

## PRODUCTIVIDAD DE SORGO GRANÍFERO EN FUNCIÓN DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA Y EL PASTOREO DEL CULTIVO ANTECESOR

José A. Terra<sup>1</sup> y José M. Correa<sup>2</sup>

### INTRODUCCIÓN

El cultivo de sorgo ha tenido un aumento importante de área y rendimientos en los últimos años al igual que lo ocurrido con otros granos agrícolas. En general, el sorgo no es un componente importante de las rotaciones asociadas a la soja en los esquemas de agricultura intensiva con siembra directa implementados por las grandes empresas agrícolas o los productores más especializados. La expansión del sorgo ha estado más bien vinculada a la incorporación masiva de la suplementación en los sistemas de producción animal en las zonas ganaderas o lecheras.

En la cuenca de la Laguna Merín el sorgo ha sido incorporado tanto en las planicies arroceras, generalmente con laboreo, como en las zonas de colinas y lomadas, usualmente con siembra directa. En la zona arroceras el sorgo es muchas veces sembrado en laboreos de verano originalmente destinados al cultivo de arroz que no pudieron ser sembrados por falta de agua o en las laderas difíciles de regar. Pero también existe creciente interés y experiencia en su inclusión sistemática o estratégica en las rotaciones arroz-pasturas. Por otro lado, en las lomadas y colinas el sorgo viene siendo incorporado eventual o estructuralmente en empresas ganaderas para la producción de silo de grano húmedo para la alimentación del ganado de los propios establecimientos. Asociado al uso masivo de la suplementación, en los últimos años también se han construido o expandido plantas de raciones que usan al sorgo como uno de sus principales componentes.

Este contexto de dinamismo y de creciente interés por el cultivo ha generado la necesidad de contar con información agronómica del cultivo adaptada a las distintas zonas fisiográficas de la zona Este. El sorgo granífero se incluyó de forma estructural en el experimento de rotaciones de larga duración de la UEPP en el 2004 cuando se retomó la generación de información sobre cultivos graníferos de secano en la zona. Los trabajos experimentales fueron realizados en fajas a escala de chacra y tuvieron el objetivo de integrar los cultivos de soja y sorgo a sistemas de rotaciones con pasturas en siembra directa mediante prácticas de manejo que mitigaran las principales limitantes de estos suelos para cultivos de verano. En este sentido, el resumen de tres años de los trabajos de sorgo presentados en la jornada de 2008 por Pravia et al. (2008), mostraron que el rendimiento promedio del cultivo fue de 6000 kg/ha y estuvo afectado principalmente por las condiciones climáticas del año y la rotación; mientras que prácticas de manejo tales como el subsolado o la intensidad de pastoreo del raigrás antecesor no tuvieron mayores efectos sobre la productividad del sorgo.

---

<sup>1</sup> Ing. Agr., Ph.D. Programa Producción y Sustentabilidad Ambiental, INIA Treinta y Tres.

<sup>2</sup> Téc. Agr., Programa Producción y Sustentabilidad Ambiental, INIA Treinta y Tres.

Una de las principales interrogantes que está planteada en los sistemas agrícolas con siembra directa actuales está relacionada a los posibles efectos negativos sobre el suelo y el cultivo siguiente que pueda tener el ingreso de animales de pastoreo a los rastros y a los cultivos de cobertura. Por otro lado, interesa conocer la respuesta a N del cultivo de sorgo en estos escenarios contrastantes y su interacción con las condiciones ambientales y de variabilidad edáfica inherente a las chacras.

En la zafra 2008-09 se instalaron dos ensayos en fajas con sorgo sobre dos rotaciones contrastantes con el objetivo de evaluar el impacto del pastoreo invernal del raigrás antecesor sobre el cultivo de sorgo fertilizado con 4 niveles de nitrógeno en distintas posiciones topográficas. La hipótesis de trabajo fue que la respuesta a N del cultivo puede variar en función del grado de cobertura del suelo y de su contenido de agua almacenada.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los dos ensayos fueron realizados en la zafra 2008-09 dentro del experimento de rotaciones de larga duración de la UEPP que ocupa 12 potreros experimentales de 6 ha c/u conteniendo todas las fases de las rotaciones presentes simultáneamente. Los suelos dominantes en el área experimental pertenecen a la unidad Alférez y consisten en Planosoles subéutricos melánicos/ócricos que ocupan las partes altas del terreno, tienen problemas de drenaje y están asociados a blanqueales.

Uno de los ensayos se ubicó sobre una rotación con pasturas de larga duración y el otro sobre una rotación con pasturas de corta duración descriptas a continuación:

a) Rotación Larga (RL, Pot. 6): 2 años de doble cultivo anual forrajero y 4 años de pasturas. Antecesores inmediatos: T. Blanco + Lotus + Festuca (2004-08) - Raigrás (2008).

b) Rotación Corta (RC, Pot. 10): Antecesores inmediatos: Raigrás (2004), Sorgo (2004-05), Raigrás (2005), Soja (2005-06), T. Rojo + Achicoria + Raigrás (2006-2008) - Raigrás (2008).

Cada experimento en fajas consistió en un arreglo factorial de 4 dosis de nitrógeno al estado de V6-V8 del sorgo y el pastoreo o no del raigrás antecesor al cultivo durante el invierno. Las dosis de N (Urea) fueron de 0, 25, 50 y 75 kg/ha N y se aplicaron al voleo el 23 de diciembre cuando el cultivo se encontraba con 6-8 hojas completamente desarrolladas.

Cada uno de los experimentos tuvo 3 bloques y 2 repeticiones por bloque (Figura 1). Las fajas conteniendo los tratamientos fueron de aproximadamente 100 m de largo y 7 m de ancho y fueron dispuestas interceptando la máxima variación del terreno posible.

El raigrás en los tratamientos correspondientes fue pastoreado entre el 20 de agosto y el 20 de setiembre en 2 oportunidades con una carga de 10 novillos/ha de 280 kg/ha. El raigrás y la vegetación acompañante fue controlada durante la última semana de setiembre, con la aplicación de 3,5 l/ha de glifosato potásico (Power Rango) y con una aplicación preemergencia del sorgo con glifosato, atrazina y metholaclor.

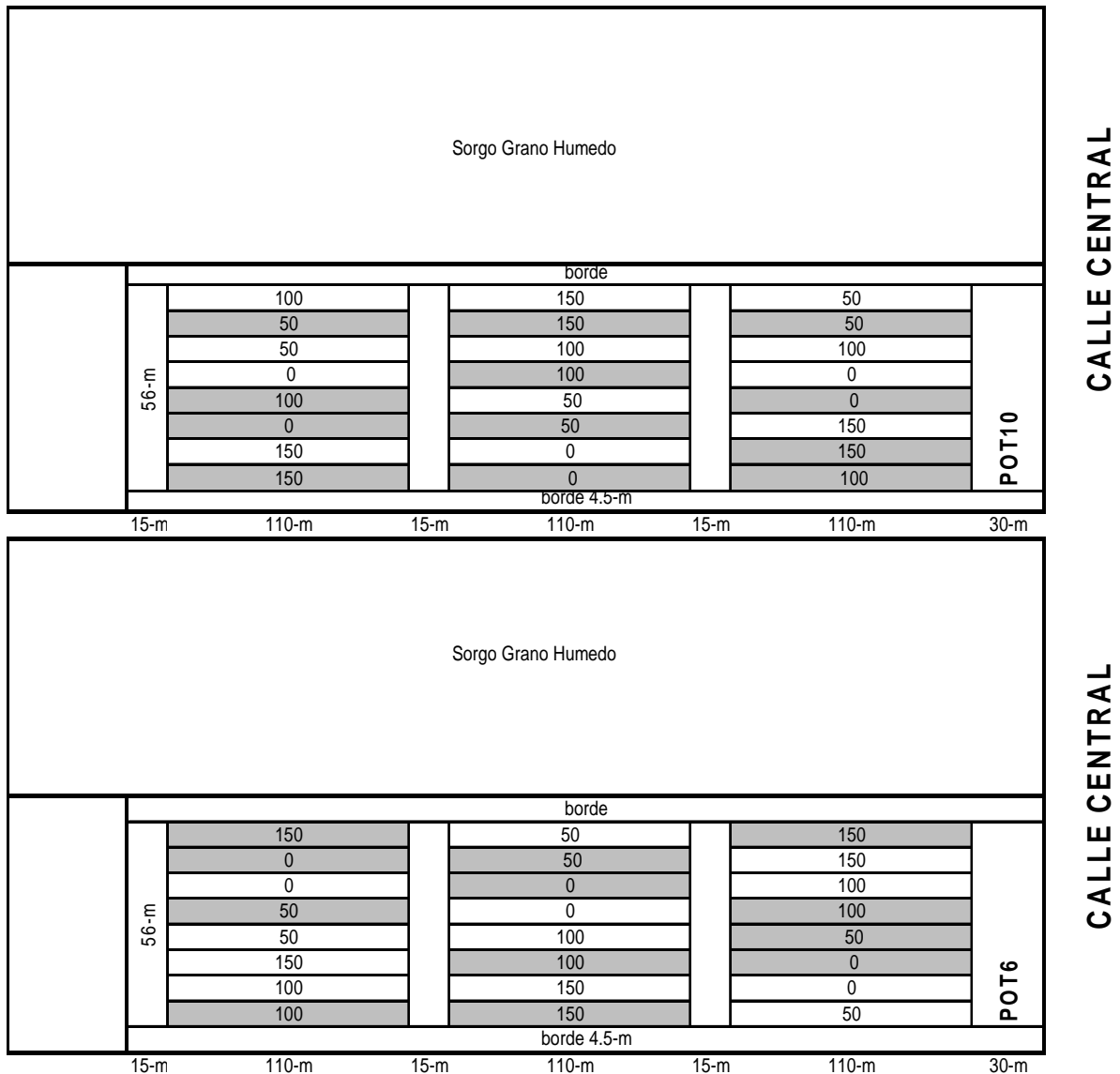


Figura 1. Diseño experimental y disposición de los experimentos en el campo. En sombreado aparecen las fajas pastoreadas y los números indican los kg/ha de urea agregados a V6-V8.

Los ensayos fueron sembrados el 4/11/2008 con el cultivar MS109 (Rutilan) a una densidad objetivo de 300.000 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 curada con el insecticida imidacloprid (Gavilan) a dosis de 500 cc/ha e inoculada. La fertilización basal fue de 150 kg/ha de 15-30-15 (N-P-K) y se aplicó toda en el surco a 10 cm de profundidad. Los detalles (fechas y dosis) del manejo agronómico, incluyendo fertilización y aplicaciones de insecticidas, herbicidas y fungicidas pueden ser apreciados en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Manejo agronómico del cultivo.

Fecha	Actividad	Producto	N. comercial	Dosis /ha
29/09/2008	Pulverización	Glifosato	PowerRango®	3,3 l
		Dicamba	Dombel®	200 cc
		Auxiliar	Hyspray	250 cc
04/11/08	Siembra	Sorgo grano	MS109	10 kg
		Antídoto	Concep III	40 cc/100kg
		Imidacloprid	Gavilán	500cc/100kg g
	Fertilización	15-30-15		150 kg
08/11/08	Herbicida Pre.	Glifosato	Rango®	3,3 l
		Atrazina 48%	Atraprim®	3,3
		Metholaclor	Dual Gold®	1 l
		Auxiliar	Hyspray	250 cc
07/12/2008	Insecticida	Diflubenzuron	Diflulin	50 cc
23/12/2008	Fertilización	Urea		Tratamiento

### Determinaciones

Cada 40 m a lo largo de cada faja se establecieron algunos sitios de muestreo que se georeferenciaron a los efectos de realizar determinaciones en el suelo y en el cultivo durante su ciclo.

Se sacaron muestras de suelo 0-15 cm en cada bloque previo a la siembra y se realizaron análisis de C orgánico, N total, potencial de mineralización de N (PMN), contenido de P (ácido cítrico), K intercambiable y textura. El suelo se muestreó nuevamente previo a la aplicación de la urea a V6-V8 para análisis de N-NO<sub>3</sub>.

Se siguió la evolución del contenido de agua (0-90 cm) a intervalos de 10 cm utilizando una sonda de capacitancia DIVINER 2000 durante algunos momentos fonológicos del cultivo. El equipo ha sido particularmente difícil de calibrar, por lo que no se presentaron los resultados en esta instancia.

En cada bloque se seleccionaron 2 sitios en cada una de las fajas para determinar la biomasa de rastrojo, implantación, evolución fonológica y crecimiento, estimación del contenido de clorofila y componentes de rendimiento.

El rastrojo remanente al inicio del barbecho se determinó mediante 3 muestras con un cuadrado de 20x50 cm en cada uno de los sitios seleccionados.

La implantación del cultivo se determinó a los 30 días postemergencia en los mismos sitios mediante 10 determinaciones a lo largo de 1 m de surco. Cada 2 semanas se hicieron determinaciones de altura del cultivo y estado fonológico.

La estimación del contenido de clorofila se realizó mediante lecturas con un sensor SPAD (Soil Plant Analysis Development) en la hoja bandera de 5 plantas al embuche, floración y grano lechoso.

A la cosecha, en cada sitio se muestrearon 2 m lineales en 2 surcos y se determinaron número de panojas, número de granos/panoja, peso de 1000 granos, humedad y se realizó una estimación de rendimiento para cuantificar posibles pérdidas de cosecha.

La cosecha se realizó a mediados de abril con una cosechadora SLC de 4 m de cabezal equipada con GPS y un monitor de rendimiento AGLLeader PF3000. Se cosecharon los 4 m centrales de cada faja a todo lo largo de la misma y el equipo fue programado para tomar datos de posición, flujo de grano y humedad cada 2 segundos. El grano cosechado a lo largo de cada faja fue pesado con una balanza de campo a lo efectos de corregir posibles errores del equipo. A cada faja de 100 m de largo se la subdividió en tramos de 20 m (celdas) que coincidieron con lo sitios de muestreo y se determinó el rendimiento promedio en su interior.

### **Análisis Estadístico**

El análisis estadístico del efecto de los tratamientos fue realizado con modelos mixtos (PROC MIXED en SAS), conteniendo efectos fijos y aleatorios. Se tomaron como efectos fijos los efectos de tratamientos y la rotación, mientras que los bloques y sus interacciones fueron considerados aleatorios. Para determinar la significancia estadística de los efectos fijos se utilizó un test de F con  $p < 0,05$ . Para determinar la relación entre el rendimiento y los atributos edáficos y topográficos se utilizó análisis de regresión múltiple.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Condiciones climáticas**

El cultivo se sembró el 4 de noviembre con buena humedad en el suelo por la alta cantidad de rastrojo presente. La emergencia fue algo despareja y las etapas iniciales se vieron afectadas por la sequía y por la demanda atmosférica record que se registró en noviembre en la región (Figura 2). Las lluvias de inicios de diciembre determinaron el nacimiento desfasado de nuevas plantas y un rápido crecimiento de las ya existentes. La situación de sequía imperante en enero comprometió seriamente el cultivo hasta el inicio del periodo reproductivo cuando se registraron las lluvias de fines de enero que llegaron algo tarde para concretar un buen rendimiento. Finalmente, el régimen térmico y pluviométrico fue muy favorable para el cultivo en la etapa de llenado de grano que se extendió desde mediados de febrero hasta mediados de marzo.

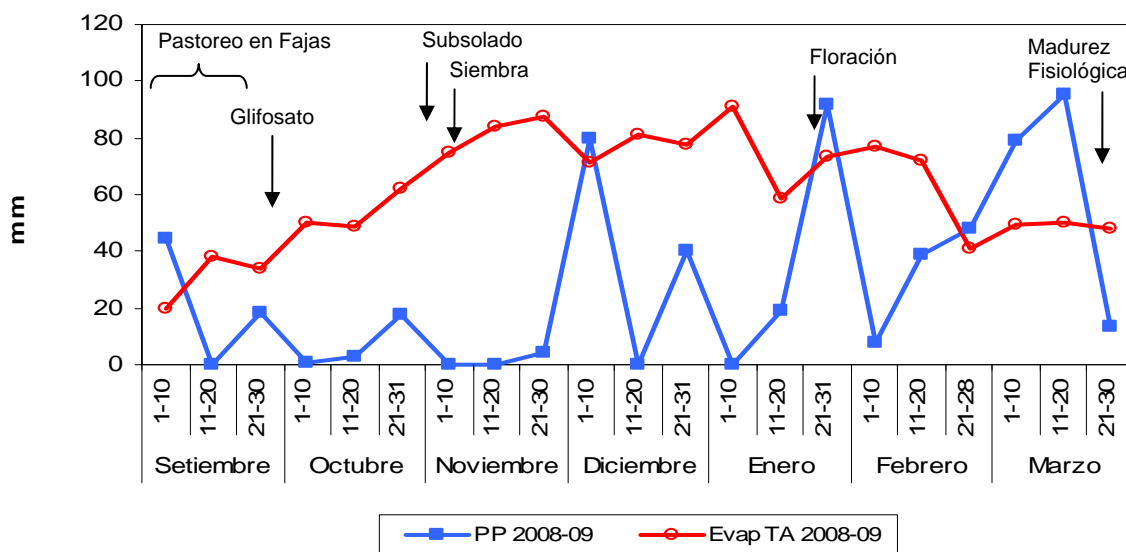


Figura 2. Precipitaciones y evaporación medida en tanque A decádicas (mm) durante el período del cultivo de sorgo, desde inicio del barbecho químico con glifosato y durante el ciclo del cultivo hasta la madurez fisiológica.

### Análisis de suelo

Similar a lo encontrado en otras oportunidades, el contenido de carbono orgánico en el suelo fue superior en la rotación con pasturas de larga duración comparado con la rotación con pasturas bianuales (Cuadro 2). No se observaron diferencias importantes en el contenido de P entre ambas rotaciones, pero la distribución en la topografía fue diferente. Mientras en la rotación larga se encontró más P en el bajo y menos en la parte alta, en la rotación corta ocurrió lo contrario. El contenido de K intercambiable fue más bajo en la rotación corta que en la rotación larga, probablemente explicado por la mayor intensidad de uso del suelo y la mayor extracción relativa de nutrientes asociada a la mayor frecuencia de cultivos en la rotación. El patrón de distribución de K entre ambas rotaciones fue distinto y se observó algo similar a lo ya comentado para P.

Cuadro 2. Contenido de C orgánico, fósforo, potasio y potencial de mineralización de N del suelo (0-15-cm) previo a la siembra del sorgo por sistema de rotación y posición topográfica.

Bloque	P (Ac.Cítrico) (ppm)		K (meq/100g)		COrg (%)		PMN (mg/kg N-NH4)	
	RL	RC	RL	RC	RL	RC	RL	RC
Alto	10	15	0,19	0,11	1,4	1,2	10	27
Ladera media	13	13	0,20	0,15	1,5	1,5	15	29
Ladera baja	14	9	0,27	0,18	1,8	1,6	16	14

### Biomasa de rastrojo

Como era previsible, se generaron diferencias significativas en la biomasa de rastrojo de raigrás remanente entre las parcelas pastoreadas y aquellas que no lo fueron (Cuadro 3). Aunque los dos pastoreos realizados en agosto-setiembre no fueron muy intensos y dejaron un buen rastrojo remanente de 2700 kg/ha, ésta fue un 70% inferior a la biomasa generada por el raigrás que no fue pastoreado. Esta cobertura de residuos sobre el suelo conservó el agua de la única lluvia significativa que se registró durante el barbecho y que a la postre permitió sembrar en la fecha planificada con un adecuado nivel de humedad en el suelo.

Cuadro 3. Efecto del pastoreo del raigrás sobre la biomasa de rastrojo remanente al inicio del barbecho químico para la siembra del sorgo en las dos rotaciones.

TRATAMIENTO	POTRERO-ROTACIÓN	
	6- Rotación Larga	10 - Rotación Corta
No Pastoreado	8100	8900
Pastoreado	2800	2500
Promedio	5450	5700

### Índice de Clorofila (SPAD)

Se observó un efecto significativo de los tratamientos de N y del pastoreo del cultivo previo en la estimación del contenido de clorofila en la hoja bandera al momento de la floración (Cuadro 4).

El aumento de la dosis de N a V6-V8 produjo un aumento en el contenido de clorofila en planta a la floración del sorgo lo cual podría esperarse considerando las condiciones climáticas imperantes en enero que virtualmente detuvieron el crecimiento del cultivo. Los valores de SPAD observados en las dosis mas bajas son similares a los reportados por Pravia et al. (2008) en años climática y productivamente similares, mientras que los observados a la dosis más alta están algo por debajo a los valores de 53 encontrados en la zafra de máxima productividad (8150 kg/ha) reportado por los autores. Si se considera el valor crítico de SPAD de 56 para suficiencia de N en maíz a la floración (Novoa y Villagran, 2002) y se utiliza este criterio, salvando las diferencias entre especies, el sorgo se encontraría aún en niveles deficientes, incluso en el nivel de fertilización nitrogenada más alto.

El menor contenido de clorofila de las fajas no pastoreadas respecto a las fajas pastoreadas se interpreta es debido al alto poder inmovilizador de N que representaron los 8500 kg/ha de rastrojo. Si se estima que el rastrojo tiene un 42% de C en su composición, ésto implica unos 3500 kg/ha C agregados a la flora microbiana del suelo con los correspondientes efectos sobre la dinámica de N. De esta forma la interacción significativa encontrada entre el nivel de rastrojo y la dosis de N, indica que la respuesta del contenido de clorofila al agregado de N fue más importante en aquellas fajas con menor biomasa de rastrojo como se observa en el Cuadro 4.



Cuadro 4. Estimación del contenido de clorofila del cultivo de sorgo medido como índice SPAD según manejo de pastoreo y fertilización en dos sistemas de rotación con diferente proporción de pasturas.

Nitrógen o kg/ha	Rotación Larga		Rotación Corta		MEDIA
	Pastore o Invernal	No pastoread o	Pastore o Invernal	No pastoread o	
	----- SPAD -----				
<b>0</b>	44,7b	41,4b	44,6c	43,8a	<b>43,6</b>
<b>25</b>	44,8b	45,8a	46,7bc	46,8a	<b>46,0</b>
<b>50</b>	46,3ab	45,9a	48,9ab	47,1a	<b>47,0</b>
<b>75</b>	51,2a	45,8a	51,4a	46,7a	<b>48,7</b>
<b>Media</b>	<b>46,8</b>	<b>44,7</b>	<b>47,9</b>	<b>46,1</b>	<b>46,4</b>

### Crecimiento del Cultivo

Aunque se constató un mayor crecimiento y más rápido desarrollo inicial del cultivo en las fajas pastoreadas respecto a las no pastoreadas, posiblemente por una mejor temperatura de suelo, estas diferencias se diluyeron completamente en los estadios reproductivos. No se observaron efectos significativos en la altura del cultivo en embuche, floración o inicio de llenado de grano cuando alcanzo un promedio de 1.21 m.

### Rendimiento de grano

El promedio de rendimiento del ensayo (5310 kg/ha) fue aceptable para las condiciones climáticas que soportó el cultivo durante las etapas vegetativas. Se observaron efectos significativos sobre el rendimiento tanto de la dosis de N como del manejo del pastoreo en ambas rotaciones (Cuadro 5), pero no se encontraron diferencias entre rotaciones como fueron reportados por Pravia et al. (2008) en años anteriores.

Sin embargo, el análisis estadístico de la información reveló una interacción triple altamente significativa para rendimiento entre la dosis de N, el manejo del pastoreo y la rotación que debe atenderse separadamente. En la rotación larga, la respuesta al agregado de N fue altamente significativa en las fajas pastoreadas, mientras que en las fajas no pastoreadas se observó una tendencia de escasa relevancia agronómica. Por otro lado, en la rotación corta la respuesta al N fue significativa sólo sobre las fajas no pastoreadas.

En la rotación larga, el alto nivel de rastrojo pudo haber representado una ventaja en términos de conservación de agua en el suelo, pero su alta capacidad de inmovilizar N sumado al bajo potencial de mineralización de N del suelo (13 mg/kg N-NH<sub>4</sub>), determinó la falta de respuesta al agregado del nutriente. Esto coincide con la información de contenidos de clorofila e indica que el rastrojo representó una limitante importante en la inmovilización de N en esta situación en que la pradera llega degradada al final del ciclo.

Por otro lado, en la rotación corta, con una pastura con alto porcentaje de leguminosas al final de su ciclo y un suelo con mayor potencial de mineralización de N (24 mg/kg N-NH<sub>4</sub>),



es probable que en las parcelas pastoreadas la falta de agua haya sido limitante para capitalizar el nitrógeno agregado. En cambio en las parcelas con más volumen de rastrojo que conservan mejor el agua, se pudo aprovechar mejor el N extra aportado por el sistema.

Cuadro 5. Efecto de la dosis de N y del pastoreo invernal sobre la productividad del cultivo de sorgo en dos sistemas de rotaciones con diferente duración del ciclo de pasturas.

Nitrógeno kg/ha	Rotación Larga		Rotación Corta		MEDIA
	Pastoreo Invernal	No pastoreado	Pastoreo Invernal	No pastoreado	
<b>0</b>	4884c	5306ab	5255a	5144b	5147
<b>25</b>	5202b	5175b	5139a	4751c	5067
<b>50</b>	5384ab	5375ab	5331a	5760a	5463
<b>75</b>	5474a	5553a	5410a	5812a	5564
<b>media</b>	<b>5236</b>	<b>5352</b>	<b>5284</b>	<b>5368</b>	<b>5310</b>
<b>Error estándar</b>	<b>140</b>	<b>148</b>	<b>172</b>	<b>197</b>	<b>80</b>
<i>P &gt; F</i>					
<b>Test de Efectos Fijos</b>					
<b>Nitrógeno</b>	<b>&lt; 0,001</b>	<b>0,08</b>	<b>0,45</b>	<b>&lt; 0,001</b>	<b>0,069</b>
<b>Pastoreo</b>					<b>&lt; 0,001</b>
<b>Pastoreo x N</b>					<b>0,014</b>
<b>Rotación</b>					<b>0,850</b>
<b>Rotación x N</b>					<b>0,037</b>
<b>Rotación x Pastoreo</b>					<b>0,771</b>
<b>Rotación x Pastoreo x N</b>					<b>0,003</b>

No se observaron diferencias significativas en el número de panojas/m<sup>2</sup> entre tratamientos que fue bajo en todos los casos (12.1 panojas/m<sup>2</sup>). Esto indica que las diferencias de rendimientos se explican por el tamaño de las panojas, ya sea por el número de granos por panoja o por el peso de grano de las mismas.

En la Figura 3 se observan los mapas de rendimiento con la variación de productividad de cada tratamiento a lo largo de las fajas y su interacción con las posiciones topográficas. Los colores verdes corresponden a los rendimientos más elevados y en general coinciden con los tratamientos de mayor dosis de N, mientras que los colores rojos indican celdas de baja productividad y en general coinciden con dosis menores. Resulta interesante apreciar que las diferencias de rendimiento entre tratamientos a lo largo de la faja no siempre son consistentes y que por lo tanto es sitio-dependiente. Esta interacción de las prácticas de manejo con la variación edáfica y topográfica necesita ser estudiada con más profundidad.

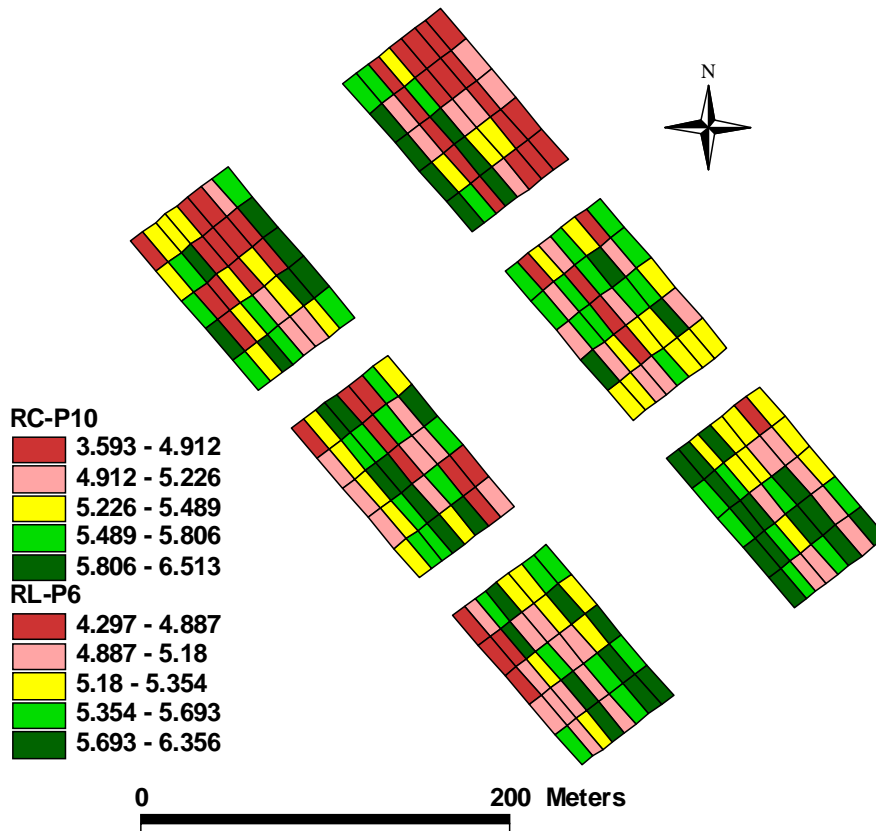


Figura 3. Mapas de rendimiento del cultivo de sorgo generados por un monitor de rendimiento en respuesta al agregado de N y al pastoreo del cultivo antecesor sobre dos sistemas de rotaciones.

### CONSIDERACIONES FINALES

El pastoreo del raigrás a la salida del invierno en las condiciones del ensayo no tuvo efectos significativos directos sobre el rendimiento de grano del cultivo de sorgo siguiente. Esto relativiza los efectos negativos del pisoteo y la remoción de residuos realizados por los animales en pastoreo en los sistemas agrícolas.

Sin embargo, la reducción del 70% de una biomasa de rastrojo de 8500 kg/ha, tuvo efectos significativos sobre la dinámica de N y de agua que afectó la respuesta del rendimiento de sorgo al agregado de N en función de la rotación. La generación de grandes volúmenes de residuos de difícil descomposición a la salida de praderas degradadas parece inadecuado por los efectos que podrían tener residuos de alta relación C/N sobre la inmovilización de N. Por otro lado, la generación de residuos abundantes que conserven el agua del perfil parece más importante a la salida de praderas de corta duración a los efectos de capitalizar en rendimiento el N residual de las leguminosas.

## REFERENCIAS

Pravia, M.V., Terra, J.A, Roel, A., Correa J.M. 2008. 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.

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 N foliar en maíz. Agricultura Técnica (Chile) 62(1): 166-171.