

Influencia de la radiación y la temperatura sobre la producción de gramíneas pratenses

J. VADELL Y H. MEDRANO

Laboratorio de Fisiología Vegetal. Facultad de Ciencias.
Universitat de les Illes Balears.

Este trabajo pertenece al proyecto 1936-82 C02-01 de la CAICYT

RESUMEN *

Se estudian las variaciones estacionales de la producción de biomasa de plantas pratenses y el efecto de la temperatura y radiación sobre dicha producción.

*El estudio se ha llevado a cabo en cuatro cultivares de *Lolium multiflorum* var *westerwoldicum* cv *Promenade*, *Lolium perenne* cvs *Combi* y *Compas* y *Bromus inermis* cultivados como microcéspedes en cámara de crecimiento con temperatura constante y en exterior, así como en un ensayo de campo.*

L. multiflorum es el genotipo con mayor producción en los tres casos, mostrando también un crecimiento más activo a temperaturas bajas. Las producciones finales muestran diferencias significativas entre los valores de los distintos cultivares ensayados, observándose una clara correspondencia entre los resultados obtenidos en cubetas y en campo.

*A lo largo del cultivo las máximas eficiencias en transformación en biomasa de la radiación fotosintéticamente activa (RFA) se observan en el 6.º corte (abril) alcanzándose valores de hasta 5,18 % en *L. multiflorum*.*

* PALABRAS CLAVE: Producción, Rendimiento, Radiación, Temperatura, Gramíneas forrajeras, *Lolium*, *Bromus*.

La variación observada en la producción a lo largo del cultivo presenta una correlación baja con el sumatorio de temperaturas y muy elevada los valores de irradiación recibida por el cultivo, en los distintos cortes.

INTRODUCCIÓN

El estudio de la producción vegetal presenta un gran interés tanto desde el punto de vista agronómico como fisiológico, ya que refleja el resultado de la incidencia de las condiciones ambientales de crecimiento sobre los procesos metabólicos que conducen a la acumulación neta de biomasa.

Las plantas forrajeras constituyen un modelo interesante para este tipo de estudios: su desarrollo es relativamente sencillo, limitándose a la formación de sucesivas hojas durante el período de crecimiento vegetativo y diferenciación de la espiga en la fase reproductiva. La fase de crecimiento vegetativo es larga, y el rápido rebrote después del corte permite volver a tener, en pocos días, una cobertura completa del espacio cultivado y en consecuencia interceptar buena parte de la radiación incidente de una manera casi continua.

Estas características junto a la relativa facilidad técnica de implantación y mantenimiento de pequeños pastizales o céspedes simulados en un espacio reducido, hacen que las plantas pratenses constituyan un interesante material en estudios relacionados con la productividad vegetal y la eficacia en la intercepción y utilización del flujo radiante por la masa foliar de un cultivo.

En condiciones habituales, los pastos son cultivos de larga duración, que mantienen el crecimiento activo a lo largo de distintas estaciones, por lo que las variaciones climáticas constituyen un factor determinante de la capacidad de producción. Luz y temperatura junto con la precipitación y evapotranspiración, son los factores que tienen más influencia sobre el crecimiento y desarrollo de estos cultivos (MOSS, 1964).

La relación entre luz y producción en forrajes tienen que ver con la densidad de masa foliar (LAI), la disposición de las hojas en la planta y la tasa de fotosíntesis. Hasta que se alcanza el LAI crítico (intercepción del 95 % de la luz) la tasa de crecimiento depende sobre todo del porcentaje de irradiación interceptada (RHODES, 1973; HORST y col., 1978). Una vez alcanzado este

LAI (p. e. LAI=7 en *Lolium multiflorum*), el crecimiento dependerá más de la densidad de flujo radiante que llega y de la capacidad de las hojas para aprovecharlo.

La integral térmica, o suma de las temperaturas medias diarias recibidas por una planta a lo largo del período de cultivo, se ha utilizado con frecuencia como un parámetro bien correlacionado con el desarrollo (LANGER, 1979). Para completar el crecimiento de una hoja nueva de raygrass italiano (*Lolium multiflorum*) y de *Phleum* se necesitan 125 y 130° C respectivamente, mientras que el raygrass inglés (*Lolium perenne*) y *Dactylis* tienen que llegar a 130-150 y 200° C (DUTHIL, 1980). La rapidez en la extensión de la hoja, su capacidad fotosintética y otros parámetros fisiológicos están condicionados, también por temperaturas bajas previas al desarrollo (STAPLETON y JONES, 1987). Así mismo, la precocidad en el espigado está muy correlacionada con la integral térmica (NIQUEUX y ARNAUD, 1967).

En condiciones de buen abastecimiento de agua y fertilizantes, la producción de biomasa vendrá determinada por la respuesta de cada genotipo a las variaciones de estos dos factores ambientales: luz y temperatura.

Dado el carácter extensivo de los cultivos forrajeros y su capacidad de producción en distintas estaciones, en el presente trabajo, se estudia en cuatro genotipos de gramíneas forrajeras, la incidencia de las variaciones estacionales de temperatura y flujo luminoso sobre el crecimiento y la producción, a fin de valorar su efecto y la variabilidad en la respuesta de los distintos genotipos.

MATERIAL Y MÉTODOS

Material:

Se utilizaron semillas comerciales de *Lolium multiflorum* var. westerwoldicum cv. Promenade, *Lolium perenne* cv. Combi, *L. perenne* cv. Compas y *Bromus inermis*.

Cultivo en cubetas:

La siembra se realizó en bandejas (30 x 15 x 5 cm.) con perlita como único substrato, en una cámara de cultivo con condiciones de luz, temperatura y humedad controladas ($76 \mu \text{E cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$,

12 h. de luz, 17-20° C, 75-90 % de humedad). Las plantas, en estado de una sola hoja, se trasplantaron a las cubetas siete días después de la siembra (longitud de 6-8 cm. en *L. multiflorum* y 4-6 cm. en *L. Perenne* y *Bromus intermis*).

Se utilizaron cubetas (30 x 30 x 15 cm.) con una mezcla previamente esterilizada de tierra: perlita (1:1:, v:v:v) como sustrato, abonado con 9 g. de N:P:K (15:15:15) por cubeta (1000 kg/ha). Se sembraron diez cubetas de cada cultivar: cinco para crecimiento en exterior y cinco para crecimiento en cámara. Además se sembraron tres macetas de cada cultivar con una planta individual para estudiar la fenología. Los sustratos y abonos utilizados para las macetas fueron los mismos.

En cámara, se mantuvieron condiciones de 20° C día y 17° C noche, y una iluminación (lámparas de vapor de mercurio y fluorescentes) de $170 \text{ Ecm}^{-2}\text{s}^{-1}$, con una duración de día similar a la de exterior. Las cubetas de la cámara se regaron entre tres y cuatro veces a la semana (0,5 l cubeta⁻¹). Uno de cada tres riegos se realizó con solución nutritiva Hoagland (Hoagland y Arnon, 1950) (también 0,5 l cubeta⁻¹). En exterior, las cubetas se mantuvieron sometidas a las condiciones climatológicas propias de las distintas estaciones en que se desarrolló la experiencia. El régimen hídrico y nutritivo era similar al ensayo de la cámara. En días de lluvia se compensaba el riego según la precipitación registrada.

La siembra se realizó del 16 al 19 de septiembre de 1985, segándose a partir del 7 de octubre. El último corte en la cámara concluyó el 9 de abril de 1986 (en total seis cortes), prolongándose en exterior hasta el 7 de junio (ocho cortes).

A partir de los 21 días de la siembra (14 después del trasplante) se empezaron a realizar las medidas semanales. Cada semana se segaba una cubeta de cada cultivar y ambiente, de manera rotativa con el fin de que cada una se volviera a segar a los 35 días. Al final del ensayo se segaron todas las cubetas a la vez para poder cuantificar algunos parámetros del recrecimiento.

Acabada de segar, cada muestra se pesaba (peso fresco) y una parte representativa de ésta (entre 50 y 75 g.) se secaba en una estufa a 80° C durante 24 h, para determinar el peso seco.

Ensayo de campo:

Los ensayos de campo se realizaron conjuntamente con otros cuatro cultivares de gramíneas forrajeras, en una parcela de

48 x 5 m en la Finca Experimental Sa Canova (Sa Pobla). Esta parcela se partió en tres bloques consecutivos que se dividieron cada uno en ocho unidades experimentales de 2 x 5 m. Cada una de las especies o cultivares se distribuyó al azar, con una representación en cada uno de los tres bloques.

El suelo (fluvisol calcáreo, arcilloso) se preparó para la siembra, abonando a razón de 1000 Kg/Ha del complejo N: P: K (8:15:15). Previamente al abonado inicial, el suelo se trató con un herbicida, sin que fuese necesario ningún otro tratamiento posterior de este tipo.

La siembra se realizó en octubre, utilizando las dosis habitualmente recomendadas (MUSLERA y RATERA, 1984). Para favorecer la implantación inicial se regaron todas las unidades en el momento de la siembra. Después de cada corte se regó y abonó el cultivo con NH_4NO_3 (riqueza 33,5 %) a razón de 175 Kg/Ha.

RESULTADOS

Radicación y temperatura en el periodo de crecimiento

Los valores de irradiación y temperaturas registradas se pueden considerar normales para la estación (Palma de Mallorca) aunque el invierno fue relativamente frío, con 13 semanas de temperaturas medias de las mínimas por debajo los 4° C (la primera a finales de noviembre y la última la segunda semana de abril). Dentro del período de cultivo la irradiación osciló entre 141 (final de noviembre) y 643 $\text{cal cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$ (mayo).

Ya que cada cubeta creció durante un período distinto (desplazado una semana respecto de la anterior y posterior) fue necesario conocer el valor medio de la temperatura y la irradiación en cada semana (tabla 1) así como el valor de la integral térmica y sumatorio de irradiación para cada corte y cubeta. Los valores máximos del sumatorio de radiación se dieron al inicio del 2° corte y en el 7° pasando de unas 10-12000 cal al inicio del 2° corte a unas 5.000 en el 3° para después aumentar progresivamente hasta 20-21.000 cal en el 7° corte. El sumatorio de temperaturas medias diarias es de unos 600° C en el 2° corte, bajando a 250-300 en el 3° y 4° cortes para aumentar hasta 650° C al final del 7° corte.

TABLA 1

VALORES MEDIOS SEMANALES DE LAS TEMPERATURAS MAXIMAS, MINIMAS E IRRADIACION A LO LARGO DEL ENSAYO

Mes	Semana	Corte	T max (°C)	T min (°C)	Irradiacion (cal cm ⁻² d ⁻¹)
Septiembre/85	1	-	28.5±0.5	17.2±0.6	393.0±28.9
Octubre	2	-	28.9±0.8	15.5±0.5	391.3±7.5
"	3	1	26.2±0.4	12.7±0.7	341.6±17.3
"	4	1	25.2±0.4	11.8±0.4	288.3±21.0
"	5	1	21.6±0.8	11.6±0.6	219.6±29.8
Noviembre	6	1	21.7±0.4	9.9±0.5	218.9±22.8
"	7	1	24.1±0.7	12.9±1.4	246.4±11.7
"	8	2	15.8±1.4	8.3±1.4	156.3±30.6
"	9	2	12.2±0.8	2.2±1.2	141.1±26.3
"	10	2	15.8±1.2	6.1±1.4	159.6±31.6
Diciembre	11	2	17.7±0.7	5.5±0.7	186.0±24.1
"	12	2	16.4±0.7	0.6±0.5	180.1±17.2
"	13	3	16.5±0.6	1.2±0.9	178.1±13.2
"	14	3	16.3±0.8	5.8±1.0	127.0±21.5
Enero/86	15	3	14.8±0.6	6.1±1.6	192.6±8.5
"	16	3	14.9±0.5	2.8±0.8	200.9±13.0
"	17	3	16.2±0.9	4.1±1.9	202.1±15.2
"	18	4	14.2±0.8	2.7±1.3	197.6±24.1
"	19	4	12.5±0.3	2.0±0.8	160.9±19.1
Febrero	20	4	11.4±0.7	0.5±0.7	212.7±28.8
"	21	4	13.7±0.8	2.7±2.5	236.3±34.4
"	22	4	16.0±0.5	6.4±1.4	303.1±26.4
"	23	5	17.0±0.3	6.9±1.5	276.7±32.9
Marzo	24	5	16.2±0.6	2.2±0.4	277.3±33.5
"	25	5	16.8±0.3	2.7±0.7	358.3±33.4
"	26	5	15.7±0.8	3.8±1.0	343.9±69.9
"	27	5	17.7±0.7	3.3±0.5	469.0±44.8
Abril	28	6	20.1±0.9	7.6±1.1	404.9±38.7
"	29	6	14.2±0.7	2.4±0.9	335.6±76.2
"	30	6	17.4±0.3	5.4±1.0	529.0±34.6
"	31	6	18.1±0.4	8.7±0.6	447.7±59.4
Mayo	32	6	21.0±0.5	8.3±1.1	585.0±40.2
"	33	7	23.7±0.7	8.8±0.8	643.1±13.1
"	34	7	28.7±1.0	10.6±0.7	631.4±12.2
"	35	7	28.9±0.5	15.6±0.5	542.0±29.4
"	36	7	24.5±1.6	10.8±1.3	513.9±80.0
Junio	37	7 i 8	23.6±1.0	9.2±0.8	589.0±75.0

* Semana 1: 24-30/9/85. Semana 37: 3-9/6/86.

Fenología

En las especies más tempranas, el encañado se inició la segunda quincena de abril, espigando todas durante el mes de mayo.

La primera especie en espigar en macetas fue el *L. multiflorum*, seguido de *Bromus*, la cv. Combi y finalmente la cv Compas. En las cubetas se observó el mismo orden pero sin llegar a darse un espigado generalizado, al interrumpirse con la siega.

Producción en cubetas

En estas condiciones climáticas y con una aportación hídrica y nutritiva adecuada se obtienen las producciones que se reflejan en la tabla 2, que muestran la evolución de la producción a lo largo de distintos cortes, en exterior y en condiciones de cámara de cultivo.

Las producciones por cubeta van disminuyendo del 2º al 4º corte, reflejando el efecto de las caídas de la radiación y temperatura. A pesar de que el nivel de irradiación ya es bastante alto en febrero (4º corte) las producciones se mantienen bajo mínimos. En el 5º corte hay una gran recuperación en todos los cultivares, especialmente en *Bromus inermis*, que había tenido producciones muy bajas en invierno.

Durante toda la experiencia los valores máximos se dan en *L. multiflorum*, con valores alrededor del 20 % más altos que *L. perenne*, en cuya especie el cultivar Combi supera ligeramente al cultivar Compas. Las producciones mínimas se dan en *Bromus inermis*.

En la cámara de cultivo, las producciones registradas son mucho más constantes de corte en corte y claramente inferiores a las de exterior al inicio y al final de la experiencia (tabla 2. b).

TABLA 2

VALORES MEDIOS DE LA PRODUCCION POR CORTE (g. p. s. cubeta⁻¹)

a) EXTERIOR:

	CORTE							
	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>L. perenne</i> Combi	14,5±5,8	24,4±2,2	14,2±1,3	15,7±0,6	29,8±4,9	53,0±3,1	64,1±3,5	23,1±10,0
<i>L. perenne</i> Compas	15,5±2,9	22,6±3,2	13,8±1,2	16,1±0,3	28,3±4,7	47,7±2,4	58,9±1,6	23,1±8,9
<i>L. multiflorum</i> Pr	27,4±3,2	26,3±2,5	15,9±0,9	18,8±0,7	34,0±4,3	61,5±5,0	72,7±2,9	28,5±10,6
<i>Bromus inermis</i>	10,6±5,4	13,1±2,7	6,3±0,4	6,1±0,4	16,5±3,1	34,9±2,3	51,8±1,4	15,8±6,2

b) CAMARA DE CULTIVO:

<i>L. perenne</i> Combi	14,1±6,9	24,1±1,0	21,8±2,0	22,9±2,5	22,2±2,0	13,6±4,1	-	-
<i>L. perenne</i> Compas	16,8±7,8	22,2±2,7	21,9±2,3	21,3±1,0	21,9±1,9	13,7±4,3	-	-
<i>L. multiflorum</i> Pr	17,7±6,0	28,3±1,6	22,8±2,7	23,4±1,0	23,9±3,3	14,9±3,9	-	-
<i>Bromus inermis</i>	9,1±3,7	14,0±1,2	11,8±1,1	11,2±0,7	10,0±0,7	8,7±2,0	-	-

Sin embargo, en el 2° corte las producciones son muy parecidas (diferencias del 1-7 %) y resultan superiores en el 3.º y 4.º. Este comportamiento refleja el fuerte efecto de las temperaturas exteriores sobre la producción de estos cultivares a pesar de que los niveles de irradiación en la cámara son inferiores al exterior (incluso se observa un cierto ahilamiento en las hojas en el momento del corte). Durante los meses de invierno, las producciones obtenidas por cubeta en cámara son un 20-47 % superiores a las de exterior.

En el exterior, a lo largo de la experiencia la producción se distribuye en un modelo de curva bimodal que presenta un máximo en otoño (2° corte) seguido de una producción más baja en los cortes de invierno (3° y 4° cortes) y otro máximo mucho más acentuado que el anterior en primavera (5°, 6° y 7° cortes). Este último máximo supone para *Lolium* una producción que llega al doble de todos los cortes anteriores y para *Bromus* es más del doble. Este modelo es en todo similar al descrito para el raygrass perenne en Barcelona (CABALLERO y col., 1977).

Ya que las 5 cubetas de cada cultivar se segaron en el primero y último cortes en diferentes días, en un mismo período, se ha estudiado la producción acumulada a lo largo del ensayo para cada cubeta que se presenta en la tabla 3, junto con la producción media por cubeta y cultivar.

TABLA 3

VALORES DE PRODUCCION ACUMULADOS A LO LARGO DEL ENSAYO (g. p. s. cubeta⁻¹)

a) EXTERIOR:

(8 cortes, 16/9/85 - 7/6/86)

	C U B E T A					Σ total
	1	2	3	4	5	
<i>L. perenne</i> Combi	222.1	236.2	231.6	231.5	238.9	1160.3 ^a
<i>L. perenne</i> Compas	216.5	216.7	218.2	223.5	214.5	1089.5 ^c
<i>L. multitorum</i> Pr	261.8	273.3	259.8	283.6	290.1	1368.7 ^b
<i>Bromus inermis</i>	143.9	168.5	141.7	144.0	149.1	747.2 ^d

^a Valores con distinto subíndice difieren significativamente a un nivel de 0.95, de acuerdo con el test de Duncan

En primer lugar se puede observar que las diferencias entre producciones acumuladas por cubeta en un mismo cultivar son muy pequeñas, en general inferiores al 5 % respecto al valor me-

dio. Este resultado, confirma la validez del método de cultivo en microcéspedes en cuanto a la repetitividad de los resultados obtenidos a pesar de que los intervalos de cada corte fueron ligeramente diferentes para cada cubeta.

b) CAMARA DE CULTIVO:

(6 cortes, 16/9/85 - 9/4/86)

<i>L. perenne</i> Combi	119.0	102.4	128.6	104.5	100.5	555.3 ^a
<i>L. perenne</i> Compas	105.9	110.3	124.1	114.0	97.6	552.0 ^a
<i>L. multiflorum</i> Pr.	109.3	110.3	129.8	128.3	132.7	610.7 ^a
<i>Bromus inermis</i>	61.6	48.8	56.1	67.8	63.8	298.1 ^b

‡ Valores con distinto subíndice difieren significativamente a un nivel de 0.95, de acuerdo con el test de Duncan

Las producciones finales referidas en Kg/Ha⁻¹ son elevadas respecto a otras referencias (DELGADO ENGUITA, 1979; ROSSELLÓ, 1976; YEPES y col., 1976) y también respecto a los resultados obtenidos en el ensayo de campo en este mismo experimento.

El análisis de la varianza de las producciones acumuladas por cubeta y cultivar (tabla 4) muestra la existencia de diferencias significativas entre los distintos cultivares tanto en exterior como en cámara. La aplicación del test de Duncan a la separación de medias permite constatar la existencia de diferencias significativas entre las distintas especies. Los cuatro cultivares son significativamente diferentes uno de otro en cuanto a producción acumulada por cubeta en exterior (tabla 3). En la cámara no hay diferencias significativas entre los dos cultivares de *L. perenne*.

En producción final como en los distintos cortes *L. multiflorum* es el que presenta los valores más elevados seguido de *L. perenne* cv. Combi, *L. perenne* cv. Compas y *Bromus inermis*. En los cortes de invierno, *L. multiflorum* presenta producciones entre un 10 y 15 % superiores a *L. perenne*. En primavera le sobrepasa en un 20 %. Estos valores reflejan una menor sensibilidad de *L. multiflorum* a las limitaciones por bajas temperaturas y una mayor capacidad de explotar los elevados niveles de radiación en primavera.

Eficiencia

La evaluación de la eficiencia en la utilización de la Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA) se ha realizado en base a

los datos de irradiación y las producciones transformados en energía acumulada (RFA = 0,44 Rad. total: 4,2 sal g⁻¹ p. s.; LOOMIS y col., 1971).

TABLA 4

ANALISIS DE LA VARIANZA DE LA PRODUCCION ACUMULADA POR CUBETA

a) EXTERIOR:

Fuente de variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F observado
Total		41429.48		
Bloques (cubetas)	4	529.20	132.30	1.90
Cultivares	3	40034.73	13344.90	191.66***
Error	12	835.55	69.62	

*** Significación a un nivel superior al 99.9 %

b) CAMARA DE CULTIVO:

Fuente de variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F observado
Total		13449.98		
Bloques (cubetas)	4	627.99	157.00	1.72
Cultivares	3	11726.32	3908.77	42.84***
Error	12	1094.98	91.17	

*** Significación a un nivel superior al 99.9 %

Las eficiencias alcanzadas oscilan entre 0,8-1,0 (*Bromus* en los cortes 3° y 4°) y 5,2 (valor máximo obtenido en *L. multiflorum* en el 6° corte). Estas dos especies son en todo momento las que presentan los valores mínimos y máximos. *L. perenne* presenta valores intermedios más próximos a *L. multiflorum* con poca diferencia entre sus dos cultivares. En todas las especies las eficiencias máximas se obtienen en el 6° corte (abril) con valores entre 4,5 y 5,2 para *L. multiflorum*, 3,7 a 4,3 en *L. perenne* y alrededor de 3 en *Bromus*. A pesar del elevado flujo radiante de primavera no se observa una caída de la eficiencia lo que en principio significa que la respuesta de la planta (aumento de

área foliar) le permite aprovechar este flujo. Esta bajada, es posible que se diera unas semanas después (junio), cuando el cultivo, desarrollado al máximo, no pueda incrementar su producción en la proporción que aumenta el flujo radiante, lo que implicaría una bajada de la eficacia, típica del final de primavera en el Mediterráneo y otras zonas de alta irradiación (CABALLERO, 1977).

Las eficiencias de invierno, si bien son más bajas, en *L. multiflorum* están por encima del 2 %, valor muy aceptable en la mayoría de los cultivos, lo que demuestra que esta especie, a pesar de las limitaciones por bajas temperaturas, consigue mantener un crecimiento suficiente como para interceptar con eficacia buena parte del flujo luminoso.

Producción en campo

Las producciones obtenidas en el ensayo de campo se detallan en la tabla 5, donde se indica la producción en cada corte. Las producciones más altas se dan en *L. multiflorum* con 14.387 Kg. p. s. Ha⁻¹, lo que supone un rendimiento agronómico elevado y más teniendo en cuenta la época de siembra (DELGADO ENGUIA, 1979; ROSELLÓ, 1976).

TABLA 5

PRODUCCIONES MEDIAS EN EL ENSAYO DE CAMPO (g. p. s. m⁻²)

	CORTE				Σ 4 cortes kg p. s. ha ⁻¹
	1	2	3	4	
<i>L. perenne</i> Combi	204.0± 9.8	395.0±23.0	146.0±21.0	295.0±38.4	10400± 922
<i>L. perenne</i> Compas	184.3± 3.3	515.3±18.3	172.0±12.5	178.3±11.6	10502± 457
<i>L. multiflorum</i>	267.3±25.7	561.0±52.3	202.7±17.3	407.7±42.8	14387±1381
<i>Bromus inermis</i>	-	117.0± 7.9	229.3±44.5	319.0±76.9	6653±1293

Los dos cultivares de *L. perenne* están a la par, pero a diferencia del ensayo de las cubetas de cv. Compas fue ligeramente superior a Combi.

Igual que en las cubetas las producciones de *Bromus* sólo llegaron al 46 % de las registradas en *L. multiflorum*. El limitado crecimiento de esta especie en el primer corte imposibilitó la siega.

El análisis de la varianza de las producciones totales muestra la existencia de diferencias significativas incluso con un margen de error del 1 %. Mediante el test de Duncan, dichas diferencias muestran significación entre *L. multiflorum* y *L. perenne*, entre éstos y *Bromus inermis*.

La comparación de las producciones en los tres ensayos (tabla 6) muestra que las posiciones relativas de los cultivares son prácticamente constantes. *L. multiflorum* es el que ofrece en los tres ambientes las mayores producciones seguido de *L. perenne* cv. Combi y muy cerca *L. perenne* cv. Compas. *Bromus inermis* queda claramente alejado con valores de alrededor del 50 % de los de *L. multiflorum*. En cámara de cultivo con temperatura constante las diferencias entre *L. multiflorum* y *L. perenne* se reducen a un 10 %. En cubetas de exterior, con radiación más alta y temperaturas variables, llegan a un 15-20 %, y en campo se hacen del 25-30 %. Este comportamiento puede interpretarse en el sentido de que en *L. multiflorum*, en cubeta, el efecto des-

TABLA 6

PRODUCCIONES ACUMULADAS EN CAMARA, EXTERIOR Y ENSAYO DE CAMPO

	CAMARA		EXTERIOR		CAMPO	
	g m ⁻²	% LM	g m ⁻²	% LM	g m ⁻²	% LM
<i>L. perenne</i> cv Combi	6166.0	91	12887.6	85	1040.0	72
<i>L. perenne</i> cv Compas	6121.6	90	12098.8	80	1050.2	73
<i>L. multiflorum</i>	6777.1	100	15198.5	100	1438.1	100
<i>Bromus inermis</i>	3310.0	49	8299.0	55	665.3	46

(% LM: porcentaje respecto a *L. multiflorum*)

favorable de las temperaturas bajas de exterior tiene menor peso que el efecto positivo de la superior irradiación. Con idénticas condiciones climáticas, la superior ventaja en producción en campo puede relacionarse con la frecuencia de cortes, con largos intervalos entre cortes muy superiores al ensayo con cubetas. Estas condiciones son en general mejor explotadas por *L. multiflorum* de porte más erecto y menor macollaje que *L. perenne*.

Radiación y temperatura

El efecto de la radiación y temperatura sobre la producción se pone de manifiesto al estudiar la correlación producción/sumatorio de radiación y producción/sumatorio de temperaturas medias diarias. La tabla 7 muestra los valores de los coeficientes de correlación entre producción y cada una de estas dos variables, así como las ecuaciones de predicción correspondientes.

TABLA 7

COEFICIENTES DE CORRELACION Y ECUACIONES DE PREDICCIÓN PARA PRODUCCIÓN / RADIACION Y PRODUCCIÓN/TEMPERATURA

	RADIACION		TEMPERATURA	
	R ^r	P	R ^r	P
<i>L. perenne</i> cv Combi	0.94	P = 0.43·R - 664.17	0.64	P = 16.61·T - 2862.22
<i>L. perenne</i> cv Compas	0.94	P = 0.37·R - 328.47	0.69	P = 14.81·T - 2319.90
<i>L. multiflorum</i>	0.93	P = 0.47·R - 673.97	0.43	P = 13.11·T - 1197.40
<i>Bromus inermis</i>	0.95	P = 0.38·R - 1481.92	0.78	P = 16.89·T - 4057.43

P: g p.s.m⁻¹·10 R: Σ cal.cm⁻² T: Σ °C

La correlación con los valores de la integral térmica es baja, oscilando entre 0,43 y 0,78. Los valores más altos de este coeficiente se corresponden con los de los cultivares de más baja producción. Los valores más bajos corresponden a *L. multiflorum*, lo que concuerda con la menor reducción de la producción invernal en exterior respecto a la registrada en la cámara.

Aún teniendo en cuenta las limitaciones impuestas por el reducido ajuste de la relación entre producción y temperatura, el cálculo de la abscisa a producción cero, dividido por el número de días de crecimiento (35) nos permitiría disponer de una estima de la temperatura media en la cual el crecimiento es nulo (cero de vegetación). Los resultados que se obtienen son de 4,9 y 4,5 para *L. perenne* cvs. Combi y Compas, 2,6 para *L. multiflorum* y 6,8 para *Bromus*, valores todos ellos cercanos a los citados en bibliografía (DUTHIL, 1980). Los valores más bajos se registran para *L. multiflorum* lo que está de acuerdo con la mayor capacidad de crecimiento de esta especie a bajas temperaturas.

Aunque el uso de la integral térmica está muy difundida (METCALFE, 1985), en nuestro experimento, son los sumatorios de

radiación los que permiten predecir la producción con un error muy inferior en los cuatro cultivares ensayados.

Los coeficientes de correlación entre producción y sumatorio de radiación tienen valores muy altos (0,93-0,95) lo que permite utilizar las ecuaciones de predicción de la producción en base a la radiación con un error bajo, en nuestras condiciones experimentales. El estudio de la regresión conjunta de temperatura y radiación aumenta muy poco estos coeficientes.

La pendiente de estas ecuaciones es máxima para *L. multiflorum*. Esto significa una mayor capacidad de respuesta de esta planta a los incrementos de radiación, lo que en principio puede relacionarse con la elevada masa foliar de esta especie (o con tasas de fotosíntesis más elevadas).

DISCUSIÓN

Los resultados descritos son un exponente del efecto del genotipo y las variaciones de las condiciones ambientales sobre el crecimiento y la producción.

Una vez establecido el cultivo y secuenciadas las siegas del seguimiento de la producción por corte y especialmente por cubeta pone de manifiesto el modelo bimodal de producción del clima mediterráneo. La comparación de las producciones en el exterior con las obtenidas en la cámara de cultivo muestra la fuerte limitación del crecimiento impuesta por las bajas temperaturas en el 3° y 4° cortes (diciembre-febrero), a pesar de la mayor irradiación del exterior.

Las diferencias de producción entre cámara y exterior en los cortes de invierno (3° y 4°) son del orden de 30-47 % y 20-44 % respectivamente. En condiciones de idéntica radiación en cámara y exterior estas diferencias en todo caso aumentarían por lo que en términos generales puede afirmarse que las limitaciones debidas a las bajas temperaturas han supuesto una reducción de la producción entre el 25 y el 50 %. Esta reducción presenta valores muy diferenciados entre las especies ensayadas. En el 4° corte, mientras en *L. multiflorum* es del 20 % en *Bromus* es del 44 %. En el 3° corte también es *L. multiflorum* el que presenta la reducción más baja. Asimismo, el cero de vegetación de esta especie resulta ser el más bajo de los cuatro cultivares ensayados.

Aparte de confirmar el interés de esta praterse para obtener buenas producciones invernales, estos valores muestran la exis-

tencia de variabilidad en la sensibilidad a bajas temperaturas tanto entre diferentes especies como entre diferentes cultivares (*L. perenne*), y sugieren el interés de explorar las posibilidades de seleccionar a favor de este carácter para incrementar la producción. Desde un punto de vista agronómico la capacidad de producción durante estos meses resulta muy interesante en nuestro clima por ser la época con menor problema de abastecimiento hídrico.

La producción final de todos los cultivares ha sido elevada tanto en cubetas (sobre todo en el exterior) como en el campo, y muy parecida entre las cinco cubetas de cada cultivar, lo que demuestra una amortiguación con el tiempo del efecto de las diferencias de fecha de inicio del primer corte. También cabe remarcar la correspondencia entre las producciones en las cubetas del exterior y las obtenidas en el campo, lo que da validez a este modelo de experimentación para estudios de crecimiento y producción de forrajes.

Las eficiencias obtenidas en *L. multiflorum* (5,2 % de la Radiación Fotosintéticamente Activa) se sitúa cerca de los records en plantas C3, y el período en que se obtuvo coincide con el momento citado como de máxima eficiencia para forrajes C3 en estudios anteriores (CABALLERO y col., 1977).

La elevada correlación obtenida entre irradiación y producción en cubetas puede interpretarse en el sentido de que en este modelo de experimentación, con abastecimiento generoso de agua y minerales, y dentro de los márgenes de radiación, la masa vegetal generada ha permitido aprovechar los crecientes niveles de radiación, manteniéndose e incluso incrementándose la eficiencia del cultivo.

BIBLIOGRAFIA

- CABALLERO, A., F. GIL y M. BERBEL, 1977. *La productividad de prados mediterráneos*. Invest. y Cienc., 16: 82-97.
- DELGADO ENGUITA, I., 1979. Características fisiológicas y agronómicas del ray-grass Westerwold en el valle del Ebro. Pastos, 9: 72-84.
- DUTHIL, J., 1980. Producción de forrajes. 3.^a ed. Ed. Mundi-prensa.
- HOAGLAND, D. R. y D. J. ARNON, 1950. The water culture method for growing plants without soil. Coll. Agric. Exp. Str. Arc. 347-1-32.
- HORST, G. L., C. J. NELSON y K. H. ASAY, 1978. *Relationship of leaf elongation to forage yield of tall Fescue genotypes*. Crop Sci., 18: 715-719.
- LANGER, R. H. M., 1979. *How grasses grow*. The Institute of Biology's Studies in Biology. N.º 34, 2.nd edn. London: Academic Press.

- LOOMIS, R. S., W. A. WILLIAMS y A. E. HALL, 1971. *Agricultural productivity*. Ann. Rev. of Plant Physiol., pp. 431-463.
- METCALFE, D. S., 1985. *The botany of grasses and legumes*. In Forages, The Science of Grassland Agriculture, 4.^a ed. M. E. Heath, R. F. Barnes and D. S. Metcalfe ed. Iowa States Univ. Press, 52-63.
- MOSS, D. N., 1964. *Forage Plant Physiology and Soil-Range Relationships*. Spec. Publ. 5 Madison. Wis: American Society of Agronomy.
- MUSLERA, E. y C. RATERA, 1984. Praderas y forrajes. Producción y aprovechamiento. 705 pp. Ed. Mundi-Prensa.
- NIQUEUX M. y R. ARNAUD, 1967. *Recherche d'une relation entre précocité d'épiaison et températures pour quelques variétés de Graminées fourragères observées en France*. Ann. Phys. vég., 1967-69, 1: 29-64.
- RHODES, I., 1973. *Relationship between canopy structure and productivity in herbage grasses and its implications for plant breeding*. Herbage Abstracts 53: 129-133.
- ROSELLO, B., 1976. *Estudio comparativo de variedades mejoradas de Lolium multiflorum var. Westerwoldicum*. Hoja Técnica. INIA, n.º 11.
- STAPLETON, J. y M. B. JONES, 1967. *Effects of vernalization on the subsequent rates of leaf extension and photosynthesis of perennial ryegrass (Lolium perenne L.)*. Grass and Forage Science, 42: 27-31.
- YEPES, V., J. PIÑEIRO y M. PÉREZ, 1976. *Ray-grass italiano: Variedades de interés para Galicia*. Anales INIA. Serie Producción Vegetal, 6: 133-156.

RADIATION AND TEMPERATURE INFLUENCE ON FORAGE GRASSES YIELD

SUMMARY *

Biomass production has been studied in forage plants, as well as the temperature and radiation effects on plant growth.

Four cultivars of grasses: *Lolium multiflorum* var westerwoldicum cv Promenade, *Lolium perenne* cvs Combi and Compas and *Bromus inermis* were growing as microwards in a growth chamber with constant temperature and outdoors. A field assay was done also with the same cultivars.

L. multiflorum was the highest productive genotype anywhere showing also more active growth at low temperatures. Total production showed significant differences among genotypes. It was also a clear correspondence among microwards and field productions.

Highest efficiency values (in % of PAR accumulated as dry matter) was obtained in 6th cut (April) achieving to 5.18 % in *L. multiflorum*.

Biomass production variations through the growth period show a low correlation with «E t.^a» and very high correlation with total irradiation received by the sward between consecutive cuts.

* KEY WORDS: Plant Production, Yields, Radiation, Temperature, Forage Grasses, *Lolium*, *Bromus*.