

## PRODUCTIVIDAD DE LA ROTACIÓN ANUAL RAIGRÁS-MAÍZ EN GALICIA: EVALUACIÓN DURANTE CINCO AÑOS EN REGADÍO Y SECANO Y BAJO DOS SISTEMAS DE SIEMBRA

F. X. LÓPEZ CEDRÓN<sup>1,3</sup>, B. RUIZ-NOGUEIRA<sup>1</sup>, A. CONFALONE<sup>1,2</sup>, J. PIÑEIRO<sup>1,4</sup>  
Y F. SAU<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Producción Vegetal. Escola Politécnica Superior. Universidade de Santiago de Compostela. Campus Universitario s/n. 27002 Lugo (España). <sup>2</sup>Facultad de Agronomía de Azul. 7300-Azul. Buenos Aires. (Argentina). <sup>3</sup>Servicio de Infraestructuras Agrarias. Consellería do Medio Rural. Edificio administrativo. Ronda da Muralla 70. 27003 Lugo (España). <sup>4</sup>Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo (CIAM). Apartado 10. 15080 A Coruña (España). <sup>5</sup>Departamento de Biología Vegetal, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Univ. Politécnica de Madrid, Avenida de la Complutense s/n. 28040 Madrid (España).

### RESUMEN

Entre los años 1997 y 2002, se ha estudiado en Lugo el rendimiento en regadío y en secano de la rotación anual raigrás italiano alternativo-maíz forrajero bajo dos técnicas de siembra: laboreo convencional y siembra directa. Se incluyó en el diseño experimental una pradera de corta duración de raigrás italiano no alternativo, para contrastarla con las producciones de la rotación intensiva.

Considerando la rotación de dos cultivos por año, las producciones medias de los cinco años estudiados, se situaron en 28,00, 21,67, 27,93 y 20,90 t ha<sup>-1</sup> de materia seca (MS) (laboreo regadío, laboreo secano, siembra directa regadío y secano, respectivamente). En el caso del raigrás no alternativo se situaron en 15,69 y 8,27 t ha<sup>-1</sup> de MS (regadío y secano respectivamente). Siendo como se ve, los rendimientos de la rotación más intensiva muy superiores a los de raigrás no alternativo, incluso en condiciones de secano supera al raigrás no alternativo en regadío en un 36% (promedio de los cinco años).

Dentro de la rotación raigrás italiano alternativo-maíz, en la mayor parte de los años ensayados no se detectaron diferencias atribuibles al sistema de siembra, lo que parece mostrar que la técnica de siembra no afecta a la producción de esta rotación.

Las producciones de los tratamientos regados han superado ampliamente a los secanos. Dentro de la rotación raigrás alternativo-maíz, esto fue debido a las mayores producciones del maíz en regadío, ya que las producciones del raigrás alternativo precedidas de maíz secano fueron superiores en cuatro de los años ensayados a las precedidas de maíz regadío. En el raigrás no alternativo las producciones de los tratamientos regados también han sido superiores. Incluso en el verano de 1998, el raigrás no alternativo en secano se secó

completamente, no rebrotando el otoño siguiente, con lo que la producción este año fue nula.

**Palabras clave:** *Lolium multiflorum* L., *Zea mays* L., rotaciones forrajeras, siembra directa.

## INTRODUCCIÓN

La intensificación de la producción de forrajes permite incrementar las producciones ganaderas en regiones donde la superficie de las explotaciones es un limitante, y la tierra disponible para ampliarlas escasea.

Galicia es una región de eminente vocación ganadera y la producción de leche de vacuno domina el sector. Así, la producción láctea representa el 32,9% de la producción final agraria y el 53,5% de la producción final del subsector ganadero (CEA, 2003). El sector productor de leche de vacuno en Galicia ha experimentado una intensa reestructuración desde la entrada de España en la Unión Europea (UE), con un acelerado proceso de reducción del número de explotaciones, que continúa en la actualidad, pasando de 111,6 mil en la campaña 1986-87 (Sineiro y Valdês, 1998) a 22,8 mil en la campaña 2003-04 (AEA-XUNTA, 2004). Paralelamente a la reducción del número de explotaciones, se ha producido un incremento de la producción de leche, de 1650 millones de litros en 1986 (AEA-MAPA, 1987) a 2169 millones de litros en 2004 (AEA-XUNTA 2004), debido a un aumento en la producción láctea por vaca y por explotación.

Sin embargo, no se ha producido una transferencia suficiente de tierras de las explotaciones que desaparecen hacia las que perduran y el incremento de la producción de leche se ha basado en buena parte en un aumento del consumo de concentrados y de forrajes comprados fuera de la explotación. Es por ello por lo que las explotaciones lácteas gallegas, contrariamente a la extensificación propugnada por la política agraria de la UE, se ven abocadas a intensificar su producción forrajera propia para reducir su excesiva dependencia del exterior y limitar, en consecuencia, su vulnerabilidad económica en caso de posibles aumentos del coste de los alimentos comprados que no se correspondan con aumentos en el precio de la leche.

El objetivo de este trabajo es estudiar la productividad de la rotación forrajera intensiva de dos cultivos por año, raigrás italiano alternativo-maíz forrajero, comparándola con la productividad de una rotación menos intensiva, raigrás italiano no alternativo (un cultivo cada dos años). Por otro lado, se pretende cuantificar el efecto de déficit hídrico y del sistema de siembra sobre la mencionada productividad de la rotación más intensiva.

### Las rotaciones forrajeras intensivas

El maíz forrajero (*Zea mays* L.) constituye el principal cultivo forrajero de verano en Galicia, con una superficie de 55 977 ha lo que representa el 59,2% del maíz forrajero cultivado en España (AEA-MAPA, datos del año 2006), no figurando en las estadísticas las reducidas superficies de cultivo que se dedican a sorgo o girasol forrajeros. Lloveras (1990) estudió el posible interés de otros cultivos forrajeros de verano como sustitutos del maíz, obteniendo unas producciones (promedio de tres años y dos localidades en Galicia), de 15,2 t de materia seca por ha para el maíz, 9,6 t ha<sup>-1</sup> para el girasol (*Helianthus annuus*), 7,8 t ha<sup>-1</sup> para el pasto de Sudán (*Sorghum sudanense*) y 9,9 t ha<sup>-1</sup> para el híbrido de sorgo (*Sorghum bicolor*) × pasto de Sudán. Considerando que la digestibilidad *in vitro* de la materia seca del maíz es muy superior a la de los otros cultivos estudiados, las ventajas productivas del maíz respecto de los demás cultivos forrajeros de verano son muy claras y justifican su posición dominante en los sistemas de producción de Galicia.

Por otro lado, Lloveras (1986) estudió la productividad de cultivos forrajeros de invierno en Galicia, como raigrás italiano (*Lolium multiflorum*), centeno (*Secale cereale*), mezcla de avena (*Avena sativa*) con veza (*Vicia sativa*), y colza (*Brassica napus*), que podrían formar parte de una rotación de dos cultivos por año con los de verano anteriormente comentados. Obtuvo las siguientes producciones: 7,2 t ha<sup>-1</sup> para la mezcla de avena con veza; 5,1 t ha<sup>-1</sup> para el centeno; 1,1 t ha<sup>-1</sup> para la colza y 2,5 t ha<sup>-1</sup> para el raigrás italiano alternativo. Con base en estos resultados se llegó a promocionar el cultivo de la mezcla de avena con veza porque, aparte de su mayor producción de materia seca, tenía un mayor contenido en proteína que los cereales de invierno cultivados tradicionalmente en Galicia, como la avena y el centeno, consecuencia de la contribución de la veza a la producción. A pesar de este esfuerzo, la mezcla de avena con veza no llegó a introducirse en las explotaciones ganaderas gallegas porque mostró una gran sensibilidad al encamado, lo que dificultó enormemente su recolección para ensilar. Estudios posteriores demostraron que parte del problema se debió a la variedad de avena utilizada, que no pudo desempeñar su función de tutor para la veza porque es sensible al encamado aún en cultivo monofito.

La siembra de varios cultivos por año, dos en general, en una misma superficie ha sido una práctica frecuentemente empleada para intensificar la producción de forrajes. Se trata de minimizar el tiempo en que el suelo se mantiene sin cultivo, maximizar la intercepción de radiación solar por los cultivos sucesivos y seleccionar las especies más adaptadas a cada período del año. Es obvio que para los períodos más fríos, las especies preferidas serán las de metabolismo fotosintético C<sub>3</sub>, mientras que en verano, con niveles de temperaturas y de radiación elevados, las especies C<sub>4</sub> son las más productivas. Diversos autores han estudiado las producciones de este tipo de rotaciones. Así en Francia, Fleury (1974), Pontailleur (1979), Raphalen (1980) y Raphalen y Bloc (1982), trabajando con la rotación maíz (en verano)-raigrás italiano (en invierno), obtuvieron producciones de

materia seca (MS) en torno a 12,8 t ha<sup>-1</sup> de maíz y 2,7-4,9 t ha<sup>-1</sup> de raigrás. En Bélgica, Van Bockstaele *et al.* (1979) midieron incrementos de producción de 1,5-2,5 t ha<sup>-1</sup> al pasar del monocultivo del maíz a cultivar maíz-raigrás. Por su parte, Murdock y Wels (1978) en Kentucky (EEUU) registraron incrementos de producción entre 3-4 t ha<sup>-1</sup> con sistemas de dos cultivos por año frente al maíz en monocultivo. Crookston *et al.* (1978) observaron un incremento de 7,0 t ha<sup>-1</sup> en Minesota (EEUU), al pasar del maíz de monocultivo a maíz-centeno. Okoli *et al.* (1984) obtuvieron una producción de 15,0 t ha<sup>-1</sup> con la rotación maíz-avena en Wisconsin (EEUU). Finalmente, Fuehring (1978) midió un incremento de producción de 11,4 t ha<sup>-1</sup> entre el monocultivo de maíz y maíz-cebada (*Hordeum vulgare*) en condiciones de regadío en Nuevo Méjico (EEUU).

Los estudios de Lloveras (1987) realizados en Galicia comparan durante cuatro años y en tres localidades la productividad de los ocho sistemas de cultivos forrajeros siguientes: a) *Un solo cultivo por año*: 1) maíz (verano) sin cultivo de invierno ; b) *Dos cultivos por año*: 2) maíz (verano)-centeno (invierno); 3) maíz (verano)-avena+veza (invierno); 4) maíz (verano)-raigrás italiano (invierno); c) *Tres cultivos en dos años*: 5) raigrás italiano (invierno)-maíz (verano)-colza (invierno); d) *Dos cultivos en tres años*: 6) 2 años de pradera-maíz (rotación de tres años); e ) *Un cultivo de cuatro años*: 7) pradera de corta duración y 8) pradera de larga duración. Estos trabajos muestran que los sistemas de dos cultivos por año producen en torno a un 50% más de MS que los sistemas menos intensivos de praderas o maíz como cultivo único, obteniendo producciones medias anuales de MS de 11,2 t ha<sup>-1</sup> en praderas de larga duración, 11,8 t ha<sup>-1</sup> en praderas de corta duración, 18,6 t ha<sup>-1</sup> para la rotación maíz-avena+veza, 15,5 t ha<sup>-1</sup> para la rotación maíz-raigrás italiano y 13,2 t ha<sup>-1</sup> para la rotación raigrás italiano-maíz-colza.

Más tarde, también en Galicia, Piñeiro y Pérez (1997) compararon los sistemas de producción de forraje maíz-raigrás italiano, sorgo-raigrás italiano y praderas mezcla de raigrás italiano con trébol violeta (*Trifolium pratense*), resultando más productivos los dos primeros. Se midió un incremento de producción de 6,4 y 2,1 t ha<sup>-1</sup> al pasar de la pradera al maíz-raigrás italiano y al sorgo-raigrás italiano, respectivamente.

### **Laboreo convencional y siembra directa**

Los sistemas de no laboreo y mínimo laboreo fueron desarrollados en EEUU para tratar de solucionar los graves problemas de erosión eólica e hídrica ocasionados por la agricultura.

En otras regiones del mundo como Europa, donde la erosión eólica e hídrica no cobra la importancia de las zonas antes citadas, la introducción de sistemas de laboreo de conservación está en parte asociada al intento de reducir los costes de producción (Cannell y Hawes, 1994) y también al apoyo de la Política Agraria Común a estos sistemas de cultivo (AEAC.SV, 2000).

En Galicia, y también en el resto de la España húmeda, la introducción de sistemas de laboreo de conservación, se relaciona también con la ya citada intensificación de la producción forrajera al facilitar la introducción de dos cultivos por año (Amiama Ares, 2003), ya que el tiempo disponible para la implantación de un cultivo tras la recolección del anterior es muy reducido, realizándose además en épocas de elevada pluviometría en algunos años, lo que dificulta en buena medida las labores de cultivo.

El cultivo en condiciones de no laboreo ha sido ampliamente estudiado en muchos lugares del mundo, siendo el maíz una de las especies más estudiadas. Centrándonos en los cultivos forrajeros, los primeros ensayos de siembra sin laboreo de especies pratenses en España datan de 1964 (Pozo Ibáñez, 1967) y dieron resultados muy variables. En la España Húmeda, Sineiro (1977) realizó los primeros ensayos de implantación de pastos en terrenos de matorral (transformación de monte a pradera) empleando técnicas de mínimo laboreo, no laboreo y laboreo convencional y obtuvo resultados similares con las tres técnicas de transformación. Más recientemente, Mangado (1990) ensayó en Navarra la siembra directa de pradera sobre pradera y Balza *et al.* (1994) la probaron en País Vasco sembrando raigrás inglés (*Lolium perenne*) y trébol blanco (*Trifolium repens*) detrás de una pradera de festuca alta (*Festuca arundinacea*), tras la aplicación de glifosato 36% unos 83 días antes de la siembra. Cruzado ensayó, también en País Vasco, estas mismas siembras sin tratamiento previo de herbicida (Piñeiro, 1998). Las plantas germinaron pero no se consiguió su establecimiento debido a la competencia con la festuca alta. Piñeiro y Pérez (1995) estudiaron, obteniendo resultados positivos, el establecimiento de raigrás italiano alternativo sobre un alfalfar en su cuarto año de producción, tras aplicar paraquat para controlar las malas hierbas que habían ido estableciéndose a medida que el alfalfar perdía persistencia.

La siembra directa del maíz forrajero ha sido estudiada en Lugo. Los resultados obtenidos muestran que las producciones obtenidas son equivalentes a las del laboreo convencional (Bueno, 1997). También en Lugo se han estudiado diversos sistemas sin laboreo de raigrás italiano (Amiama Ares, 2003), en los que se pone de manifiesto la viabilidad técnica y económica de estos sistemas.

Otros estudios realizados en Galicia empleando la técnica de la siembra directa sobre dos rotaciones de dos cultivos por año, en los que se ensayaron el raigrás italiano alternativo como cultivo de invierno y el maíz forrajero ó el híbrido de sorgo × pasto de Sudán como cultivos de verano (Bordegaray *et al.*, 1996; Piñeiro y Pérez, 1996; Rodríguez *et al.*, 1996 y 1997) indican que no hubo prácticamente diferencias entre la siembra directa y la convencional en las producciones de raigrás italiano y de sorgo. La producción de maíz forrajero en siembra directa fue, sin embargo, un 15% inferior a la siembra convencional en tres de las cuatro localidades ensayadas, y muy inferior en la cuarta, probablemente debido a la naturaleza más pesada del suelo.

El maíz forrajero es el principal cultivo establecido por métodos de siembra directa en Galicia, habiendo llegado a alcanzar una superficie estimada en unas 15,000 ha (González Lemos, 2003).

### **Efecto del déficit hídrico: regadío y secano**

A pesar de la naturaleza húmeda del clima de Galicia, el déficit hídrico producido en el verano es el principal factor limitante a la producción. Su eliminación por medio del riego es, normalmente, el camino más efectivo para intensificar la producción de los cultivos (Ruíz Nogueira *et al.*, 2001; López Cedrón *et al.*, 2002; Sau *et al.*, 2002). La producción de biomasa y grano se reduce cuando éstos se ven sometidos a un déficit hídrico, como consecuencia del cierre estomático, con el consiguiente descenso de la evapotranspiración, y de la reducción del Índice de Área Foliar (IAF), que provoca un menor porcentaje de radiación interceptada (Monteith, 1972; Karlen y Camp, 1985; Parvez *et al.*, 1989).

La influencia del sistema de siembra (laboreo convencional frente al no laboreo) sobre el déficit hídrico ha sido puesto de manifiesto por numerosos autores, y la utilidad del no laboreo para la conservación del agua del suelo está bien documentado en otras regiones (Blevins *et al.*, 1971; Jones *et al.*, 1969, Wagger y Denton, 1989). La mayor conservación de la humedad en los sistemas de no laboreo, se atribuye al efecto de los residuos del cultivo precedente, que, al ejercer un efecto de pantalla, reducen la evapotranspiración del cultivo (Munawar *et al.*, 1990, Dick *et al.*, 1992).

El agua ha sido siempre un bien muy apreciado y origen de muchos conflictos entre vecinos a la hora de administrar un bien siempre escaso en pequeños regadíos históricos, que se limitan a las cuencas de pequeños ríos o de pequeños manantiales. Las superficies de prados (denominados ‘prados naturales’ en Anuario de Estadística Agraria del MAPA) se asociaron históricamente a la existencia de agua de riego –de pequeños regatos y manantiales- hasta la década los años cincuenta del siglo XX, en la que se inició el desarrollo de nuevas superficies sembradas a praderas (denominadas ‘praderas polifitas’ en Anuario de Estadística Agraria del MAPA), que experimentaron un crecimiento espectacular en la segunda mitad del siglo, paralelo a la de la producción de leche de vacuno. La investigación realizada en los años cincuenta sobre praderas y su posterior divulgación ayudaron a modificar la opinión ancestral de los agricultores y ganaderos gallegos de que solamente se podía producir hierba en zonas encharcadas o con regadío, aunque sólo fuese ocasional. Esto permitió ampliar la zona de pastos a las tierras donde tradicionalmente se cultivaba el trigo, las patatas y los nabos, y a tierras ocupadas previamente por matorrales. Es también histórico y muy apreciado el riego del cultivo del maíz en los valles de Rias Baixas (Pontevedra) y Lemos (Lugo), y del cultivo de la patata en Xinzo de Limia (Ourense). A pesar de ello, el efecto del riego sobre los cultivos ha sido poco estudiado hasta el momento. La cuantificación de su efecto en estudios recientes muestra importantes incrementos de producción ya que se suele producir un importante déficit hídrico durante los meses de verano (Ruíz Nogueira *et al.*, 2001; López Cedrón *et al.*, 2002), lo que justifica la práctica ancestral del riego allí donde los agricultores pudieron disponer de agua para sus cultivos.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Localización de los ensayos

Se realizaron ensayos de campo durante 5 años consecutivos, desde septiembre de 1997 hasta octubre de 2002. Estos ensayos corresponden con los años agrícolas 1997/1998, 1998/1999, 1999/00, 2000/2001 y 2001/2002. El campo de ensayos se ubicó en la Finca de Prácticas de la Escuela Politécnica Superior (EPS) de la Universidad de Santiago de Compostela (USC) situada en Lugo (43°00' N; 7°30' O; 480 m de altitud).

### Características del suelo

Las principales características del perfil del suelo están recogidas en la Tabla 1. Todos los horizontes del perfil tienen una textura franco-arenosa, con un contenido en arcilla en torno al 12% en los dos primeros horizontes, que llegan hasta los 40 cm de profundidad, y en torno al 7% en los horizontes siguientes. El pH en agua del suelo es próximo a 5,5. La parcela tiene una ligera pendiente (entre el 2% y el 2,5%) en dirección sudeste.

TABLA 1

Principales características del perfil del suelo de la parcela experimental.

*Main soil profile characteristics of the experimental field.*

Horizonte	Profundidad (cm)	Carbono Orgánico (%)	pH (en H <sub>2</sub> O)	Densidad Aparente (g cm <sup>-3</sup> )	Arcilla (%)	Limo (%)
Ap1	0-20	4,4	5,5	1,29	12,8	28,0
Ap2	20-40	2,9	5,5	1,31	10,9	14,8
BC	40-50	2,2	5,8	1,37	7,3	12,5
C	>50	1,9	5,8	--	7,2	8,2

### Observaciones meteorológicas

En la Tabla 2 se recoge el resumen de los datos meteorológicos de los años de ensayo. Los datos de temperaturas y precipitación se obtuvieron mediante una estación meteorológica automatizada, situada en las proximidades del ensayo, cuyos sensores estaban conectados a un "data logger" (Delta-T Logger de Delta-T Devices, Cambridge, Reino Unido). La radiación global (RG) se estimó a partir del número de horas de sol medido en el Observatorio Meteorológico de Rozas (provincia de Lugo) que depende del Instituto Nacional de Meteorología, utilizando la ecuación de Ångström (Allen *et al.*, 1998).

TABLA 2

**Medias mensuales de la radiación solar global incidente diaria (RG), medias mensuales de la temperatura máxima (T<sub>máx</sub>) y mínima (T<sub>mín</sub>) diaria y precipitación mensual acumulada (P) desde septiembre de 1997 hasta octubre de 2002.**

*Monthly averages of incident daily solar radiation (RG), daily maximum (T<sub>máx</sub>) and minimum (T<sub>mín</sub>) temperatures, and monthly accumulated rainfall (P) from September 1997 to October 2002.*

Año 1997													
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
RG	(MJ m <sup>2</sup> día <sup>-1</sup> )	-	-	-	-	-	-	-	-	12,6	7,2	3,7	3,0
T <sub>máx</sub>	(°C)	-	-	-	-	-	-	-	-	24,6	20,2	13,3	11,0
T <sub>mín</sub>	(°C)	-	-	-	-	-	-	-	-	12,1	11,0	7,0	3,7
P	(mm)	-	-	-	-	-	-	-	-	39,6	182,2	215,8	133,0
Año 1998													
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
RG	(MJ m <sup>2</sup> día <sup>-1</sup> )	5,6	9,6	13,4	12,7	19,2	20,4	21,1	20,0	12,6	8,9	4,6	3,5
T <sub>máx</sub>	(°C)	11,8	15,7	16,9	12,5	19,2	22,5	23,7	27,4	22,2	17,3	15,5	10,5
T <sub>mín</sub>	(°C)	4,0	1,9	4,9	5,0	8,2	10,2	12,7	14,2	12,3	8,3	7,0	0,5
P	(mm)	71,0	28,8	56,0	327,6	72,8	13,2	38,0	16,8	106,4	25,6	48,4	50,1
Año 1999													
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
RG	(MJ m <sup>2</sup> día <sup>-1</sup> )	4,9	8,4	12,1	15,5	17,0	21,1	21,6	19,7	13,0	8,7	6,2	4,1
T <sub>máx</sub>	(°C)	11,2	11,3	14,0	15,7	18,7	20,6	26,0	24,8	21,6	17,1	12,2	10,3
T <sub>mín</sub>	(°C)	2,2	0,5	3,0	4,9	8,7	10,6	13,9	12,9	12,0	8,9	3,8	3,0
P	(mm)	90,8	55,6	128,5	108,1	81,6	18,2	6,0	59,0	163,4	175,4	70,6	139,2
Año 2000													
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
RG	(MJ m <sup>2</sup> día <sup>-1</sup> )	6,8	7,1	13,2	11,1	17,3	22,4	19,9	19,7	14,6	8,4	4,2	3,0
T <sub>máx</sub>	(°C)	9,9	13,7	15,7	12,2	19,2	24,4	23,1	25,3	24,0	16,8	12,0	12,3
T <sub>mín</sub>	(°C)	-1,4	4,5	2,7	4,8	8,6	10,2	12,8	12,3	10,7	7,2	5,5	6,3
P	(mm)	45,6	44,2	39,6	221,0	114,4	4,4	53,2	26,4	50,8	115,4	287,0	342,0

		Año 2001											
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
RG	(MJ m <sup>-2</sup> día <sup>-1</sup> )	4,1	9,4	8,4	15,9	19,0	21,5	19,1	18,7	16,5	10,9	6,0	4,2
Tmáx	(°C)	10,4	12,6	13,1	14,8	19,7	23,9	23,1	25,6	21,6	19,3	12,4	8,9
Tmín	(°C)	4,6	2,3	6,4	5,0	7,8	10,7	12,3	12,8	9,8	9,5	3,0	1,7
P	(mm)	257,7	104,0	305,2	66,2	83,0	17,8	61,5	76,0	80,0	170,6	7,9	35,4

  

		Año 2002											
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
RG	(MJ m <sup>-2</sup> día <sup>-1</sup> )	3,7	6,1	10,6	14,1	14,2	17,4	19,3	16,3	12,3	7,1	3,4	-
Tmáx	(°C)	11,9	12,4	15,3	16,7	16,1	21,7	23,5	23,6	23,3	18,8	12,5	-
Tmín	(°C)	3,1	3,8	4,1	3,7	6,0	10,6	11,6	11,9	10,8	9,5	5,8	-
P	(mm)	75,3	94,0	40,2	18,4	85,9	52,1	13,5	14,8	59,2	211,0	268,3	-

## Factores, tratamientos y diseño experimental

### Factores estudiados

Se estudiaron los tres factores siguientes:

1) Dos rotación de cultivos:

a) Rotación de dos cultivos por año, de Raigrás Italiano Alternativo (RIA) o anual -en invierno-, y Maíz (M) forrajero -en verano- vs b) Raigrás Italiano No Alternativo (RINA) o bianual.

2) Dos tipos de laboreo:

a) Laboreo Convencional (LC) vs b) Siembra Directa (SD).

3) Dos niveles de riego:

a) Secano (S) vs b) Riego (R) agua no limitante.

### Tratamientos y diseño experimental

Los dos tipos de laboreo se aplicaron solamente a las rotaciones de dos cultivos por año. Para el raigrás italiano alternativo se utilizó solamente la siembra convencional, resultando un total de seis tratamientos, que se replantearon en el campo experimental con un diseño en parcelas divididas (split-plot), con cuatro repeticiones, en el que la *parcela principal* correspondió al nivel de agua aplicada (secano vs regadío) y la subparcela la combinación de rotación de cultivo con tipo de laboreo (dos cultivo por año con laboreo convencional, dos cultivos por año con siembra directa, y raigrás italiano bianual con

laboreo convencional). Las subparcelas fueron de 12,0 m × 7,0 m (84,0 m<sup>2</sup>), que para el caso del maíz consistieron en 16 líneas de 7 m de longitud, con 75 cm de separación entre líneas.

### ***Relación de tratamientos***

Se establecieron los seis tratamientos siguientes, los tres primeros en secano y los tres últimos en regadío:

- Raigrás italiano alternativo -maíz con laboreo convencional en secano.
- Raigrás italiano alternativo-maíz con siembra directa en secano.
- Raigrás italiano no alternativo con laboreo convencional en secano.
- Raigrás italiano alternativo-maíz con laboreo convencional en regadío.
- Raigrás italiano alternativo-maíz con siembra directa en regadío.
- Raigrás italiano no alternativo con laboreo convencional en regadío.

Para poder evaluar el efecto de la falta de agua en los cultivos sin interferencia de otros factores, se han mantenido todos los tratamientos en condiciones no limitantes tanto de fertilizantes como de densidades objetivo de plantas. Además se mantuvieron las parcelas libres de plagas y de enfermedades.

### **Dosis de siembra y variedades**

Raigrás Italiano Alternativo cv Promenade: 40 kg ha<sup>-1</sup> repartidos a voleo. Raigrás Italiano No Alternativo cv Exalta: 30 kg ha<sup>-1</sup> repartidos a voleo. MAÍZ ciclo 200 cv Clarica: 200 000 semillas ha<sup>-1</sup> con separación entre líneas de 75 cm y aclareo manual cuando al plántula tenía una altura de 20 cm para dejar la densidad final de 100 000 plantas ha<sup>-1</sup>.

### **Laboreo del terreno y siembra**

En el otoño de 1997 se preparó el suelo mediante Laboreo Convencional consistente en un pase cruzado de grada pesada de discos movida por tractor, abonado de fondo y otro pase cruzado de grada para la siembra del raigrás italiano alternativo o anual (fase de invierno de la rotación de dos cultivos por año) y del raigrás italiano no alternativo o bianual. A partir de la primavera de 1998, el maíz y el raigrás se sembraron manualmente en las parcelas de Laboreo Convencional, con preparación previa del terreno con cultivador y fresadora, y con una máquina especializada en las de Siembra Directa, sin laboreo previo.

## Fechas de siembra

Se recogen en la Tabla 3.

TABLA 3  
**Fechas de siembra de los cultivos en los años de ensayo.**  
*Sowing dates of the crops for the experimental years.*

		Año 1997	Año 1998	Año 1999	Año 2000	Año 2001	Año 2002
<b>Maíz</b>	LC <sup>b</sup>	-	14 mayo	24 mayo	18 mayo	19 mayo	8 mayo
	SD <sup>b</sup>	-	15 mayo	24 mayo	18 mayo	19 mayo	9 mayo
<b>RIA<sup>a</sup></b>	LC <sup>b</sup>	24 sept.	21 oct.	8 oct.	27 oct.	26 oct.	-
	SD <sup>b</sup>	24 sept.	7 oct.	8 oct.	25 oct.	25 oct.	-
<b>RINA<sup>a</sup></b>	24 sept.	-	8 oct.	-	26 oct.	-	

<sup>a</sup>RIA: Raigrás italiano alternativo (annual ryegrass); RINA: Raigrás italiano no alternativo (biannual ryegrass)

<sup>b</sup>LC: Laboreo convencional (conventional tillage); SD: Siembra directa (direct drilling).

## Abonados, enmiendas y cortes del raigrás

Las dosis aplicadas a cada cultivo en los diferentes años experimentales se describen a continuación.

### *Año 1997*

- Raigrás italiano alternativo y no alternativo: abonado de establecimiento de 60, 44 y 104 kg ha<sup>-1</sup> de N, P y K, respectivamente, así como una enmienda de 1000 kg ha<sup>-1</sup> de caliza en todas las parcelas.

### *Año 1998*

- Maíz: abonado de establecimiento de 120, 26 y 133 kg ha<sup>-1</sup> de N, P y K, respectivamente, y en cobertera se aportaron 200 kg ha<sup>-1</sup> de N en el estadio de 7-9 hojas expandidas.

- Raigrás italiano alternativo: abonado de establecimiento de 60, 44 y 104 kg ha<sup>-1</sup> de N, P y K, respectivamente.

- Raigrás italiano no alternativo: abonado de mantenimiento de 60, 44 y 104 kg ha<sup>-1</sup> de N, P y K, respectivamente.

### *Año 1999*

- Maíz: abonado de establecimiento de 180, 39 y 179 kg ha<sup>-1</sup> de N, P y K respectivamente, que se complementaron con 210 kg ha<sup>-1</sup> de N. A partir de este año el nitrógeno complementario de los tratamientos de secano se aplicó con el resto del abonado para evi-

tar que quedase sin incorporar al suelo en el caso de que no lloviese suficientemente. En regadío se siguió aportando nitrógeno en cobertera en el estadio de 7-9 hojas expandidas, como ya se describió para 1998.

- Raigrás italiano alternativo y no alternativo: *idem* que en 1997.

#### **Año 2000**

- Maíz: *idem* que en 1999.
- Raigrás italiano alternativo y no alternativo: *idem* que en 1998.

#### **Año 2001**

- Maíz: *idem* que en 1999.
- Raigrás italiano alternativo y no alternativo: *idem* que en 1997.

#### **Año 2002**

- Maíz: *idem* que en 1999.

Además en el caso del raigrás italiano, tanto para el alternativo como para el no alternativo, se realizaron diferentes aportaciones de N en cobertera que se describen a continuación: 60 kg ha<sup>-1</sup> en cobertera a la salida del invierno (febrero) y 60 kg ha<sup>-1</sup> tras cada corte, exceptuando el corte que precede la siembra del maíz en el raigrás alternativo y el que precede a la renovación tras dos años de permanencia de la pradera en el no alternativo. En la Tabla 4 se indica la cantidad total de abonado nitrogenado aportada cada año a los cultivos sucesivos. En la Tabla 5 se muestra el número de cortes efectuado al raigrás en los años de ensayo.

TABLA 4

**Cantidad total (kg ha<sup>-1</sup>) de N aplicada cada año a los distintos cultivos.**

*Total N (kg ha<sup>-1</sup>) supplied annually to various crops.*

		Año 1997	Año 1998	Año 1999	Año 2000	Año 2001	Año 2002
<b>MAÍZ</b>			320	390	390	390	390
<b>RIA<sup>a</sup></b>		60	180	180	120	120	180
<b>RINA<sup>a</sup></b>	<b>R<sup>b</sup></b>	60	420	360	360	300	360
	<b>S<sup>b</sup></b>	60	300	120	180	300	300

<sup>a</sup>RIA: Raigrás italiano alternativo (annual ryegrass); RINA: Raigrás italiano no alternativo (biannual ryegrass)

<sup>b</sup>R: Regadío (irrigated); S: Secano (rainfed).

TABLA 5

**Número de cortes efectuados al raigrás italiano, alternativo y no alternativo, durante los años de ensayo.**

*Number of harvests in annual and biannual ryegrass during the experimental years.*

		Año 1997	Año 1998	Año 1999	Año 2000	Año 2001	Año 2002
RIA <sup>a</sup>		1	2	2	1	1	2
RINA <sup>a</sup>	R <sup>b</sup>	1	6	5	5	4	5
	S <sup>b</sup>	1	4	0	2	4	4

<sup>a</sup>RIA: Raigrás italiano alternativo (annual ryegrass); RINA: Raigrás italiano no alternativo (biannual ryegrass)

<sup>b</sup>R: Regadío (irrigated); S: Secano (rainfed).

El abonado de establecimiento fue incorporado mediante labores inmediatamente antes de la siembra del raigrás y del maíz de laboreo convencional. En siembra directa se esparció en superficie. En el caso del raigrás no alternativo, el abonado de establecimiento se realizó en otoño, incorporándolo al suelo y el abonado de mantenimiento se realizó también en otoño, sin incorporación.

### Riegos

En los tratamientos de regadío, se regó sistemáticamente cada vez que las lecturas tensiométricas a 45 cm de profundidad en el maíz, y a 35 cm en el raigrás, se situaban por debajo de  $-50$  cbar. La dosis aportada en cada riego permitía que el suelo volviera a capacidad de campo. Siguiendo estos criterios las aplicaciones realizadas fueron:

TABLA 6

**Aportes totales de agua de riego (mm) en los años de ensayo.**

*Total amount of water (mm) applied to irrigated treatments during the experimental years.*

	Año 1998	Año 1999	Año 2000	Año 2001	Año 2002
Maíz	305	250	295	250	260
RINA <sup>a</sup>	300	185	285	227	245

<sup>a</sup>RINA: Raigrás italiano no alternativo (biannual ryegrass).

### Tratamientos fitosanitarios

Se aplicó 2,4 D (27,5%) + MCPA (27,5%) antes del primer corte del raigrás, a una dosis de un L ha<sup>-1</sup>, de producto comercial para combatir las malas hierbas de hoja ancha emergidas tras la siembra. Se efectuaron en 1997, 1998 y 1999 excepto en las parcelas de

siembra directa establecidas en los otoños de 1998 y 1999 que no tuvieron prácticamente malas hierbas; glifosato (36%) en las parcelas de siembra directa, tanto antes de la siembra de maíz como de raigrás, a una dosis de cinco L ha<sup>-1</sup> de producto comercial; alacloro (35%) + atrazina (20%) a una dosis de cinco L ha<sup>-1</sup> de producto comercial en preemergencia en las parcelas de maíz.

### **Aprovechamientos y muestreos**

#### ***Raigrás***

Para estimar la evolución temporal de la producción de biomasa, se realizaron muestreos, mediante corte de una superficie de 0,25 m<sup>2</sup> en cada parcela a cinco cm del suelo, cada 15 días aproximadamente. Además, cuando la hierba superó los 50 cm de altura se procedió a la siega de la parcela entera y se pesó la producción de una superficie de 12 m<sup>2</sup>.

#### ***Maíz***

Se realizaron muestreos, mediante cortes de una superficie de 0,50 m<sup>2</sup> en cada parcela a ras del suelo, cada 15 días y se cosechó toda la parcela en estadio pastoso-duro, pesándose la producción de una superficie de 6 m<sup>2</sup>.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En la Tabla 7 se indican las producciones anuales totales de materia seca (t ha<sup>-1</sup>) de los diferentes tratamientos, mientras que en la Tabla 8 se presentan las producciones anuales de materia seca (t ha<sup>-1</sup>) de los dos componentes de la rotación raigrás italiano alternativo-maíz (RIA-M).

### **Producción de biomasa del raigrás italiano no alternativo**

Las producciones de las parcelas de raigrás italiano no alternativo regadas superaron a las de secano en un 30% durante el primer año. Las diferencias de producción se registraron a partir del final de la primavera, al producirse un elevado déficit hídrico durante el verano del primer año experimental (1997-1998). Durante el verano de 1998, el raigrás del tratamiento de secano se secó completamente debido a la combinación del déficit hídrico con el estrés de temperatura (Tabla 2). Se trata de un efecto frecuente en las zonas de Galicia con veranos relativamente cálidos y con escasez de lluvias, en las que el raigrás italiano no alternativo o bianual puede comportarse como un cultivo anual, desapareciendo con el paso del primer verano, tras la siembra en el otoño anterior (Piñeiro *et al.*, 2001).

Durante el tercer año, tras la renovación de las parcelas el 8 de octubre de 1999, la producción del regadío duplicó a la del secano, y consiguió superar el verano del año 2000, a pesar de que la sequía fue más precoz que en 1998, lo cual permitió el rebrote otoñal en el cuarto año. Las temperaturas y precipitaciones de julio-agosto (Tabla 2) fueron ligeramente inferiores y superiores, respectivamente, lo cual pudo favorecer la mayor tasa de supervivencia de la pradera. No obstante la pradera quedó muy debilitada y el cuarto año la producción de regadío superó a la de secano en un 85%, a pesar de que el verano fue relativamente lluvioso (Tabla 2). La pradera se renovó de nuevo el 26 de octubre de 2001, siendo las producciones del regadío superiores a las del secano en un 34%. Junio de 2002 fue lluvioso pero las precipitaciones de julio-agosto fueron escasas (Tabla 2).

TABLA 7

**Producción total de materia seca ( $t\ ha^{-1}$ ) de los diferentes tratamientos durante los años de ensayo (desde septiembre de 1997 hasta octubre de 2002).**

*Total biomass production ( $t\ ha^{-1}$ ) for each treatment and experimental year (from September 1997 to October 2002).*

	Sept 97- Sept 98	Oct 98- Sept 99	Oct 99- Sept 00	Oct 00- Sept 01	Oct 01- Oct 02
<b>RINA<sup>a</sup></b>					
Regadío	20,45	15,10	15,84	12,01	15,04
Secano	15,74	0,00	7,85	6,51	11,25
<b>RIA-Maíz LC<sup>a</sup></b>					
Regadío	33,08	29,17	26,26	24,03	27,48
Secano	24,02	21,99	21,00	22,23	19,12
<b>RIA-Maíz SD<sup>a</sup></b>					
Regadío	33,50	31,59	24,74	24,24	25,57
Secano	22,71	23,64	18,13	20,68	19,32
<b>Valores medios</b>					
RINA <sup>a</sup>	18,09 b	7,55 c	11,84 c	9,26 b	13,14 b
RIA-Maíz LC <sup>a</sup>	28,55 a	25,58 b	23,63 a	23,13 a	23,30 a
RIA-Maíz SD <sup>a</sup>	28,11 a	27,61 a	21,43 b	22,46 a	22,45 a
Regadío	29,01 a	25,28 a	22,27 a	20,09 a	22,70 a
Secano	20,82 b	15,21 b	15,66 b	16,47 b	16,56 b
<b>Análisis estadístico</b>					
Rotación (Ro)	***	***	***	***	***
Riego (R)	***	***	***	*	***
Interacción (Ro × R)	***	***	NS	NS	**
CV <sup>b</sup> (%)	4,34	5,61	7,34	10,12	5,90

<sup>a</sup>RIA: Raigrás italiano no alternativo (biannual ryegrass); RIA: Raigrás italiano alternativo (biannual ryegrass); LC: Laboreo convencional (conventional tillage); SD: Siembra directa (direct drilling).

<sup>b</sup>CV: Coeficiente de variación (coefficient of variation).

\*, \*\*, \*\*\*: Diferencias significativas al 5%, 1% y 1‰ respectivamente (significant differences at 5%, 1% and 1‰, respectively); NS: Diferencia no significativa (no significant difference).

Los valores seguidos de la misma letra dentro de una misma columna no presentan diferencias significativas (values of the same column followed by the same letter do not differ significantly).

TABLA 8

**Producción anual de materia seca (t ha<sup>-1</sup>) de los dos componentes de la rotación Raigrás italiano alternativo-Maíz forrajero.**

*Dry matter annual forage production (t ha<sup>-1</sup>) of the two components of the rotation Annual ryegrass-Forage maize.*

	Sept 97-Sept 98		Oct 98-Sept 99		Oct 99-Sept 00		Oct 00-Sept 01		Oct 01-Oct 02	
	RIA <sup>a</sup>	Maíz								
<b>RIA-Maíz LC<sup>a</sup></b>										
<b>Regadío</b>	7,39	25,69	5,10	24,06	2,74	23,52	3,18	20,84	6,82	20,65
<b>Secano</b>	7,39	16,63	6,29	15,69	3,93	17,07	3,15	19,08	6,80	12,31
<b>RIA-Maíz SD<sup>a</sup></b>										
<b>Regadío</b>	7,51	25,99	8,14	23,44	4,20	20,54	2,98	21,26	5,32	20,25
<b>Secano</b>	7,28	15,43	9,57	14,06	4,97	13,16	3,96	16,71	6,39	12,93
<b>Análisis estadístico</b>										
<b>Sistema de siembra (S)</b>	NS	NS	***	*	**	**	NS	NS	NS	NS
<b>Riego (R)</b>	NS	***	NS	***	NS	**	NS	*	**	***
<b>Interacción (S x R)</b>	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS
<b>CV<sup>b</sup> (%)</b>	4,34	6,40	11,16	4,72	16,32	7,21	16,61	5,76	13,61	5,66

<sup>a</sup>RIA: Raigrás italiano alternativo (biannual ryegrass); LC: Laboreo convencional (tillage); SD: Siembra directa (direct drilling).

<sup>b</sup>CV: Coeficiente de variación (coefficient of variation).

\*, \*\*, \*\*\*: Diferencias significativas al 5%, 1% y 1‰ respectivamente (significant differences at 5%, 1% and 1‰, respectively); NS: Diferencia no significativa (no significant difference).

Los valores seguidos de la misma letra no presentan diferencias significativas (values of the same column followed by the same letter do not differ significantly).

### Producción de biomasa del raigrás italiano alternativo

A partir de la siembra del otoño de 1998, inicio del segundo año experimental, y de la aplicación de los tratamientos de siembra directa al raigrás italiano alternativo, las producciones de los parcelas de siembra directa fueron significativamente superiores en un 55% y 35% a las de laboreo convencional en el segundo y tercer año, respectivamente (Tabla 8). En el segundo año esto puede deberse a que las parcelas de laboreo convencional se sembraron 14 días más tarde, y a que las de siembra directa no recibieron herbicidas (2.4 D+MCPA) ni en el segundo ni en el tercer año. Al no remover el suelo tras el cultivo de verano, emergieron limpias de malas hierbas, mientras que fue necesario utilizarlos en los tratamientos de laboreo convencional. En los años cuarto y quinto, al ser las fechas de siembra similares y no ser necesaria la aplicación de 2.4 D+MCPA, no se encontraron diferencias significativas entre sistemas de siembra, lo que coincide con los resultados obtenidos por otros investigadores en Galicia (Piñeiro y Pérez, 2000), y en la Cornisa Cantábrica (Rodríguez *et al.*, 1996). No obstante, estos resultados difieren de los obtenidos por Amiana Ares (2003), en la provincia de Lugo, en un suelo con mayor porcentaje de arcilla, en los que los tratamientos de laboreo convencional fueron más productivos que los siembra directa.

Se pudo comprobar *de visu* que, en general, el establecimiento del raigrás fue mejor en las parcelas de siembra directa, debido a que las lluvias otoñales suelen impedir que el suelo se encuentre en el tempero adecuado para una buena preparación de la cama de siembra mediante laboreo convencional. No obstante, el retraso de las lluvias de otoño observado en el último año experimental (2001-2002), permitió el buen establecimiento de las parcelas de laboreo convencional, observándose por el contrario un retraso en el crecimiento de las parcelas de siembra directa, posiblemente debido a un mayor efecto residual del herbicida (Alacloro+Atracina) aplicado al maíz en este tipo de siembra al no producirse la mezcla, y correspondiente dilución, del herbicida con la tierra del perfil de laboreo del suelo.

Por otro lado, las producciones de raigrás de las parcelas precedidas por maíz en secano, resultaron superiores a las del cultivo en regadío en 20%, 28%, 15% y 9% en el segundo, tercer, cuarto y quinto años, respectivamente), aunque estas diferencias sólo fueron significativas el último año (Tabla 9). Las diferencias a favor del cultivo en secano parecen ser consecuencia de la mayor extracción de nutrientes asociada a la mayor producción del maíz regadío que en secano. A pesar de que las dosis de abonado aplicadas fueron superiores a las necesarias para cubrir las extracciones del cultivo en N, P y K, es posible que el nivel de N aplicado estuviese todavía en la franja de respuesta al abono nitrogenado.

Los rendimientos medios en los cinco años estudiados fueron de 5,05 t ha<sup>-1</sup> de MS para laboreo convencional en regadío, 5,51 para laboreo convencional en secano, 5,63

para siembra directa en regadío y 6,43 para siembra directa en secano, valores superiores a las 4 t ha<sup>-1</sup> de MS obtenidas como promedio por Lloveras (1987 y 1990), que estudió en Galicia los cultivos forrajeros de invierno para rotaciones intensivas con maíz, y también superiores a las conseguidas en el sistema raigrás italiano alternativo-maíz en Francia y Bélgica (Pieters, 1981; Raphalen, 1980). Otro estudio realizado también en zona costera de Galicia (Piñeiro *et al.*, 2001) indica producciones más altas, de 7,5 t ha<sup>-1</sup> de MS, entre siembra en 15 de octubre y finales de abril, para raigrás italiano alternativo, si bien este cultivo no estaba incluido dentro de una rotación.

### **Producción de biomasa del maíz**

Las producciones medias de los tratamientos de maíz forrajero en regadío superaron ampliamente a los del secano en 61%, 60%, 46%, 18% y 62% en 1998, 1999, 2000, 2001 y 2002, respectivamente (Tabla 8). El verano del año 2001 fue el más lluvioso de los cinco años (Tabla 2), lo que se refleja en la menor respuesta del rendimiento al riego.

En el primer año (1998), no se encontraron diferencias de producción atribuibles al sistema de siembra. En los dos años experimentales siguientes, las producciones fueron significativamente superiores en los tratamientos de laboreo convencional a los de siembra directa en 6% y 20% (1999 y 2000, respectivamente; Tabla 8). Finalmente, en los dos últimos años experimentales (2001 y 2002) no se detectaron diferencias significativas atribuibles al sistema de siembra empleado. También Piñeiro y Pérez (2000), en otras localidades de Galicia, obtuvieron producciones inferiores con siembra directa que con laboreo convencional. Sin embargo, observaron que las diferencias se acentuaban con el paso de los años, tendencia que no se detectó en nuestros ensayos. Piñeiro y Pérez (1996) indican que las mayores diferencias entre sistemas de siembra se dan en los suelos más pesados, por lo que no recomiendan el empleo de siembra directa en estas condiciones, sin embargo la consideran una alternativa válida en condiciones de texturas más favorables como puede ser el caso de nuestros ensayos.

Las producciones medias de los cinco años estudiados fueron de 22,95 t ha<sup>-1</sup> de MS para laboreo convencional en regadío, 16,16 para laboreo convencional en secano, 22,30 para siembra directa en regadío y 14,46 para siembra directa en secano. En condiciones de secano, estos valores son similares o superiores a los obtenidos por otros autores en distintas localidades de Galicia: 12 t ha<sup>-1</sup> de MS en monocultivo y 12,4 t ha<sup>-1</sup> en rotación anual (Lloveras, 1987); 15-17 t ha<sup>-1</sup> de MS en monocultivo (Lloveras, 1988)) y también similares o superiores a los conseguidos por el maíz (siempre en condiciones de secano) en otras zonas. En el oeste de Francia, Pontailier (1979), Raphalen (1980) y Raphalen y Bloc (1982), en el sistema maíz-raigrás italiano obtienen producciones de 13 t ha<sup>-1</sup> de MS. En Bélgica, Van Bockstaele *et al.* (1979) señalan rendimientos de 13-14 t ha<sup>-1</sup> de MS para el maíz en rotación con raigrás. En Nueva Zelanda, Hughes (1985) obtiene producciones

de 14 t ha<sup>-1</sup> de MS dentro de la rotación maíz-avena. En Kentucky, Murdock y Wells (1978) describen producciones de 16-17 t ha<sup>-1</sup> de MS para el maíz en monocultivo. En condiciones de regadío, Fuehring (1978) en Nuevo México obtiene producciones tan sólo ligeramente superiores a las 15 t ha<sup>-1</sup> de MS, valor muy inferior al conseguido en nuestras condiciones.

### **Producción de biomasa total de las rotaciones estudiadas**

La producción de la rotación más intensiva, de raigrás italiano alternativo-maíz, aventajó ampliamente a la menos intensiva, de raigrás italiano no alternativo o bianual, en todos los casos (Tabla 8), hasta el punto de que la rotación de raigrás italiano-maíz de secano superó al raigrás italiano bianual de regadío en un 39%, como promedio de los cinco años estudiados.

Dentro de la rotación raigrás italiano alternativo-maíz, no se encontraron diferencias atribuibles al sistema de siembra en los años 1997-98, 2000-01 y 2001-02. En el año 1998-99, las producciones de los tratamientos de siembra directa superaron a los de laboreo convencional, debido a las mayores producciones del raigrás de siembra directa durante el invierno, ya que las producciones de los maíces en verano han sido algo superiores en las parcelas laboreo convencional. Esta tendencia se invirtió en el año 1999-00, siendo las producciones de los tratamientos laboreo convencional superiores a las de los de siembra directa. Esto fue debido a la menor producción del maíz en siembra directa, ya que la producción del raigrás en siembra directa durante el invierno fue superior. Por tanto, estos datos experimentales parecen mostrar que, en general y considerando la media de producción de años sucesivos, la técnica de siembra no afecta a la producción de la rotación raigrás italiano alternativo-maíz. Sin embargo otras investigaciones realizadas en Galicia y la Cornisa Cantábrica (Piñeiro y Pérez, 2000; Rodríguez *et al.*, 1996), encuentran producciones algo superiores en laboreo convencional que en siembra directa, obteniendo los peores resultados en siembra directa, como ya se ha indicado para los diferentes componentes de las rotaciones, en suelos más pesados que los de nuestro ensayo. Además, las menores producciones del maíz en siembra directa dentro de la rotación son las responsables de este hecho, ya que no encuentran diferencias significativas entre los tratamientos para las producciones de raigrás.

También dentro de la rotación raigrás italiano alternativo-maíz, los tratamientos del regadío superaron a los del secano, debido a las mayores producciones del maíz en regadío, ya que las producciones de las parcelas de raigrás precedidas de maíz en secano fueron superiores a las de las precedidas de maíz en regadío, durante cuatro de los años ensayados. En este estudio queda claro que en Lugo el rendimiento en biomasa del maíz, y en consecuencia de su rotación con raigrás italiano alternativo, puede verse muy

beneficiado por la utilización del riego. De hecho, la producción media de los cinco años de estudio de la rotación en regadío supera al secano en un 31%.

Considerando solamente la rotación de dos cultivos por año, las producciones medias de los cinco años, se situaron en 28,00 t ha<sup>-1</sup> de MS para laboreo convencional en regadío, 21,67 t ha<sup>-1</sup> para laboreo convencional en secano, 27,93 t ha<sup>-1</sup> para siembra directa en regadío y 20,90 t ha<sup>-1</sup> para siembra directa en secano, valores que en condiciones de secano, superan a los obtenidos en otros ensayos realizados en Galicia. Son producciones superiores a las obtenidas por Lloveras (1987) (15,5 t ha<sup>-1</sup> de MS para la rotación maíz-raigrás; 16,6 t ha<sup>-1</sup> de MS para el maíz-centeno; 18,6 t ha<sup>-1</sup> de MS para el maíz-avena+veza) y Piñeiro y Pérez (1997) (17,1 t ha<sup>-1</sup> de MS para el maíz-raigrás italiano), todas ellas en condiciones de secano.

Si comparamos nuestras producciones medias de los tratamientos de secano con las obtenidas en otros lugares, vemos que son superiores a las 13-18 t ha<sup>-1</sup> de MS obtenidas para el maíz-raigrás en el oeste de Francia (Raphalen, 1980), también a las 14-16 t ha<sup>-1</sup> de MS señaladas por Van Bockstaele *et al.* (1979) para el maíz-centeno en Bélgica o a las 15 t ha<sup>-1</sup> de MS del maíz-avena en Wisconsin (Okoli *et al.*, 1984). Son no obstante, similares a las 20,6 t ha<sup>-1</sup> de MS obtenidas en Kentucky (Murdock y Wells, 1978) e inferiores a las 24 t ha<sup>-1</sup> de MS obtenidas en Nueva Zelanda con la rotación maíz-avena (Hughes, 1985), a las 22-23 t ha<sup>-1</sup> de MS de Iowa (Helsen y Wedin, 1981) o a las 25,9 t ha<sup>-1</sup> de MS del sistema maíz-centeno en Minnesota (Crookston *et al.*, 1978).

Las producciones medias obtenidas en condiciones de regadío son ligeramente superiores a las señaladas para el sistema maíz-cebada en Nuevo México por Fuehring (1978) en donde la producción media fue de 26,6 t ha<sup>-1</sup> de MS.

## CONCLUSIONES

Con la rotación forrajera más intensiva ensayada, en la que se siembran en rotación anual raigrás italiano alternativo, en invierno, y maíz forrajero, en verano, se obtienen producciones de biomasa muy superiores a la pradera bianual de raigrás italiano no alternativo, superando incluso la producción de la rotación en secano a la de la pradera bianual en regadío. Estos resultados son atribuibles a la mejor adaptación del cultivo C<sub>4</sub> a las condiciones de crecimiento durante el verano.

El riego en verano es un importante factor de producción en Galicia. En el conjunto de los cinco años de ensayo, se han obtenido incrementos de producción debidos al riego que oscilaron entre el 30% y el 102 % para el raigrás italiano no alternativo o bianual, entre el 18% y el 62% para el maíz forrajero, y entre el 13% y el 43% para la rotación de raigrás italiano alternativo o anual y maíz forrajero.

La producción de la rotación raigrás italiano anual-maíz forrajero establecida por laboreo convencional es similar a la de la establecida por siembra directa.

### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por el proyecto SC97-077-C5-5 - Programa sectorial de I+D agrario y alimentario del MAPA, España.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AEAC.SV, 2000. Situación actual de la agricultura de conservación. *Agricultura de Conservación*, **12**, 6-7.
- AMIAMA ARES, C., 2003. *Siembra sin laboreo de raigrás italiano. Influencia de la naturaleza y estado del rastrojo del cultivo precedente y comparación con el laboreo convencional de propiedades físicas del suelo, respuesta del cultivo y aspectos económicos*. Tesis doctoral. Universidad de Santiago de Compostela (España).
- BALZA, R.; CRUZADO, P.; LUQUIN, J., 1994. Resiembra directa de praderas sin laboreo previa aplicación de herbicida total. *Actas de la XXXIV Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos*: 469-472.
- BLEVINS, R. L.; COOK, D.; PHILLIPS, S. H.; PHILLIPS, R. E. 1971. Influence of no-tillage on soil moisture. *Agron. J.*, **63**, 593-596.
- BORDEGARAY, M.; RODRÍGUEZ, M.; CRUZADO, P.; MANGADO, J.; MARTÍNEZ, A.; ZARRAVEITIA, J. V.; PIÑEIRO, J., 1996. Siembra directa en las rotaciones forrajeras de raigrás italiano-maíz en la cornisa cantábrica. *Actas de la XXXVI Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos*: 273-278.
- BUENO LEMA, J., 1997. *Siembra sin laboreo de maíz forrajero en condiciones húmedas*. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid (España).
- CANNELL, R. Q.; HAWES, J. D., 1994. Trends in tillage practices in relation to sustainable crop production with especial reference to temperate climates. *Soil Till. Res.*, **30**, 245-282.
- CROOKSTON, R. K.; FOX, C. A.; HILL, D. S.; MOSS, D. N., 1978. Agronomic cropping for maximum biomass production. *Agron. J.*, **70**, 899-902.
- DICK, W. A.; MC COY, E. L.; EDWARDS, W. M., 1991. Continuous application of no tillage to Ohio soils. *Agron. J.*, **83**, 65-73.
- FLEURY, A., 1974. Introduction du maïs et transformation du système de culture [The introduction of maize and the transformation of the cropping system]. *Comptes Rendus de l'Académie d'Agriculture de la France*, **60**, 357-367.
- FUEHRING, H. D., 1978. Cereal forages and multiple cropping for feed production on the Southern High Plains. *Research Report, New Mexico Agricultural Experimental Station*, 376.
- GONZÁLEZ LEMOS, E. 2003. *Estudio del efecto del déficit hídrico y del método de siembra sobre el rendimiento de dos rotaciones forrajeras en Galicia*. Trabajo de investigación fin de carrera. Universidad de Santiago de Compostela.
- HELSEN, Z. R.; WEDIN, W. F., 1981. Harvested dry matter from single and double cropping system. *Agron. J.*, **73**, 895-900.
- HUGHES K. A., 1985. Maize/oats forage rotation under 3 cultivation systems. 1978-83. 1. Agronomy and yield. *N. Z. J. of Agri. Res.*, **28**, 201-207.

- JAMIESON, P. D.; PORTER, J. R.; GOUDRIAAN, J.; RITCHIE, J. T.; VAN KEULEN, H.; STOL, W., 1998. A comparison of the models AFRCWHEAT2, CERES-Wheat, Sirius, SUCROS2 and SWHEAT with measurements from wheat grown under drought. *Field Crop Res.*, **55**, 23-44.
- JONES, J. N. JR.; MOODY, L. E.; LILLARD, L. B., 1969. Effects of tillage, no tillage, and mulch on soil water and plant growth. *Agron. J.*, **61**, 719-721.
- KARLEN, D.; CAMP, C., 1985. Row spacing, plant population, and water management effects on maize in the Atlantic Coastal Plain. *Agron. J.*, **77**, 393-398.
- LLOVERAS, J., 1986. Cultivos forrajeros de invierno para rotaciones intensivas con maíz en zonas húmedas (Galicia). *Inv. Agrar.: Prod. Prot. Veg.*, **1**, 317-329.
- LLOVERAS, J., 1987. Forage production and quality of several crop rotations and pastures in northwestern Spain. *Grass Forage Sci.*, **42**, 241-247.
- LLOVERAS, J., 1988. Cultivos para la producción de forraje en verano en zonas húmedas. *Inv. Agrar.: Prod. Prot. Veg.*, **3**, 59-70.
- LLOVERAS, J., 1990. Dry matter yield and nutritive value of four summer annual crops in north-west Spain. *Grass Forage Sci.*, **45**, 243-248.
- LÓPEZ CEDRÓN, F. X.; RUÍZ NOGUEIRA, B.; PIÑEIRO, J.; SAU, F., 2002. Intensive forage rotations in Galicia: effect of irrigation and tillage system. *VII Congress of the European Society for Agronomy*, 515-516.
- MANGADO URDANIZ, J. M., 1990. Resiembra de praderas. *Navarra Agraria*, **50**: 65-79.
- MAPA. Anuario de estadística agroalimentaria 2006. <[http://www.mapa.es/es/estadistica/pags/anuario/Anu\\_06/indice.asp](http://www.mapa.es/es/estadistica/pags/anuario/Anu_06/indice.asp)>.
- MONTEITH J., 1972. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. *J. Appl. Ecol.*, **9**, 747-766.
- MUNAWAR, A.; BLEVINS, R. L.; FRYE, W. W.; SAUL, M. R., 1990. Tillage and cover crop management for soil water conservation. *Agron. J.*, **82**, 773-777.
- MURDOCK, L. W.; WELLS, K. L., 1978. Yields, nutrient removal, and nutrient concentrations of double-cropped corn and small grain silage. *Agron. J.*, **70**, 573-576.
- OKOLI, P. S.; DROLSOM, P. N.; SCHOLL, J. M., 1984. Forage production and weed control in a double-cropping program. *Agron. J.*, **76**, 363-366.
- PARVEZ, A.; GARDNER, F.; BOOTE, K. J., 1989. Determinate and indeterminate-type soybean cultivar responses to pattern, density and planting date. *Crop Sci.*, **29**, 150-157.
- PIETERS, H., 1981. Les cultures derobeés. *Rev. Agric. (Bruss)*, **34**, 693-700.
- PIÑEIRO, J., 1998. Implantación de praderas por siembra directa en la zona húmeda de España. *Mínidía de campo sobre siembra directa*. CIAM, 20-30.
- PIÑEIRO, J.; DÍAZ DÍAZ, N.; PÉREZ, M., 2001. Raigrás italiano. *Agricultura*, **827**, 436-443.
- PIÑEIRO, J.; PÉREZ, M., 1995. Siembra sin laboreo de raigrás italiano en un viejo alfalar. *Agricultura*, **775**, 476-482.
- PIÑEIRO, J.; PÉREZ, M., 1996. Siembra directa de las rotaciones de maíz o sorgo-raigrás italiano en dos localidades de Galicia. *Actas de la XXXVI Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos*, 245-249.
- PIÑEIRO, J.; PÉREZ, M., 1997. Complementariedad de las rotaciones maíz/sorgo-raigrás italiano con las praderas de raigrás italiano-trébol violeta. *Actas de la XXXVII Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos*, 183-189.

- PIÑEIRO, J.; PÉREZ, M., 2000. Direct drilling of forage maize, sorghum×Sudan grass and Italian ryegrass. *Grassland Science in Europe*, **5**, 131-133.
- PONTAILLER, S., 1979. 25 ans d'agriculture finistérienne. Une production de plus en plus intensive [25 years agriculture in Finistere. More and more intensive production]. *Comptes Rendus de l'Académie d'Agriculture de la France*, **65**, 111-125.
- POZO IBÁÑEZ, M. DEL., 1967. La siembra de pratenses sin laboreo previo del terreno. *Actas de la VIII Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos*, 53-58.
- RAPHALEN, J. L., 1980. Analyse critique du système raygrass d'Italie-mais [Critical analysis of the Italian ryegrass-maize system]. *Fourrages*, **82**, 105-121.
- RAPHALEN, J. L.; BLOC, D., 1982. Le maïs fourrage dans l'ouest [Forage maize in the west]. *Perspectives Agricoles*, **63**, 15-34.
- RODRÍGUEZ, M.; BORDEGARAI, I.; BESGA, G.; MARTÍNEZ, A.; PIÑEIRO, J., 1997. Corn or sorghum-Italian ryegrass forage rotation under different cultivation systems in high rainfall areas of Spain. *Proceedings of the XVIII International Grassland Congress*. Volume I, **19**, 51-52.
- RODRÍGUEZ, M.; BORDEGARAI, I.; MARTÍNEZ, A.; PIÑEIRO, J., 1996. Tillage methods for Italian ryegrass-maize or sorghum forage crop rotations in northern Spain. *Grasslands Science in Europe*, **1**, 579-582.
- RUÍZ NOGUEIRA, B.; BOOTE, K. J.; SAU, F., 2001. Calibration and use of CROPGRO-soybean model for improving soybean management under rainfed conditions. *Agr. syst.*, **68**, 151-173.
- SAU, F.; BOOTE, K. J.; BOSTIC, W. M.; JONES, J. W.; MÍNGUEZ, M. I., 2002. Testing and improving soil water balance of DSSAT 3.5 models. *VII Congress of the European Society for Agronomy*, 325-326.
- SINEIRO GARCÍA, F., 1977. Técnicas de transformación del monte en pastos. *III Seminario INIA/SEA sobre Pastos, Forrajes y Producción Animal*, 7-52. Centro Regional de Investigación y Desarrollo Agrario de Galicia. Mabegondo. A Coruña (España).
- SINEIRO, F.; VALDÉS, B., 1998. *Análise de xestión de explotacións de vacún de leite*. Escola Politécnica Superior. Lugo (España).
- VAN BOCKSTAELE, T.; BEHAEGHE, V.; DE BEATS, A., 1979. Des cultures de maïs associées a une culture derobée ou des cultures mixtes maïs-legumineuses rendent-elles possible une production maximale de fourrages verts? [Do maize crops associated with a cover crop or mixed maize-legume crops make possible the highest yield of green fodder?]. *Revue d'Agriculture*, **32**, 1112-1125.
- WAGGER, M. O.; DENTON, H. P., 1989. Tillage effects on grain yields in a wheat, double-crop soybean, and corn rotation. *Agron. J.*, **81**, 493-498.
- XUNTA DE GALICIA. Anuario de estadística agraria 2004. <<http://mediorural.xunta.es/consellaria/aea2004.php>>.
- XUNTA DE GALICIA. Contas económicas da agricultura 2003. <<http://mediorural.xunta.es/consellaria/cea2003.php>>.

## **PRODUCTIVITY OF RYEGRASS-MAIZE ANNUAL ROTATION IN GALICIA: FIVE YEAR EVALUATION UNDER IRRIGATED AND RAINFED CONDITIONS AND TWO SOWING SYSTEMS**

### **SUMMARY**

Biomass production of a ryegrass-forage maize rotation was studied in Lugo (north-west Spain), between 1997 and 2002, under irrigated and rainfed conditions and two sowing systems, conventional sowing and direct drilling. The experiment included a short-duration biannual ryegrass to compare with the intensive forage rotation.

Average five-year dry matter (MS) forage yields of the intensive rotation (two crops per year) were 28.00, 21.67, 27.93 and 20.90 t ha<sup>-1</sup> for irrigated conventional sown, rainfed conventional sown, irrigated direct drilled, and rainfed direct drilled plots, respectively. Average MS forage yields of the biannual ryegrass were 15.69 and 8.27 t ha<sup>-1</sup> for irrigated and rainfed treatments. Forage yields of the more intensive rotation were much higher than those of the biannual ryegrass. Even the biomass production of the intensive rotation (five year average) under rainfed conditions, was 36% higher than biomass of the irrigated biannual ryegrass.

Biomass yield of the ryegrass-forage maize rotation was not affected by the sowing system in most of the experimental years.

The forage yields of irrigated treatments were much higher than those of rainfed treatments. For the ryegrass-forage maize rotation, this was due to the large production of irrigated maize. In four out of five years, ryegrass production after rainfed maize was higher than after irrigated maize. For the biannual ryegrass, forage yields of irrigated treatments were also higher than yields of rainfed treatments. The rainfed biannual ryegrass did not recover from the first year summer drought in 1998 and there was no fall re-growth, thus the second year forage production was zero.

**Key words:** *Lolium multiflorum* L., *Zea mays* L., forage rotations, direct drilling.