivo y que minimicen los posibles efectos negativos del pastoreo, no han tenido efectos sobre la productividad de ninguno de los dos cultivos estudiados en las últimas dos zafras.

REFERENCIAS

DIEA. 2006. Encuesta Agrícola "Primavera 2006"

Novoa, R; Villagrán N. 2002. Evaluación de un instrumento medidor de clorofila en la determinación de niveles de nitrógeno foliar en maíz. Agricultura técnica (Chile) 62(1):166 -171.

Terra, J. y A. Roel. 2006. Impacto de la intensidad de uso del suelo y variabilidad espacial del terreno sobre los cultivos de sorgo a escala de chacra en lomadas del este. En: Cultivos de verano UEPP. Serie actividades de difusión n 461.

Terra, J.; García-Prechac, F.; salvo, L.; Hernández, J. 2006. Soil use intensity impact on total and particulate soil organic matter in no-till crop-pasture rotations under direct grazing. Advances in Geoecology 38:233-241.

Vanderlip R. L., 1993. How a sorgum plants develops. Agronomy department, Kansas. Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service. Contribution N°1203.