

IMPACTO DE LA INTENSIDAD DE USO DEL SUELO SOBRE LA PRODUCTIVIDAD DEL CULTIVO DE SORGO EN LOMADAS DEL ESTE

Virginia Pravia¹, José Terra², Álvaro Roel³ y José Correa⁴

INTRODUCCIÓN

Los cultivos agrícolas han experimentado un proceso de crecimiento y expansión sustancial en Uruguay luego de la crisis del 2002. La consolidación de la siembra directa, los transgénicos, y cambios drásticos en los escenarios de los precios globales de los granos han determinado un importante crecimiento del área agrícola del país. En grandes números, el área de sorgo es casi 3 veces el área 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 de los cultivos a regiones que poco tiempo atrás eran consideradas marginales, ya sea por la lejanía de los centros de acopio o por la menor aptitud de uso agrícola de sus suelos.

Los suelos de lomadas del Este cuentan con escasa información acerca de la producción sostenible de cultivos graníferos en sistemas de siembra directa. Las limitantes más importantes de estos suelos consisten en su mayor riesgo de erosión y de sequía, y limitantes de drenaje. Por tanto, las prácticas de manejo de suelo deben priorizar en el manejo de rastrojos, la conservación del agua en el perfil y en el estímulo de la exploración radicular de los cultivos en profundidad.

El principal factor relacionado con la productividad de cultivos de verano es la capacidad de almacenamiento de agua del suelo, que resulta de la interacción entre el clima, las propiedades físicas del suelo y la topografía. Por tanto, la variabilidad edáfica y topográfica debería tenerse en cuenta al estudiar el impacto de prácticas de manejo del suelo en una chacra. Los ensayos en fajas a escala de chacra tienen la capacidad de captar esta variabilidad y estudiar su interacción con las prácticas de manejo mediante la cosecha de los mismos con máquinas equipadas con monitor de rendimiento y GPS.

El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto relativo e interactivo a escala de chacra de algunas prácticas de manejo de suelos con la variación espacial del terreno sobre la productividad del cultivo de sorgo en suelos sometidos a diferentes intensidades de uso en siembra directa.

Los trabajos se concentran 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 pasturas. Segundo, la búsqueda de prácticas de manejo que maximicen la disponibilidad de agua para el cultivo y que minimicen los efectos negativos del pastoreo (compactación y rastrojo). Finalmente, en 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.

¹ Ing. Agr., Programa Producción y Sustentabilidad Ambiental, INIA Treinta y Tres

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

³ Ing. Agr., Ph.D. Programa Prod. y Sustentab. Ambiental, Director Regional, INIA Treinta y Tres

⁴ Téc. Agr., Programa Producción y Sustentabilidad Ambiental, INIA Treinta y Tres

MATERIALES Y MÉTODOS

Los ensayos en fajas fueron realizados durante 3 zafras (2005-06, 2006-07 y 2007-08) dentro del experimento de rotaciones de larga duración de la UEPP que evalúa desde 1995 cuatro intensidades de uso del suelo con siembra directa que se diferencian en la proporción y duración de las pasturas perennes en la rotación.

Los suelos dominantes en el área experimental pertenecen a la unidad Alferez y consisten en Argisoles subeutricos melánicos abrupticos y Planosoles subeutricos melánicos/ocricos clasificados como de clase III por su capacidad de uso y manejo. Los primeros ocupan las laderas y tienen alto riesgo de erosión y los segundos ocupan las partes altas planas y tienen problemas de drenaje y están asociados a blanqueales.

Cada ensayo tuvo un área de 3 ha y fue sembrado sobre tres situaciones de rotaciones contrastantes que se mantuvieron estables desde 1995: a) sobre una pradera de festuca, trébol blanco y lotus de 4 años (implantada luego de 2 años de cultivos), b) sobre una pradera de trébol rojo de 2 años (implantada luego de 2 años de cultivos) y c) sobre una chacra de cultivos continuos desde 1995.

Cada sitio fue sembrado con cultivos graníferos basados en la secuencia Sorgo-Soja y pasturas anuales y/o perennes dependiendo de la rotación. De esta forma, cada año hubieron 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 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 cada año) 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, y el uso o no de subsolado. Cada uno de los experimentos tuvo 3 bloques y 2 repeticiones por bloque (Fig. 1). Las fajas conteniendo los tratamientos fueron de aprox. 100-m de largo y 7-10-m de ancho y fueron dispuestas interceptando la máxima variación del terreno posible. Las fajas conteniendo los tratamientos fueron ubicadas al azar en 3 bloques (ladera alta, ladera media y ladera baja) y fueron repetidas 2 veces en cada bloque.

Tratamientos en Fajas:

- 1) Pastoreo Invernal Restringido (retiro animales 4 semanas previas a la aplicación glifosato).
- 2) Pastoreo Invernal Restringido + Subsulado (Paraplow a 0.4-m de profundidad inmediatamente previo a la siembra)
- 3) Pastoreo Invernal (retiro animales una semana previa a la aplicación de glifosato).
- 4) Pastoreo Invernal + Subsulado

Todas las chacras fueron sembradas con raigras en el otoño previo a la siembra del sorgo, a la salida de la fase de pasturas en el caso de la rotación con praderas o luego del cultivo de verano en el caso de la chacra de cultivos continuos.

El raigras fue controlado todos los años durante la última semana de setiembre, con la aplicación de 4-5 litros de glifosato (Rango) y 250-300 cc/ha de dicamba (Dombell),

realizándose una segunda aplicación de glifosato en mezcla con atrazina (1.5 kg/ha Gesaprim) y metolaclor (1 l/ha Dual Gold) en noviembre al momento de la siembra.

Los ensayos de sorgo fueron sembrados todos los años con el híbrido DK39 (ciclo corto) a una densidad objetivo de 240.000 semillas viables/ha en hileras espaciadas a 0.4-m utilizando una sembradora Semeato (Personale Drill) de 6 hileras con el sistema abresurco facón-guillotina.

La semilla fue siempre curada con el insecticida imidacloprid (Gavilan) a dosis de etiqueta para control de hormigas y lagartas del suelo y también protegida del efecto del metolaclor utilizando el antidoto Concep III. Las fechas de siembra fueron el 17/11, 15/11 y 7/11 en 2005, 2006 y 2007 respectivamente.

La fertilización a la base fue de 150 kg/ha de 15-30-15 (N-P-K) en 2005 y de 125 kg/ha de 18-46-0 en 2006 y 2007. Todos los años se realizó una aplicación de 100 kg/ha de urea en cobertura al estado de 6 hojas del cultivo en todos los ensayos.

En las dos últimas zafras se realizaron una aplicación temprana de insecticida fisiológico (Intrepid) para el control de lepidopteros, principalmente lagarta cogollera; en la última zafra se tuvo que hacer una aplicación no planificada de clorpirifos (Pyriban) en enero para control de langosta.

La cosecha se realizó a fines de marzo o principios de abril con una cosechadora comercial equipada con GPS y monitor de rendimiento lo que permitió conocer el efecto del tratamiento a escala de chacra y también la variación espacial de rendimientos a través del terreno.

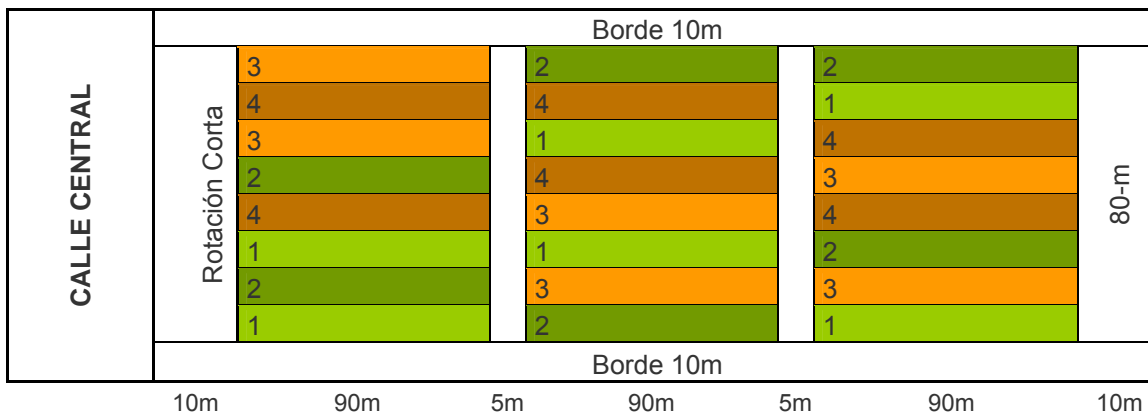


Figura 1. Esquema de una de las chacras de sorgo conteniendo en tres bloques los 4 tratamientos en fajas.

Determinaciones

Cada 20-m a lo largo de cada faja se establecieron sitios georeferenciados de muestreo a los efectos de realizar determinaciones en el suelo y en el cultivo.

Las variables medidas en cada faja fueron las siguientes:

- Análisis de Suelos de 0-15-cm: (Corg, N total, Potencial de Mineralización de N (PMN), P (Ac. Cítrico), K int, pH y textura).
- Evolución del contenido de agua del suelo (0.9-m) utilizando sonda de neutrones o por capacitancia.
- Biomasa seca de rastrojo al inicio de barbecho (aplicación de glifosato).
- Población de plantas por unidad de superficie.
- Estimación del contenido de clorofila durante el ciclo utilizando un sensor SPAD.
- Temperatura del cultivo en etapas críticas.
- Contenido de N en hoja bandera a floración.
- Evolución de la altura de las plantas a lo largo del ciclo.
- Estado fenológico.
- Componentes de rendimiento: número panojas, número granos/panoja, peso granos.
- Rendimiento y humedad de grano a lo largo de la faja.

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 el análisis de los efectos de los tratamientos en el rendimiento, se consideró además la correlación espacial de los residuales de los rendimientos a los efectos de la reducción del error experimental (Littell et al., 1996). Para determinar la significancia estadística de los efectos fijos se utilizó un test de F con $p < 0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Condiciones climáticas

Las condiciones climáticas, principalmente el régimen de precipitaciones y temperaturas, difirieron considerablemente durante las tres zafas evaluadas y tuvieron gran incidencia en los resultados productivos de las mismas. En general hubo recarga del perfil durante la etapa de barbecho en las tres zafas evaluadas, sin embargo el régimen pluviométrico durante el ciclo del cultivo fue bastante diferente entre las zafas.

En la zafa 2005-06 (Figura 2) el cultivo tuvo un ambiente óptimo de humedad de suelo y temperatura para la germinación y emergencia. Durante las etapas iniciales del cultivo las precipitaciones estuvieron por debajo de la media histórica por lo que las plantas tuvieron que depender del agua almacenada en el suelo. Sin embargo, el cultivo recibió precipitaciones muy bien distribuidas entre V10 e inicio de llenado que estuvieron en el entorno de la media lo que redundó en muy buenos rendimientos como será abordado más adelante.

Por otro lado, en la zafra 2006-07 (Figura 3) aunque el cultivo se sembró en buenas condiciones de humedad del suelo, las precipitaciones no cubrieron la demanda atmosférica prácticamente durante todo el ciclo del cultivo. Esta brecha se volvió más importante desde mediados de diciembre hasta mediados de febrero, donde el agua almacenada en los primeros 30-cm del suelo estuvo varios días en el punto de marchitez permanente en las etapas críticas de floración e inicio de llenado de grano.

Por último, en la zafra 2007-08 (Figura 4) las condiciones climáticas tuvieron un comportamiento intermedio al de las dos zafras que le precedieron, que habían sido muy contrastantes en cuanto al registro de precipitaciones. Aunque en esta zafra existió una plena recarga del perfil durante el barbecho, algunas lluvias inmediatamente luego de la siembra asociadas a eventos de bajas temperaturas hasta mediados de noviembre demoraron la germinación y emergencia del cultivo en todos los tratamientos, particularmente en las posiciones más deprimidas del terreno. Posteriormente, existió un déficit hídrico hasta fines de diciembre que coincidió con el estado de 6-8 hojas del cultivo cuando se registraron lluvias abundantes que recargaron el perfil del suelo. Estas precipitaciones ocurrieron en un momento clave en el ciclo del cultivo, al momento de definición del potencial de rendimiento. Si bien hubo cierto déficit hídrico durante las etapas de floración y llenado de grano del cultivo, este no fue tan crítico como la de la zafra 2006-07. De esta forma, para el análisis del rendimiento del cultivo, se tienen dos situaciones climáticas extremas, a las que se suman los resultados de esta última zafra como un año “normal” o intermedio.

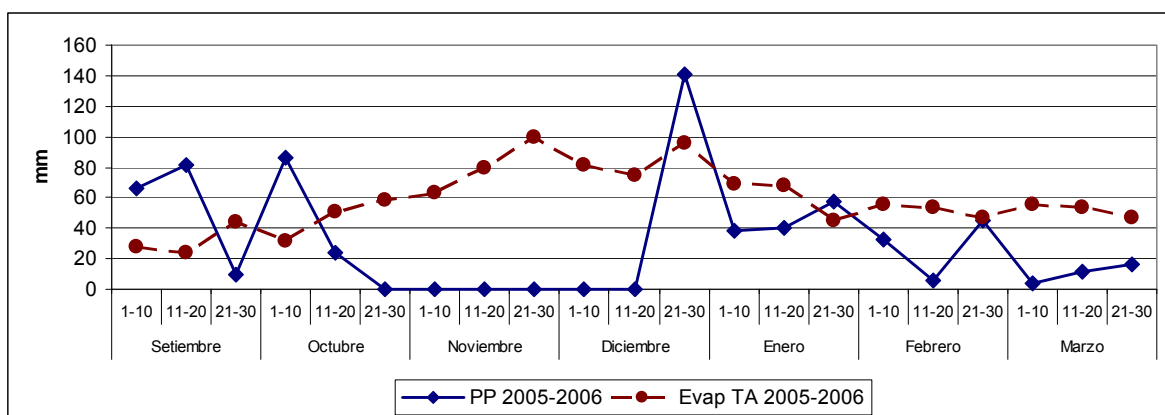


Figura 2. Precipitaciones y evaporación medida en el tanque A (en mm) durante el período de los cultivos, desde setiembre 2005 hasta abril 2006.

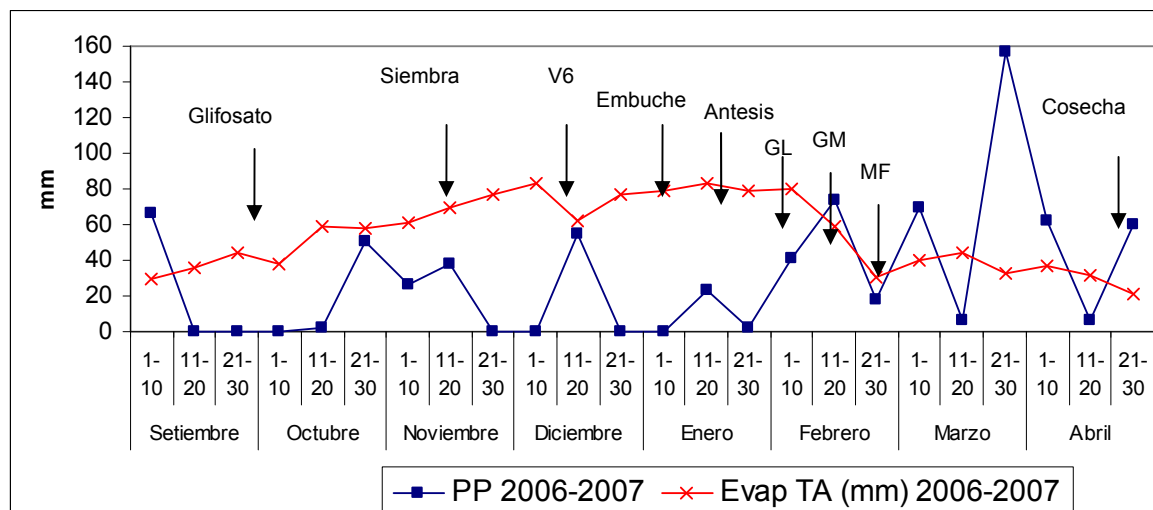


Figura 3. Precipitaciones y evaporación medida en tanque A decádicas (mm) durante el período de los cultivos, desde inicio del barbecho con aplicación de glifosato y durante la etapa del cultivo hasta la cosecha (20 abril 2007).

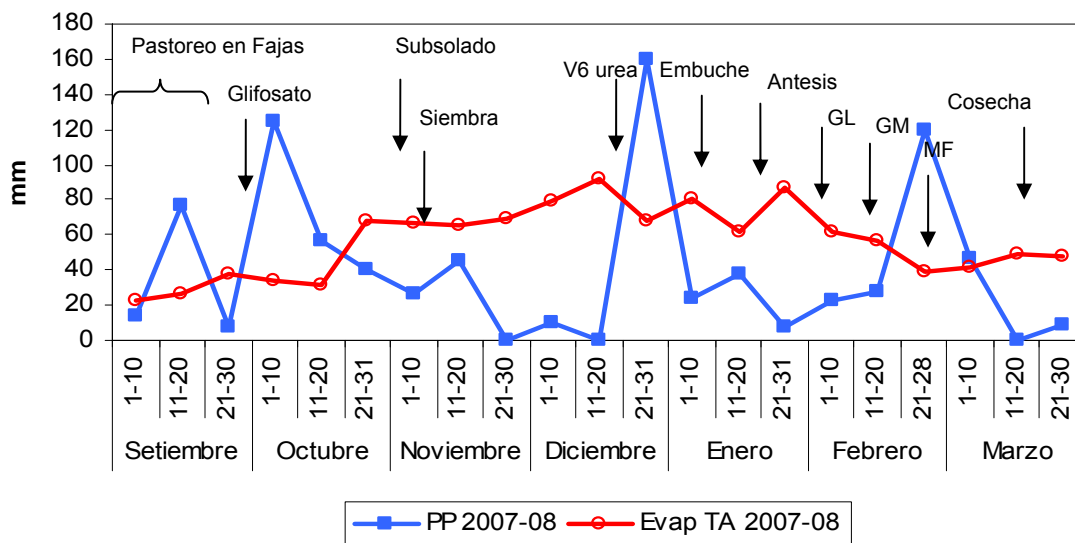


Figura 4. Precipitaciones y evaporación medida en tanque A decádicas (mm) durante el período de los cultivos, desde inicio del barbecho con aplicación de glifosato y durante la etapa del cultivo hasta la cosecha (18 de marzo de 2008).

Análisis de suelo

El contenido de carbono orgánico en el suelo fue superior en las rotaciones con pasturas de larga duración comparado con las rotaciones de mayor intensidad de uso del suelo durante los tres años de evaluación (Cuadro 1). Esta mejor calidad de suelo constatada

en las pasturas de cuatro años esta relacionada a un mayor tiempo de acumulación de materia orgánica de rápida descomposición en el suelo. Esto coincide con los resultados de otros ensayos de largo plazo donde sistemas de rotaciones que incluyeron pasturas presentaron una mayor calidad de suelos que aquellos sin pasturas (García-Préchac *et al*, 2004).

El mayor contenido de P en el suelo en las rotaciones mas 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 se encontraron dentro del rango de suficiencia para el cultivo de sorgo.

Cuadro 1. Contenido de C orgánico, fósforo, potasio y potencial de mineralización de nitrógeno previo a la siembra del sorgo para cada zafr a y sistema de rotación.

Zafr a	C.Org (%)			P Citrico (ppm)			K (meq/100g)			PMN N-NH4 (mg/Kg)		
	2006	2007	2008	2006	2007	2008	2006	2007	2008	2006	2007	2008
RL	1.90	1.89	1.64	10.8	14.4	14.6	0.25	0.23	0.21	--	28	42
RC	1.63	1.75	1.50	13.8	14.3	16.2	0.22	0.24	0.18	--	43	31
CC	1.36	--	1.47	21.3	--	26	0.18	--	0.19	--	--	32

Referencias: RL rotación larga, RC rotación corta, CC Cultivo continuo

Biomasa de rastrojo

Se observaron diferencias significativas en la biomasa de rastrojo generado entre las dos intensidades de pastoreo evaluadas en el raigras precedente al sorgo durante las 3 zafras evaluadas (Cuadro 2). Las fajas pastoreadas hasta la semana previa a la aplicación del glifosato dejaron una masa de rastrojo sobre el suelo 55% inferior en promedio que aquellos tratamientos que tuvieron un mes de descanso previo a la aplicación. Por otro lado, la biomasa de rastrojo de raigras fue 30-45% menor en la rotación de cultivos continuos comparado con las rotaciones incluyendo pasturas.

Cuadro 2. Efecto de la rotación y de la intensidad de pastoreo sobre la biomasa de rastrojo de raigras al inicio del barbecho químico.

	2006			2007		2008		
	CC	RC	RL	RC	RL	CC	RC	RL
	-----kg/ha MS-----							
			1593					
P. Restringido	352a	1637a	a	2808a	4769 a	1832a	3913a	4074a
P. Intensivo	221b	884b	468b	1481b	1838 b	730b	1629b	1154b
	295	1170						
Media	B	A	958A	2279B	3328A	1289B	2814A	2831A

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

Referencias: RL rotación larga, RC rotación corta, CC Cultivo continuo

El raigras fue la fracción dominante de la biomasa de rastrojo en todos los años en la mayoría de las rotaciones. Sin embargo, en la rotación incluyendo pasturas de larga

duración en el año 2008 existió una contribución importante de biomasa de *Cynodon* que supero el 50% en algunos sitios de la chacra.

Evolución del contenido de agua del suelo

Los tratamientos subsolados permitieron una mayor extracción de agua al cultivo a lo largo del ciclo, debido a una mejor exploración radicular, que se manifestó en una menor cantidad de agua remanente en el suelo hacia fines del ciclo (Figura 5).

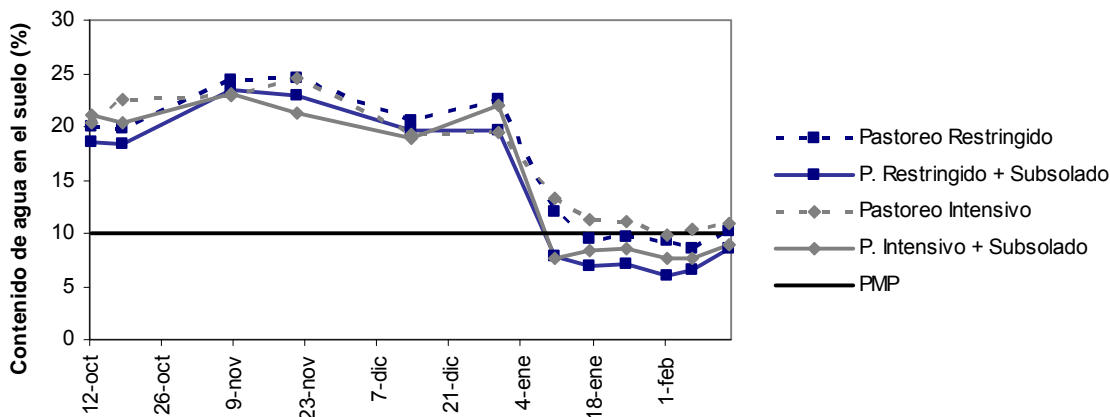


Figura 5. Contenido de agua en el suelo durante la zafra 2007 entre los 15 y 30 cm de profundidad tratamiento en comparación con el punto de marchitez permanente (PMP).

Número de plantas

La población lograda en los distintos años que se realizó el ensayo estuvo dentro del rango recomendada para el cultivo de sorgo, con excepción de la zafra 2008 donde la población obtenida fue algo menor al objetivo (cuadro 3). En este ultimo año, el exceso de humedad y las bajas temperaturas en los días inmediatos a la siembra afectaron la germinación y emergencia del cultivo, particularmente en las zonas mal drenadas de las chacras.

Cuadro 3. Efecto de 3 intensidades de uso del suelo (proporción pasturas y cultivos en la rotación) y de 4 practicas de manejo de suelos y rastrojos sobre la implantación del cultivo de sorgo para tres zafras evaluadas (2006, 2007 y 2008).

Rotación	2006			2007		2008		
	CC	RC	RL	RC	RL	CC	RC	RL
	Plantas/m ²							
P. Restringido + Subsulado	18.1a	17.1a	19.1a	21.0a	23.7a	16.7a	19.4a	17.6 a
Pastoreo Intensivo + Subsulado	19.1a	18.6a	19.5a	20.0a	23.8a	17.0a	18.5a	15.6 a
Pastoreo Restringido	17.5a	17.6a	18.6a	19.7a	21.3a	16.8a	18.6a	11.3 b
Pastoreo Intensivo	18.7a	17.8a	18.8a	19.3a	21.3a	16.9a	18.5a	11.6 b

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

Referencias: RL rotación larga, RC rotación corta, CC Cultivo continuo

En las tres zafras se observó una tendencia a una mejor implantación del cultivo sobre las fajas subsoladas. Estas diferencias fueron particularmente importantes en la zafra 2007-

08 sobre la rotación larga, donde el número de plantas aumentó en un 45% en promedio en los tratamientos subsolados.

En la última zafra, el número de plantas logrado sobre la pradera de larga duración fue un 16% y 25% menor que el número de plantas en el cultivo continuo y la rotación corta respectivamente. Estas diferencias estuvieron explicadas fundamentalmente por el nivel de gramilla presente en la pradera de larga duración que interfirió en la siembra del cultivo y en las etapas iniciales de desarrollo. La gramilla en esta rotación no pudo controlarse satisfactoriamente a pesar de haberse aplicado glifosato en tres oportunidades luego de la pastura. El subsolado rompió el entramado compacto que forma la gramilla en la superficie del suelo y mejoró la implantación del cultivo sobre el rastrojo de la rotación larga.

Índice de clorofila (SPAD)

Se observaron diferencias significativas entre rotaciones en el índice de clorofila en la hoja bandera al estadio de embuche (Vanderlip, 1993) en todos los años de evaluación (Cuadro 4). Sin embargo, no se encontraron diferencias en el índice de clorofila entre los tratamientos de manejo de suelos.

El sorgo sembrado en rotación con cultivos anuales presentó lecturas de SPAD menores que el sorgo sembrado sobre pasturas de larga duración en la zafra 2005-06 (2.4%) y que el sorgo sembrado sobre pasturas de corta duración en 2007-08 (9.4%). Estos datos son coincidentes con los obtenidos en los análisis de suelo, que mostraban un potencial de mineralización de nitrógeno mayor en las rotaciones con pasturas. Por otro lado, en las dos últimas zafras, el sorgo sobre praderas cortas tuvo lecturas de SPAD un 6.3 y un 6.7% mayores que el sorgo sobre praderas largas, posiblemente debido a diferencias en la composición botánica (gramilla y leguminosas) de ambos tipos de rastrojos.

Cuadro 4. Estado nutricional del cultivo al estado de embuche, medido como SPAD según manejo de pastoreo y de suelo por intensidad de uso del suelo expresada como tiempo que ocupa la pastura en la rotación en proporción a la fase de cultivos.

Rotación	Zafra		
	2005-06	2006-07	2007-08
	-----Índice SPAD -----		
Cultivo Continuo	52.3b	--	42.25 b
Rotación Larga	53.6a	42.4 b	43.32 b
Rotación Corta	53.3ab	45.1 a	46.23 a

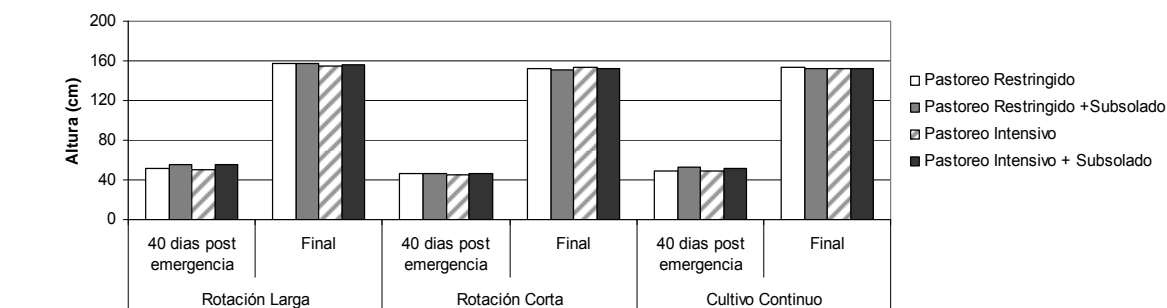
Valores seguidos por letras mayúsculas distintas en misma columna difieren significativamente ($p=0.05$).

Los valores reportados en la literatura como críticos para suficiencia de nitrógeno en maíz corresponden a 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 en las zafras 2007 y 2008. En la zafra 2006, las condiciones climáticas para el crecimiento y desarrollo del cultivo fueron excepcionales, lo que se manifiesta en el buen estado nutricional que mostró el cultivo. Con el mismo nivel de fertilización nitrogenada en todas las zafras, las condiciones de sequía en 2007 y las intensas precipitaciones que ocurrieron a fines de diciembre de 2008 luego de aplicar la urea en 6 hojas, es probable

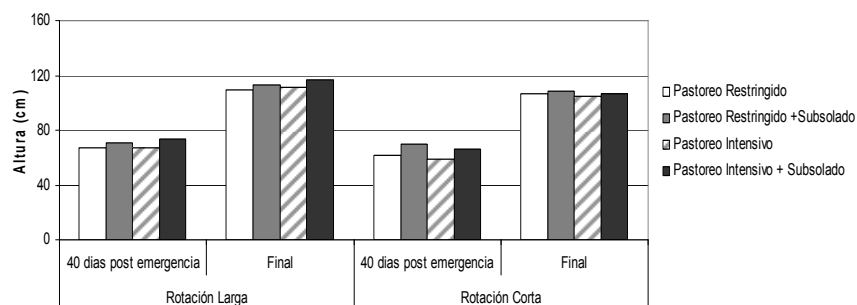
que parte del fertilizante aplicado no pudiera ser absorbido por el cultivo en el primer caso y se perdiera por lavado en la última zafra.

Crecimiento del Cultivo

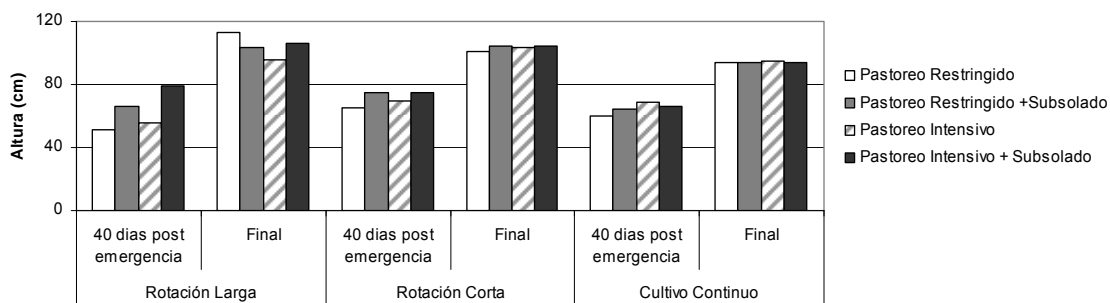
Se constató un mayor crecimiento y más rápido desarrollo del cultivo en las fajas subsoladas que en las no subsoladas, principalmente durante la etapa vegetativa (Figura 6). Sin embargo estas diferencias se diluyeron a medida que se avanzó en el ciclo del cultivo.



A



B



C

Figura 6. Altura de planta de sorgo medida a los 40 días post emergencia y al final del ciclo según manejo de pastoreo y de suelo por intensidad de uso del suelo expresada como tiempo que ocupa la pastura en la rotación en proporción a la fase de cultivos. A. Zafra 2006, B. Zafra 2007, C. Zafra 2008.

Número de panojas

Se encontraron diferencias en el número de panojas entre años y rotaciones (Figura 7), que en general se correspondieron con la población lograda.

La menor población de panojas obtenidas en las zafras 2006 y 2008 comparadas con la zafra 2007 era esperado considerando el déficit hídrico que ocurrió en ambas desde la emergencia hasta el momento de primordio a fines de diciembre lo que afecto el macollaje.

Las diferencias en el número de panojas observadas entre rotaciones en 2007 se especula estuvieron vinculadas al importante enmalezamiento con *Digitaria sanguinalis* en la rotación corta. Por otro lado, como ya se mencionó anteriormente, el menor número de panojas en la rotación larga comparada con las otras alternativas en la zafra 2008, estuvo probablemente asociada al enmalezamiento con gramilla.

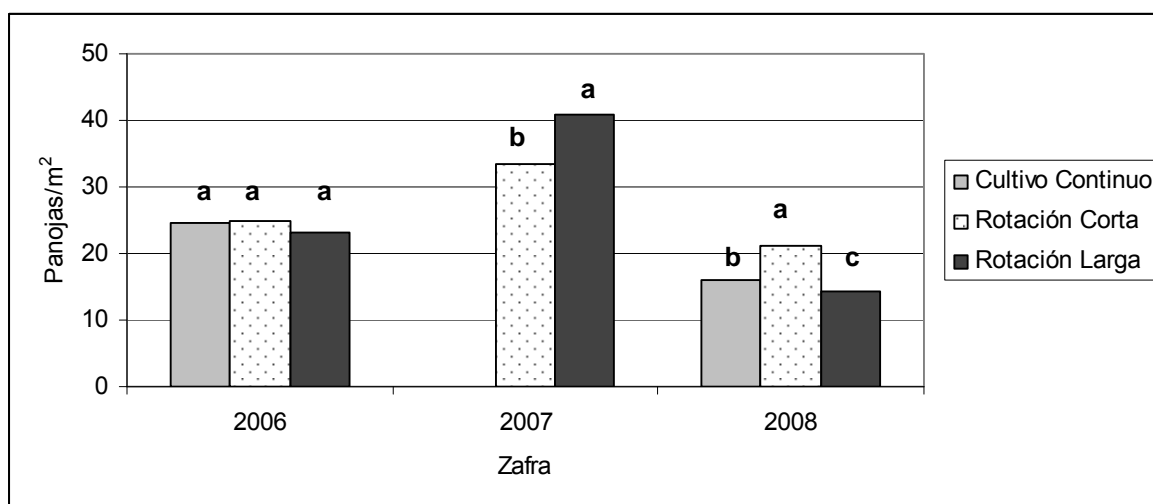


Figura 7. Efecto de 3 intensidades de uso del suelo (proporción pasturas y cultivos en la rotación) sobre el número de panojas/m² de sorgo para tres zafras evaluadas (2006, 2007 y 2008). Gráficos seguidos por una misma letra no difieren significativamente con $p=0.05$.

Rendimiento de grano

Se observaron diferencias significativas de rendimiento entre años (Cuadro 5) que se ordenaron de acuerdo al régimen pluviométrico, reafirmando la idea de que la disponibilidad de agua es el principal factor que define el rendimiento en grano de los cultivos de verano.

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.

Cuadro 5. Rendimiento en grano de sorgo (kg/ha) obtenido para tres nafrasen que se realizó el ensayo en lomadas del este, según intensidad de uso del suelo expresada como tiempo que ocupa la pastura en la rotación en proporción a la fase de cultivos

Rotación	Zafra		
	2006	2007	2008
Cultivo Continuo	8603 a		5492 b
Rotación Corta	8115 ab	4762 a	6765 a
Rotación Larga	7741 b	4520 a	5877 b
Media	8153 A	4641 C	6045 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 $p=0.05$

En la zafra 2006, cuando el régimen térmico y pluviométrico fue muy favorable, los rendimientos de grano más altos fueron obtenidos en la chacra de cultivos continuos y los más bajos en la chacra de la rotación larga. Mientras tanto, hubo una leve tendencia a mayores rendimientos en el sorgo sobre la rotación corta comparado con el sorgo de la rotación larga.

En la zafra 2007, no se observaron diferencias significativas de rendimiento entre la rotación corta y la rotación larga.

En la zafra 2008, se observó mayor rendimiento en la rotación corta con respecto a la rotación larga, y al cultivo continuo (15 y 23% respectivamente). En esta zafra, la chacra sobre la rotación corta tuvo mejor balance entre calidad y cantidad de rastrojo comparada con las demás: mayor cantidad de rastrojo comparada con la de cultivo continuo y mejor calidad de rastrojo comparada con la chacra de la rotación larga. De alguna manera, esto explica la mayor implantación, el mejor estado nutricional (SPAD) a las etapas críticas del cultivo, y el mayor número de panojas obtenido en esa rotación.

A pesar de la mayor calidad de suelo observada en la rotación larga en todos los años, la presencia de gramilla en esta rotación se presentó como una limitante importante para el cultivo. A pesar del mayor potencial de mineralización de nitrógeno en las chacras sobre praderas largas, se especula que la alta incidencia de la gramilla en el rastrojo redujo la tasa de mineralización determinando que no se observaran diferencias en el N absorbido por el cultivo comparado con la chacra bajo cultivo continuo.

La intensidad de pastoreo en el raigras previo al cultivo de sorgo no fue determinante en el rendimiento de grano del cultivo en ninguno de los tres años y en ninguna de las rotaciones evaluadas (cuadro 6) a pesar de las diferencias generadas en la biomasa de rastrojo. Estos resultados muestran que mientras el pastoreo no se realice en condiciones de excesiva humedad, el efecto de compactación superficial en el suelo causado por los animales no fue un problema importante para el cultivo posterior y que la biomasa de rastrojo de raigras no tuvo mayor incidencia en la conservación de agua del suelo más allá de las primeras etapas del cultivo.

Aunque se observó que los tratamientos con subsolado tuvieron una tendencia a mejorar la implantación del cultivo, a promover un desarrollo inicial más rápido, y permitieron una mayor extracción de agua en el perfil, esto no se tradujo en mayores rendimientos de grano en casi todos los casos.

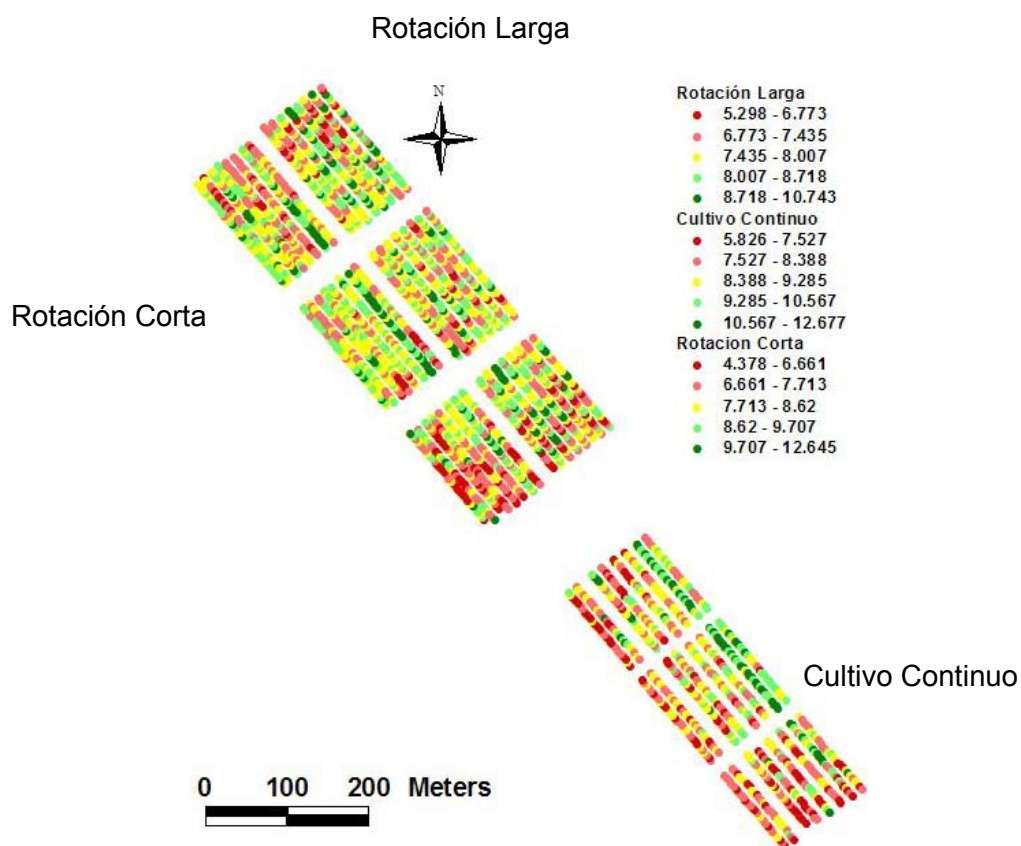
El único efecto significativo del subsolado en el rendimiento de grano fue observado en la zafra 2008 sobre la pradera de larga duración que presentaba un importante enmalezamiento con gramilla que no se pudo controlar adecuadamente luego de tres aplicaciones de glifosato. En estas condiciones, el subsolado contribuyó al control mecánico de la gramilla al tiempo que mejoró la condición física del suelo al aflojar la trama de rizomas, mejorando las condiciones de siembra, particularmente la penetración de los discos sembradores y las condiciones de germinación y emergencia del cultivo.

Cuadro 6. Impacto de 3 intensidades de uso del suelo (proporción pasturas y cultivos en la rotación) y de 4 manejos de suelos y rastrojos en el cultivo previo sobre el rendimiento de grano de sorgo en suelos de la unidad Alférez, para las tres zafras evaluadas.

Zafra	Manejo Suelo- Pastoreo Previo	Rotación			Media
		Cultivo Continuo	Rotación Corta	Rotación Larga	
kg/ha					
2006	Pastoreo Restringido	8508 a	8441 a	7737 a	8238 a
	Pastoreo Restringido+ Subsolado	8523 a	8276 ab	7778 a	8193 a
	Pastoreo Intensivo Pastoreo Intensivo + Subsolado	8705 a 8677 a	7723 b 8018 ab	7679 a 7771 a	8031 a 8174 a
2007	Pastoreo Restringido		4724 a	4420 a	4572 a
	Pastoreo Restringido+ Subsolado		4954 a	4423 a	4689 a
	Pastoreo Intensivo Pastoreo Intensivo + Subsolado		4597 a 4771 a	4671 a 4566 a	4634 a 4669 a
2008	Pastoreo Restringido	5370 a	6616 a	5011 b	5814 a
	Pastoreo Restringido+ Subsolado	5385 a	6952 a	6700 a	6826 a
	Pastoreo Intensivo Pastoreo Intensivo + Subsolado	5578 a 5635 a	7098 a 6392 a	5298 b 6500 a	6198 a 6446 a

Valores seguidos por una misma letra minúscula dentro de la columna para cada año no difieren significativamente con un P=0.05.

No obstante los rendimientos promedios obtenidos en las diferentes zafras y tratamientos evaluados, en la Figura 8 puede apreciarse la alta variabilidad de rendimientos a lo largo de las fajas en cada una de las chacras.



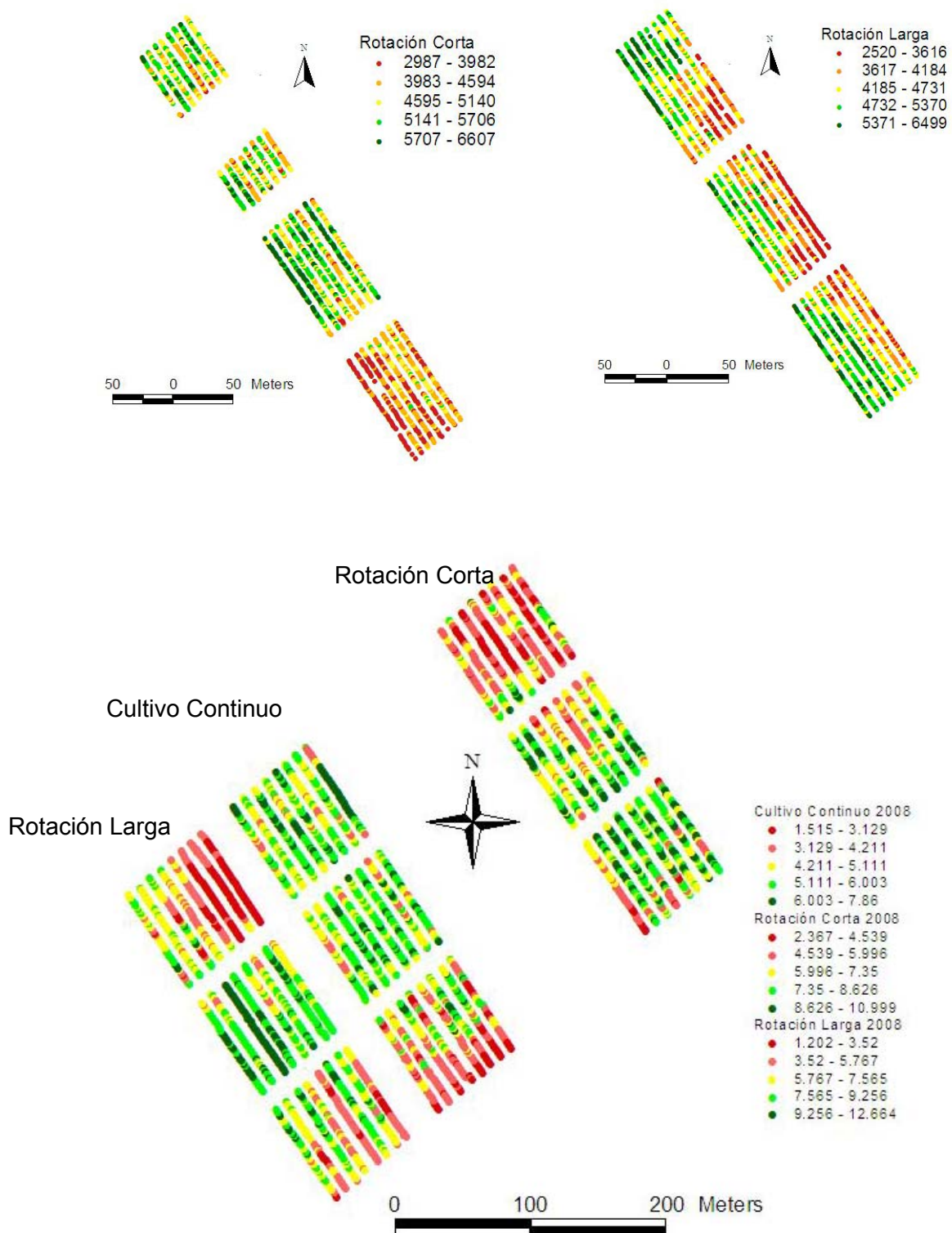


Figura 8. Mapas de rendimiento del cultivo de sorgo generados por el monitor en tres safras evaluadas.

CONSIDERACIONES FINALES

Luego de tres años contrastantes en términos climáticos, la producción de grano de sorgo mostró ser una alternativa viable y estable para su inclusión en sistemas mixtos ganadero-agrícolas en suelos de la Unidad Alférez. La rusticidad y plasticidad del cultivo ante ambientes diversos hizo que el mismo haya tenido rendimientos aceptables aún ante condiciones climáticas adversas como en la zafra 2006-07 (4640 kg/ha) y rendimientos muy buenos en años climáticamente favorables como en 2005-06 (8150 kg/ha).

Durante los tres años el rendimiento de grano del cultivo no fue afectado por la intensidad de pastoreo del raigras 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 biomasa de rastrojo como un factor relevante en la dinámica de agua más allá de las etapas iniciales del cultivo.

El efecto del subsolado fue significativo en el rendimiento de grano solamente en una situación de alta incidencia de gramilla sobre una pradera de larga duración en la zafra 2007-08. En esta situación el subsolado aflojó la superficie del suelo y mejoró la implantación del cultivo. Es necesario repetir la experiencia ante situaciones como ésta, para las que podría resultar una alternativa de manejo interesante. De todos modos, es importante mencionar como aspectos desfavorables de la herramienta el alto consumo de combustible y la falta de estabilidad de la superficie del suelo que deja para las cosechadoras en condiciones de suelo húmedo.

Por último, se confirma que a pesar de la mayor calidad de suelo constatada en pasturas de larga duración comparada con situaciones de cultivos continuos o con pasturas de corta duración, el sorgo en siembra directa no logró traducir esta supuesta ventaja de las condiciones edáficas en mayores rendimientos de grano.

En la medida en que la posibilidad de realizar ensayos a escala de chacra se siga desarrollando, 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, la producción y la investigación podrán continuar acercándose, acelerando el proceso de adopción de tecnologías en el sector productivo.

REFERENCIAS

DIEA. 2006. Encuesta Agrícola "Primavera 2006".

García-Préchac, F.; Ernst, O.; Siri-Prieto, G.; Terra, J. 2004. Integrating no-till into crop-pasture rotations in Uruguay. *Soil Till. Res.* 77:1-13.

Littell, R.C., G.A. Milliken, W.W Stroup, and R.D. Wolfinger. 1996. SAS system for mixed models. SAS Institute, Cary, NC, 633pp.

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.

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