PASTOS

SOCIEDAD ESPAÑOLA PARA EL ESTUDIO DE LOS PASTOS (SEEP) www.seepastos.es

EVOLUCIÓN DEL RENDIMIENTO Y CALIDAD DEL GIRASOL (*Helianthus annuus* L.) APROVECHADO PARA FORRAJE TRAS LA FLORACIÓN Y DESARROLLO DE CALIBRACIONES NIRS PARA LA PREDICCIÓN DEL VALOR NUTRICIONAL DE LOS COMPONENTES MORFOLÓGICOS

Sonia Pereira Crespo[1], Bruno Fernández Lorenzo[2], Juan Valladares Alonso[2], Nieves Díaz Díaz[2], César Resch Zafra[2], Antonio González Arráez[2] y Gonzalo Flores Calvete[2]

[1] Laboratorio Interprofesional Galego de Análise do Leite (LIGAL), Mabegondo, 15318 Abegondo, A Coruña, España. soniapereira@ciam.es

[2] Instituto Galego de Calidade Alimentaria. Centro de Investigacións Agrarias de Mabegondo (INGACAL-CIAM). Apdo. 10, 15080 A Coruña, España.

EVOLUTION OF YIELD AND QUALITY OF SUNFLOWER (*Helianthus annuus* L.) HARVESTED FOR FORAGE AFTER FLOWERING AND DEVELOPMENT OF NIRS CALIBRATIONS FOR PREDICTION OF NUTRITIVE VALUE OF MORPHOLOGICAL COMPONENTS

Historial del artículo:

Recibido: 11/01/15
Revisado: 18/03/15
Aceptado: 06/07/15
Disponible online: 06/10/2015

Autor para correspondencia:

soniapereira@ciam.es

ISSN: 2340-1672

Disponible en: http://polired.upm.es/index.php/pastos

Palabras clave:

Potencial forrajero, fecha de corte, digestibilidad, fracciones morfológicas de la planta.

RESUMEN

En este trabajo se caracterizó la evolución del rendimiento y el valor nutricional de la planta de girasol (*Helianthus annuus* L.) en estado fresco, cosechada en diez fechas diferentes, a intervalos semanales (S0 a S9) entre el inicio de floración y la madurez fisiológica del cultivo obteniéndose la contribución de cada una de las fracciones de la planta. Éstas fueron analizadas por separado por métodos de referencia, determinándose los contenidos en materia orgánica, proteína bruta, fibras neutro detergente y ácido detergente, lignina-sulfúrico, carbohidratos no estructurales, carbohidratos solubles, extracto etéreo y energía bruta y la digestibilidad in vitro de la materia orgánica. Sobre un total de 100 muestras secas y molidas de las fracciones hojas, tallos, receptáculo (incluyendo brácteas y pétalos) y frutos (incluyendo inflorescencias y semillas) se desarrollaron calibraciones NIRS para estimar su composición química y digestibilidad siguiendo procedimientos quimiométricos habituales. Se observó una excelente capacidad predictiva con valores de los coeficientes de determinación superiores a 0,97 para todos los parámetros excepto para lignina. El contenido en materia seca (MS) de la planta entera osciló entre 20,1% en S0 y 21,7% en S4 para ascender rápidamente desde 25,3% en S5 hasta 58,6% en S9. Los valores medios (y rango de variación) de la producción y de la concentración en proteína, carbohidratos solubles, extracto etéreo y energía neta del cultivo (expresada como Unidades Forrajeras Leche, UFL) fueron de 8,4 (7,3-9,3) t MS ha^{-1}, 6,4 (6,0-7,2) %MS, 12,0 (3,0-25,8) %MS, 12,5 (1,5-20,7) %MS y 0,92 (0,75-1,05) UFL kg^{-1} MS, respectivamente. El aporte medio del capítulo (receptáculo+frutos) y de la parte verde de la planta (hojas+tallos) a la biomasa total fue semejante (4,24 y 4,17 t MS ha^{-1}, respectivamente), pero la energía neta del capítulo fue el triple y su contenido en PB el doble comparado con la parte verde de la planta (1,36 y 0,46 UFL kg^{-1} MS y 8,5 y 4,1 %MS, respectivamente). Los resultados del experimento sugieren que la planta de girasol debe ser cosechada para ensilar en torno a S4-S5 para optimizar el rendimiento y la calidad del ensilado.

Keywords:

Forage potential, cutting date, digestibility, morphological components of whole plant.

ABSTRACT

The yield and nutritive value of sunflower (*Helianthus annuus* L.) during the growth cycle between flowering and plant physiological maturity was studied. Fresh crop samples were taken weekly along ten weeks (S0 to S9) and the contribution of the diverse plant fractions was recorded. Fractions samples were analyzed by laboratory reference methods to determine the contents in organic matter, crude protein, neutral and acid detergent fiber, sulphuric-lignin, non-structural carbohydrates, water-soluble-carbohydrates, ether extract and gross energy and in vitro organic matter digestibility. A total of 100 dry and ground samples from the fractions leaves, stalks, receptacle (including bracts and petals) and fruits (including inflorescences and seeds) were selected to develop NIRS calibrations for the estimation of chemical composition and digestibility following usual chemometric procedures. Predictive ability of calibrations was deemed excellent with values of the determination coefficient higher than 0,97 for all parameters except for lignin. Dry matter (DM) content of the whole plant was fairly constant from S0 (20,1%) to S4 (21,7%) and increased rapidly from 25,3% in S5 to 58,6% in S9. Average values (and range of variation) for DM yield and the concentrations of protein, water-soluble carbohydrates, ether extract and net energy (expressed as Unité Fourragère Lait, UFL) of the crop were 8,4 (7,3-9,3) t DM ha^{-1}, 6,4 (6,0-7,2) %DM, 12,0 (3,0-25,8) %DM, 12,5 (1,5-20,7) %DM and 0,92 (0,75-1,05) UFL kg^{-1} DM, respectively. The average contribution of head (receptacle + fruits) and stover to the total plant biomass was very similar (4,24 and 4,17 t DM ha^{-1}, respectively), but the net energy and crude protein concentration in the plant head was three and two times higher respectively, compared with that observed in the stover (leaves + stalks) fraction (1,36 and 0,46 UFL kg^{-1} DM and 8,5 and 4,1 %DM, respectively). The results of the study suggest that forage sunflower plant must be harvested around S4-S5 to optimize silage DM yield and quality.

© Gonzalo Flores Calvete

Girasol en floración (30% de flores tubuladas abiertas, estado fenológico R5.3).

INTRODUCCIÓN

El girasol (*Helianthus annuus* L.) es una dicotiledónea anual que se considera una alternativa para la producción de forraje ensilado debido a su tolerancia a condiciones de escasez de agua y nutrientes (Tan y Turner, 1996), adaptabilidad a diferentes condiciones edafoclimáticas y relativa independencia de la latitud, altitud y fotoperiodo (Panciera *et al*., 2003). El Anuario Estadístico del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA, 2012) indica que se cultivan en España un total de 862 mil hectáreas de girasol para industria, mientras que no existe información desagregada de su uso como planta forrajera dentro del epígrafe correspondiente a superficies y rendimiento de cultivos forrajeros, denotando la comparativamente baja importancia que tiene este aprovechamiento con relación al uso industrial. La mayoría de las variedades utilizadas para ensilar proceden de variedades oleíferas para extracción de aceite. La semilla madura de girasol contiene aproximadamente el 40% de extracto etéreo (EE), altamente insaturado, con un 65% de ácido linoleico (C18:2 cis $_{9,12}$). Existen en el mercado variedades más recientes con EE de menor grado de saturación, ricas en ácido oleico (C18:1 cis $_{9}$) (FEDNA, 2010), por lo que el ensilado de girasol utilizado en la alimentación de rumiantes podría tener beneficios adicionales sobre las características nutricionales de los productos animales obtenidos (Rego *et al*., 2005) al tratarse de una importante fuente de ácidos linoleico y oleico si se cosecha en el momento adecuado.

En los últimos años en Galicia se están realizando siembras con maíz forrajero en zonas que no cumplen los requisitos para este cultivo, lo que provoca bajos rendimientos y altos costes unitarios de producción (Miranda-González, 2013; Villada-Legaspi, 2013). Aunque el clima predominante en la zona de producción de leche en Galicia es húmedo-atlántico, los episodios de sequías estacionales durante el verano son frecuentes, y su efecto sobre la reducción de la productividad de los cultivos forrajeros se hace notar de forma muy severa sobre todo en terrenos arenosos, con escasa profundidad y de zonas interiores. Dado que la principal característica que ha motivado el uso del cultivo de girasol para la producción de ensilaje es su buena productividad en situaciones de baja pluviometría, el cultivo del girasol forrajero durante el verano en estas zonas límite para el maíz podría ser una alternativa a este cultivo asegurando la obtención de forraje para ensilar, favorecido por la corta duración de su ciclo vegetativo que proporciona flexibilidad para su ajuste dentro de la rotación.

La variabilidad genética y el estado de desarrollo de la planta son factores que influyen en la productividad. En el Centro de Investigacións Agrarias de Mabegondo se realizaron estudios acerca de la utilidad de esta forrajera de verano para ensilar a lo largo de los años 80-90 del pasado siglo, destacando los de Lloveras (1980-1985) en Mabegondo (A Coruña), Pobra de Brollón (Lugo) y Grado (Asturias), Zea y Díaz (1986-1987) en Mabegondo y Budiño (1991) en fincas colaboradoras del interior de Galicia, todos ellos realizados en condiciones de secano. La fecha media de siembra de estos ensayos fue el 5 de junio y la de cosecha el 20 de agosto, con una media de 76 días de crecimiento. La cosecha de la planta de girasol se realizaba en un estado precoz, desde el estado de botón floral hasta el final de la floración del cultivo siguiendo las recomendaciones científicas de la época y se obtuvo un rendimiento medio de 6,2 t MS ha^{-1}, oscilando en un rango entre 3,0 y 10,4 t MS ha^{-1}.

Los ensilados de girasol presentan generalmente contenidos más elevados de proteína y extracto etéreo que los ensilados de maíz. En contrapartida, presentan una menor digestibilidad de la pared celular causada por una mayor lignificación. Esta menor digestibilidad puede ser compensada por la alta energía del aceite que, desde el final de la floración hasta la madurez, se va concentrando en las semillas a partir de los hidratos de carbono sintetizados por la planta. Sin embargo, la alta concentración de aceite en la materia seca del girasol puede limitar su uso en la alimentación de vacas de leche, ya que la utilización de dietas que contengan más del 5-6% del total de la materia seca de grasa no protegida puede, entre otros efectos, reducir la digestión ruminal de la fibra y la ingestión voluntaria de materia seca debido al efecto negativo de la grasa sobre la actividad microbiana en el rumen (Brooks *et al*., 1954; Palmquist, 1987).

El objetivo del presente trabajo fue caracterizar la evolución del rendimiento en materia seca y el valor nutritivo de las diferentes fracciones morfológicas y de la planta entera de girasol a partir del inicio de floración hasta la madurez fisiológica, en condiciones de secanos húmedos de la zona costera de Galicia, y evaluar el uso de la técnica NIRS para predecir parámetros de la composición química, digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica y energía bruta de diferentes fracciones morfológicas de la planta de girasol en estado fresco.

MATERIAL Y MÉTODOS

Localización

El ensayo se realizó durante el período comprendido entre finales de mayo y finales de septiembre de 2004, en la finca del CIAM (Centro de Investigacións Agrarias de Mabegondo) situada en Mabegondo (A Coruña), zona costera de clima atlántico a 100 m de altitud, en secano, sobre suelos de esquistos de profundidad y fertilidad medias, con valores de pH entre 5,4-5,7. Los valores del P (Olsen, extraído en $NaHCO_3$) oscilan entre 21-37 mg kg^{-1} y los de K (extraído en NH_4NO_3) entre 180-210 mg kg^{-1}.

Diseño experimental

El diseño experimental fue de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones, siendo los tratamientos diez fechas de corte, realizados a intervalos semanales, desde el inicio de floración del cultivo (5% de las flores abiertas) hasta la semana novena tras el inicio de floración, momento en el que la planta alcanzó la madurez fisiológica.

Siembra, fertilización y seguimiento del cultivo

La siembra se realizó en un terreno previamente ocupado por maíz, tras un barbecho invernal, utilizando la variedad híbrida PR63A90 de Pioneer, de ciclo medio, el 21 de mayo de 2004. La sembradora de precisión se ajustó a una separación entre líneas de 0,70 m y 0,15 m entre plantas y una densidad teórica de 95 x 10^3 plantas ha^{-1}. Durante las labores preparatorias del terreno antes de la siembra se aplicaron 40 kg de N, 80 kg de P_2O_5 y 120 kg de K_2O por hectárea. No se aplicaron herbicidas, realizándose una escarda mecánica con cultivador rígido Guerra cuando la planta tenía unos 20 cm de altura.

Muestreo de las parcelas

En cada bloque, la parcela elemental medía 7 m de longitud y 21 m de ancho y estaba constituida por 3 líneas de siembra asignadas al azar para cada uno de los 10 tratamientos (fechas de corte). La cosecha se realizó manualmente, cortando las plantas de un transecto de 3 m, a una altura de 12 cm de la base en la línea central correspondiente a cada tratamiento. Del total de la biomasa cosechada, se separaron manualmente las fracciones "capítulo" (C), constituida por el receptáculo, brácteas, pétalos, inflorescencias y/o semillas y "parte vegetativa" (PV) constituida por las hojas y los tallos. Adicionalmente, en dos repeticiones de las plantas cosechadas en los cortes de las semanas 1, 3, 5, 7 y 9 se escogieron seis plantas representativas del cultivo y se obtuvieron cuatro fracciones: hoja (H), tallo (T), receptáculo (R, incluyendo las brácteas y pétalos) y semilla (S, incluyendo el pericarpio o cáscara). Cada fracción fue pesada y troceada por separado en una picadora de forrajes VIKING y, por cuarteos sucesivos, se tomó una alícuota de aproximadamente 1000 g de cada fracción. La determinación de materia seca se realizó en estufa de aire forzado Unitherm, a 80º C durante 16 h (Castro, 1996) y, a continuación, se molió a 1 mm en molino de martillos Christy and Norris.

Predicción del valor nutritivo mediante Espectroscopía de Reflectancia en el Infrarrojo Cercano (NIRS)

El análisis NIRS se realizó sobre las muestras secas y molidas a 1 mm (n=120) procediéndose al registro por duplicado de los espectros de reflectancia (log 1/R vs λ) de todas las muestras en un espectrofotómetro monocromador Foss NIRSystem 6500 (Foss NIRSystem, Silver Spring, Washington, USA) provisto de módulo de giro y situado en cámara isoterma. Para los procesos de calibración y validación cruzada se utilizó el espectro (media de 2 repeticiones) abarcando la región visible-infrarrojo cercano del espectro (rango de longitud de onda entre 400 y 2500 nm), con lecturas a intervalos de 2 nm. La recogida de los datos espectrales y el análisis quimiométrico de los mismos se llevó a cabo mediante el programa WinISI II v.1.5 (Infrasoft International, Port Matilda, PA, USA, 2000). La selección de las muestras representativas del grupo de calibración se realizó utilizando el algoritmo SELECT basado en el análisis por componentes principales, que elige muestras espectralmente diferentes (Shenk y Westerhaus, 1991), acotando a 100 las muestras a seleccionar para la calibración.

Las muestras seleccionadas fueron analizadas mediante métodos de referencia y por duplicado, realizándose las siguientes determinaciones: materia orgánica (MO) por ignición en mufla a 550ºC, proteína bruta (PB) por digestión micro Kjeldahl según Castro *et al.,* (1990), fibra neutro detergente (FND) según Van Soest *et al*., (1991), fibra ácido detergente (FAD) celulosa (CEL) y lignina (LAD) según Goering y Van Soest (1970) en digestor Fibertec System 1020 de Foss Tecator, carbohidratos solubles en agua (CSA) y carbohidratos no estructurales (CNET), según Castro (2000), extracto etéreo (EE) por el método oficial AOAC (2003) para alimentos animales, energía bruta (EB) en calorímetro isoperibólico PARR-1281EF y digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica (DMOIV) mediante el procedimiento descrito por Tilley y Terry (1963), modificado por Alexander y McGowan (1966). La determinación de DMOIV de las muestras que contenían semillas de girasol se realizó sobre material desengrasado por lavado con éter de petróleo para evitar el efecto depresor del aceite de las muestras sobre su digestibilidad (Valdez *et al*., 1988). A partir del valor de DMOIV de las muestras se calculó la concentración en energía neta leche (ENL) según Flores *et al*., (2005) y se transformó posteriormente en Unidades Forrajeras Leche (UFL) considerando que una UFL equivale a 1,7 Mcal ENL (Vermorel, 1989). En el caso de muestras desengrasadas se adicionó el valor de la ENL correspondiente a la grasa de la muestra considerando un valor medio de 4,9 Mcal de ENL kg^{-1} de aceite (FEDNA, 2010).

Para el desarrollo de las ecuaciones de calibración se trataron los espectros mediante SNV-Detrend (Tipificación de la absorbancia y corrección de la tendencia; Barnes *et al*., 1989) para corregir los efectos de dispersión de la luz. Las calibraciones fueron desarrolladas utilizando regresión mínima cuadrática modificada (MPLS), realizando la regresión entre los datos espectrales y los de referencia (Martens y Naes, 1987), eliminando previamente las muestras anómalas utilizando para ello la distancia de Mahalanobis (estadístico H). Este modelo de regresión incluyó validaciones cruzadas para prevenir el sobreajuste, dividiendo el total de muestras de calibración en cinco grupos, que fueron secuencialmente utilizados para

efectuar la validación de las ecuaciones generadas con los restantes cuatro grupos. El procedimiento se repitió hasta que todas las muestras fueron predichas una vez y se obtuvieron los errores estándar de la validación cruzada.

Los estadísticos usados para seleccionar la ecuación de calibración fueron los errores estándar de calibración (SEC) y de validación cruzada (SECV) y los coeficientes de determinación (R^2 y r^2) obtenidos en el proceso de calibración y validación externa, respectivamente, así como el índice RER o relación entre el rango de los datos de referencia y el SECV, por ser un estadístico útil para evaluar la precisión y exactitud de los modelos de calibración (Williams y Sobering, 1996).

Análisis estadístico

ANOVA siguiendo el modelo $y=\mu+\alpha iS+\beta_j B+\varepsilon_{ij}$ (donde S es el momento de cosecha y B el bloque) seguido por la comparación de medias mediante la diferencia mínima significativa protegida de Fisher (α=0,05), utilizando el procedimiento PROC GLM de SAS/STAT v 9.2 (SAS Institute, 2009).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El ensayo se llevó a cabo según lo previsto, con una temperatura media desde la siembra hasta el último aprovechamiento, algo más cálida y una precipitación acumulada menor a los valores medios en el periodo de los últimos 10 años, como se puede observar en la Tabla 1.

	2004		Media de los 10 últimos años (2005-2014)	
Mes	Tª media ºC	Lluvia, mm	Tª media ºC	Lluvia, mm
Mayo	16,9	5,0	14,0	76,9
Junio	19,1	27,2	17,0	50,8
Julio	18,7	18,4	18,6	36,1
Agosto	19,0	92,0	18,6	33,0
Septiembre	18,0	22,6	17,4	40,9

TABLA 1. Temperatura media y precipitación acumulada durante los meses del ensayo.

TABLE 1. Monthly rainfall and average temperature over the experimental period.

El cultivo se estableció satisfactoriamente y se desarrolló sin incidencia apreciable de malas hierbas, plagas y enfermedades ni ataques de pájaros en ninguna etapa de su desarrollo. El inicio de floración (S0) tuvo lugar la semana del 26 de julio, correspondiendo a un período de crecimiento de 66 días. El estado fenológico aproximado del cultivo (escala de Schneiter y Miller, 1981) en función de las semanas (S) transcurridas tras el comienzo de la floración fue el siguiente: S1=(R5.5-R5.9), S3=(R6-R7), S5=(R7-R8), S7=(R8-R9) y S9=(R9). La densidad final del cultivo fue de 89,7 (±19,2) x 10^3 plantas ha^{-1}, siendo la altura media de las plantas de 1,62 (±0,17) m y el diámetro medio del capítulo de 16,5 (±0,17) cm.

Evolución del rendimiento y valor nutricional de la planta de girasol

Fracciones de la planta

En la Tabla 2 se presentan los resultados relativos al valor nutricional y el porcentaje en el peso seco total de la planta de girasol de las fracciones semillas, receptáculo, hojas y tallos desde la primera semana (S1) hasta la novena semana (S9) tras el inicio de floración, correspondientes a un intervalo siembra-recolección de 72 a 126 días, respectivamente.

La madurez de la planta modificó substancialmente el valor nutricional y la contribución a la biomasa total de las diferentes fracciones de la planta. Entre las semanas 1 y 9 tras la floración, la proporción en la MS total de la planta de las semillas (S) aumentó desde el 13% al 42%, mientras que la de las fracciones receptáculo (R), hojas (H) y tallos (T) disminuyeron desde el 27% al 18%, desde el 21% al 12% y desde el 39% al 28%, respectivamente. El contenido en MS de las distintas fracciones aumentó, aunque en distinta proporción, entre S1 y S9 siendo el incremento más marcado el observado para S (de 17,7% a 91,7%) y T (de 18,6% a 68,8%) seguido de R (de 16,4% a 34,1%) y H (de 20,6% a 30,8%). El contenido en materia orgánica de las semillas y el tallo fue superior y menos variable comparado con los del receptáculo y sobre todo el de las hojas, que disminuyó claramente entre S1 y S9. En dicho período, la materia orgánica de S, T, R y H oscilaron (en %MS) de 95,1 a 97,0; de 93,8 a 93,4; de 92,1 a 83,6 y de 80,8 a 76,4, respectivamente. En cuanto al contenido de PB el efecto de la madurez se manifiesta sobre todo en el descenso de su concentración en las hojas entre S1 y S9 (de 15,9 a 6,9 %MS), destacándose los bajos valores en el tallo (de 1,5 a 1,8 %MS) y receptáculo (de 5,8 a 6,0 %MS), e intermedios en las semillas (de 10,4 a 12,4 %MS). El contenido en FND (en % MS) aumenta con la madurez para el receptáculo (de 27,4 a 37,6), tallos (de 57,7 a 75,1) y hojas (de 22,7 a 29,9) y disminuye para el fruto (de 32,1 a 25,6). El comportamiento del resto de fracciones de la pared celular (FAD, CEL y LAD) siguen un patrón semejante, pudiendo resaltarse el alto grado de lignificación de las hojas y tallos a partir de S5 y el valor relativamente constante de LAD en las semillas (rango 5,6 a 6,5 entre S1 y S9) atribuible a la composición del pericarpio. La digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica desciende con la madurez en todas las fracciones de la planta incluidas las semillas desengrasadas. Desde S1 a S9 el valor de DMOIV (en %) varió desde 70,8 a 44,2 para S, de 75,0 a 46,0 para R, de 60,1 a 54,3 para H y de 57,3 a 22,4 para T, fracción que mostró los valores absolutos más bajos y experimentó el mayor descenso durante dicho período en consonancia con la mayor proporción de paredes celulares en la MS y la mayor concentración de LAD. Cuando se tiene en cuenta el incremento en aceite de las semillas, que asciende desde el 2,1%MS en la S1 al 51,8%MS en la S9, la concentración de energía neta en

Semillas														
SEM	PCT	MS	MO	PB	FND	FAD	CEL	LAD	DMOIV†	EE	CNET	CSA	EB	UFL††
S1	13% c	17,7 e	95,1 c	10,4 ab	32,1 ab	22,9 ab	18,5 a	5,6	70,8 a	2,1 c	43,6 a	42,7 a	18,5 c	0,93 c
S3	30% b	35,3 e	96,7 c	9,6 b	33,7 a	25,9 a	20,0 a	6,8	49,9 b	34,6 b	11,8 b	8,0 b	26,2 b	1,30 b
S5	38% a	54,8 e	97,0 ab	12,0 a	22,3 c	16,6 c	12,2 b	5,7	42,9 c	49,5 a	11,0 b	3,9 b	29,5 a	1,73 a
S7	44% a	81,0 b	97,3 a	11,9 a	23,7 c	18,4 bc	13,3 b	6,2	40,5 c	51,9 a	4,5 b	3,9 b	29,2 a	1,73 a
S9	42% a	91,7 a	97,0 ab	12,4 a	25,6 bc	20,0 bc	14,2 b	6,5	44,2 c	51,8 a	3,9 b	3,1 b	29,0 a	1,74 a
CV	37,5	55,0	0,9	10,6	18,6	17,8	21,8	8,3	24,8	56,0	109,8	138,7	17,4	24,5
p	**	***	**	*	*	*	*	ns	**	**	**	**	***	**
Receptáculo														
SEM	PCT	MS	MO	PB	FND	FAD	CEL	LAD	DMOIV	EE	CNET	CSA	EB	UFL
S1	27%	16,4 b	92,1 a	5,8 a	27,4 b	20,5 b	18,6 b	2,8	75,0 a	2,6	33,3 a	32,9 a	17,4	0,96 a
S3	26%	13,6 b	89,7 a	3,8 b	32,0 ab	24,8 b	20,8 b	5,1	57,5 b	2,3	25,7 b	21,2 b	16,2	0,69 b
S5	19%	14,1 b	85,2 b	4,0 b	36,6 a	31,4 b	29,5 a	2,7	56,1 b	2,4	11,5 c	6,0 c	16,1	0,63 bc
S7	20%	21,4 ab	84,5 b	5,1 ab	37,3 a	34,0 a	30,1 a	4,6	48,6 b	4,6	7,5 cd	6,4 c	16,5	0,52 bc
S9	18%	34,1 a	83,6 b	6,0 a	37,6 a	36,0 a	31,3 a	5,3	46,0 b	4,5	3,8 d	3,4 c	16,2	0,48 c
CV	19,8	42,9	4,2	20,6	12,9	22,1	22,6	30,4	20,1	35,5	76,9	90,8	3,3	28,8
p	ns	*	**	*	*	**	*	ns	*	ns	**	**	ns	**
Hojas														
SEM	PCT	MS	MO	PB	FND	FAD	CEL	LAD	DMOIV	EE	CNET	CSA	EB	UFL
S1	21% a	18,6 b	80,8 ab	15,9 a	22,7 c	45,0 a	41,5 a	3,6	60,1	4,1	9,8 a	9,3 ab	17,1 ab	0,63
S3	18% ab	20,3 b	83,0 a	11,4 b	25,6 bc	23,8 c	17,5 c	6,3	56,1	3,8	11,2 a	10,3	17,1 a	0,60
S5	14% bc	25,2 b	79,4 abc	8,6 c	28,8 ab	26,6 c	17,3 c	9,1	60,4	3,5	7,7 b	12,1a	16,2 abc	0,62
S7	12% bc	54,2 ab	78,7 bc	7,2 c	31,0 a	34,3 b	25,2 b	8,7	43,9	4,0	4,0 c	3,5 b	16,0 bc	0,43
S9	12% c	68,8 a	76,4 c	6,9 c	29,9 ab	34,1 b	25,7 b	7,5	54,3	3,8	3,6 c	3,2 b	15,2 c	0,54
CV	25,7	60,6	3,1	37,6	12,4	25,2	38,7	31,2	12,2	5,8	46,7	53,3	4,9	15,0
p	*	*	*	**	*	**	**	ns	ns	ns	**	*	*	ns
Tallos														
SEM	PCT	MS	MO	PB	FND	FAD	CEL	LAD	DMOIV	EE	CNET	CSA	EB	UFL
S1	39%	20,6 d	93,8	1,5 ab	57,7 c	42,8 c	38,5 c	4,5 c	57,3 a	0,3 b	26,7 a	26,2 a	17,0	0,71a
S3	26%	22,0 cd	94,1	1,1 b	66,7 b	51,6 b	47,3 c	5,8 bc	44,1 ab	0,5 ab	15,8 b	15,8 a	17,1	0,53 ab
S5	29%	25,5 bc	93,6	1,0 b	76,5 a	62,3 a	56,1 a	7,0 b	32,9 bc	0,4 ab	5,2 c	3,9 b	17,0	0,37 bc
S7	25%	28,5 ab	92,5	1,3 ab	74,4 ab	59,0 a	51,1 ab	8,7 a	37,4 bc	0,5 ab	4,1 c	3,2 b	17,1	0,43 bc
S9	28%	30,8 a	93,4	1,8 a	75,1 ab	60,8 a	52,5 a	9,0 a	22,4 c	0,5 a	3,7 c	3,7 b	17,2	0,24 c
CV	19,9	16,8	0,7	24,3	11,3	14,7	13,7	27,3	33,5	17,4	90,5	96,8	0,4	38,7
p	ns	*	ns	*	*	**	**	**	*	*	*	**	ns	*

*SEM: semana tras el inicio de floración; PCT: porcentaje de cada fracción en la materia seca de la planta; MS: materia seca (%); MO: materia orgánica (%MS); PB: proteína bruta (%MS); FND: fibra neutro detergente (%MS); FAD: fibra ácido detergente (%MS); CEL: celulosa (%MS); LAD: lignina (%MS); DMOIV: digestibilidad in vitro de la materia orgánica (%); DMOIV†: medida sobre muestra desengrasada (%); EE: extracto etéreo (%MS); CNET: carbohidratos no estructurales (%); CSA: carbohidratos solubles en agua (%MS); EB: energía bruta (MJ kg^{-1} MS); UFL: unidades forrajeras leche (kg^{-1} MS); UFL††: calculada teniendo en cuenta la aportación calórica del aceite; CV: coeficiente de variación (%); p: significación del test F en el ANOVA; Nivel de significación: ns: no significativo; *p<0,05; ** p<0,01; *** p<0,001; Letras distintas en la misma columna indican medias significativamente diferentes.*

TABLA 2. Efecto del momento de corte (semanas tras comienzo de la floración) sobre el porcentaje de materia seca y valor nutricional (valores medios) de las fracciones (semillas, receptáculo, hojas y tallos) en la planta de girasol.

TABLE 2. Effect of harvest date (weeks after flowering stage) on percentage of dry matter and nutritive value (means values) of the fractions (seeds, receptacle, leaves and stems) in sunflower whole plant.

esta fracción aumenta desde 0,93 UFL/kg MS en el estado más precoz hasta un máximo de 1,73 UFL/kg MS en S5, que se mantuvo inalterado hasta la madurez fisiológica en S9. El contenido en azúcares desciende claramente con la madurez en todas las fracciones de la planta, en particular en los órganos de acumulación, oscilando entre S1 y S9 del 42,7 al 3,1%MS para las semillas, del 32,9 al 3,4%MS para el receptáculo y del 26,2 al 6,7%MS para los tallos, respectivamente. El contenido de las hojas fue claramente menor y su variación menos marcada (entre 9,3 y 3,2 %MS) descendiendo claramente a partir de S5 como consecuencia de la acusada senescencia de esta fracción. Por último, el aumento de la energía bruta en las diferentes fracciones y su variación con la madurez refleja, por un lado, la acumulación de aceite en las semillas y la variación del contenido en materia orgánica en el resto de la planta, oscilando el valor de EB (en MJ/kg MS) entre 18,5 y 29,0 para S, entre 17,4 y 16,2 para R, entre 17,1 a 15,2 para H y entre 17,0 a 17,2 para T, respectivamente, entre la semana posterior al inicio de floración y la madurez fisiológica de la planta.

Evolución del rendimiento y valor nutricional de la planta entera, el capítulo y la parte vegetativa de la planta de girasol

Los resultados del rendimiento en materia seca, composición y valor nutricional de la planta entera de girasol así como el porcentaje en el peso seco total de la planta y el valor nutricional de las fracciones parte vegetativa y capitulo, desde el inicio de floración del cultivo (S0) hasta la semana novena (S9) tras el inicio de floración, se muestran en la Tabla 3. Los estados de crecimiento del cultivo según escala de Schneiter y Miller (1981) reflejados en la tabla estuvieron en el intervalo entre R5.5 (floración con el 50% de las flores tubuladas abiertas en antesis o post-antesis, a los 66 días de la siembra) y R9.2 (próximo a la madurez fisiológica, con hojas y tallo con apariencia senescente y marchita, grano totalmente formado con textura consistente, pero blanda, a los 126 días tras la siembra).

El momento de corte no afectó significativamente al rendimiento del cultivo, que mostró un valor medio de 8,4 t MS ha^{-1}

Planta entera													
SEM	PROD	EC	MS	MO	PB	FND	FAD	LAD	DMOIV	EE	CSA	EB	UFL
S0	7,3	R5.5	20,1 cd	91,7 a	6,8 ab	43,9 b	33,8 bc	5,7 bc	60,3 a	1,5 e	24,4 ab	17,5 f	0,76 d
S1	8,1	R5.9	19,9 cd	92,0 a	5,9 bc	43,9 b	33,9 bc	5,4 bc	59,3 a	1,6 e	25,8 a	17,6 f	0,75 d
S2	7,8	R6	18,9 d	92,4 a	5,7 c	45,7 ab	36,4 ab	6,2 b	57,7 a	3,9 e	21,9 b	18,3 e	0,80 d
S3	8,5	R6	20,1 cd	92,4 a	6,0 bc	44,6 ab	35,5 abc	5,5 bc	54,0 b	10,6 d	14,8 c	19,5 d	0,93 c
S4	8,8	R7	21,7 cd	91,7 a	6,0 bc	45,0 ab	35,4 abc	5,1 bcd	50,6 c	15,5 c	9,4 d	20,4 c	1,02 ab
S5	9,3	R7-R8	25,3 cd	88,9 b	6,0 bc	43,9 b	34,8 abc	5,9 bc	49,2 cd	17,7 bc	7,7 de	21,3 b	1,05 ab
S6	8,4	R8	29,5 bc	85,9 cd	6,5 abc	43,4 b	37,8 a	8,0 a	41,5 f	17,6 bc	5,2 ef	21,3 b	0,93 c
S7	8,5	R8-R9.1	36,1 b	85,1 cd	6,6 ab	44,5 ab	37,9 a	8,2 a	40,3 f	17,8 bc	4,0 f	21,6 ab	0,92 c
S8	8,8	R9.1	52,2 a	86,2 c	7,2 a	45,7 ab	32,7 c	4,8 cd	46,3 e	20,7 a	3,6 f	22,1 a	1,08 a
S9	8,3	R9.2	58,6 a	84,1 d	7,2 a	47,1 a	36,6 ab	4,1 d	46,9 de	18,4 ab	3,0 f	21,2 b	1,01 b
CV	15,6	-	49,4	3,9	12,8	5,3	7,6	24,4	4,4	61,6	74,6	7,9	12,3
p	ns	-	***	**	**	*	*	***	***	***	***	***	***
Capítulo (incluye Receptáculo, Brácteas, Pétalos, Inflorescencias y/o Frutos)													
SEM	PROD	PCT	MS	MO	PB	FND	FAD	LAD	DMOIV†	EE	CSA	EB	UFL††
S0	1,7 d	24% d	18,1 e	92,7 a	9,2 b	29,5 c	23,5 c	6,8 bc	76,2 a	3,9 e	25,6 b	18,3 g	1,09 d
S1	3,1 c	38% c	17,4 e	93,7 a	6,9 e	32,1 bc	25,6 bc	5,1 de	75,4 a	2,8 e	33,7 a	18,1 g	1,05 d
S2	3,6 bc	46% b	17,0 e	94,0 a	6,7 e	37,0 a	29,6 b	5,4 cd	69,6 a	7,5 d	25,4 b	19,4 f	1,10 d
S3	4,3 ab	50% b	19,3 de	93,1 a	7,3 de	33,2 b	27,3 bc	5,2 de	65,0 bc	20,1 c	16,8 c	21,8 e	1,39 bc
S4	4,6 ab	52% ab	22,1 de	92,0 a	7,9 cd	32,5 bc	25,8 bc	5,0 de	60,4 cd	28,7 b	9,7 d	23,4 d	1,55 a
S5	5,4 a	58% a	25,8 de	88,5 b	8,1 cd	31,8 bc	24,7 c	5,3 cde	55,7 d	29,9 b	7,9 d	24,4 c	1,49 ab
S6	4,9 a	58% a	30,6 cd	84,4 c	8,7 bc	32,2 bc	29,2 b	8,5 a	46,9 e	29,3 b	5,7 e	24,5 bc	1,33 c
S7	4,9 a	58% a	37,6 c	83,4 c	9,1 b	31,9 bc	27,4 bc	8,1 ab	46,7 e	30,1 b	5,1 e	25,0 abc	1,35 c
S8	5,1 a	58% a	59,4 b	84,1 c	10,3 a	30,0 bc	29,6 b	4,9 de	56,8 d	35,2 a	4,3 e	25,6 a	1,62 a
S9	4,7 a	52% ab	72,1 a	80,8 d	10,8 a	30,4 bc	37,1 a	3,7 e	57,4 d	34,6 a	3,7 e	25,2 ab	1,58 a
CV	26,7	22,7	60,2	5,7	16,4	6,6	13,6	26,3	17,2	57,5	78,8	13,1	15,8
p	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
Parte vegetativa (incluye Hojas y Tallos)													
SEM	PROD	PCT	MS	MO	PB	FND	FAD	LAD	DMOIV	EE	CSA	EB	UFL
S0	5,6 a	76% a	20,7 c	91,4 ab	6,1 a	48,4 g	36,9 f	5,4 de	55,2 a	0,76 c	23,8 a	17,2 ab	0,66 a
S1	5,0 ab	62% b	21,3 c	90,9 ab	5,4 ab	51,1 fg	39,1 f	5,6 ab	48,8 b	0,82 bc	20,5 ab	17,3 a	0,56 b
S2	4,2 bc	54% c	20,5 c	91,0 ab	4,9 bc	53,3 ef	42,3 e	6,9 bc	46,9 b	0,87 bc	18,7 b	17,4 a	0,54 b
S3	4,3 bc	50% c	20,9 c	91,7 a	4,8 bc	56,2 de	43,8 de	5,9 cde	42,7 c	1,08 ab	12,6 c	17,2 ab	0,49 c
S4	4,2 bc	48% cd	21,3 c	91,1 ab	4,0 cb	58,5 cd	46,0 cd	5,3 e	40,2 c	1,18 a	8,8 cd	17,1 ab	0,45 c
S5	3,9 bc	42% d	24,3 c	89,6 abc	3,2 de	60,4 cd	48,8 bc	6,7 bcd	41,3 c	1,04 ab	7,8 d	17,2 ab	0,46 c
S6	3,5 c	42% d	27,9 bc	88,1 c	3,3 de	59,5 cd	49,9 ab	7,3 ab	34,0 de	1,14 a	4,4 de	16,8 c	0,36 de
S7	3,6 c	42% d	34,0 b	87,5 c	3,1 de	62,0 bc	52,5 a	8,3 a	32,1 e	1,02 ab	2,5 e	17,0 bc	0,33 e
S8	3,7 bc	42% d	42,5 a	89,1 bc	2,8 e	67,7 a	37,3 f	4,7 e	32,2 e	0,85 bc	2,7 e	17,2 ab	0,34 de
S9	3,6 bc	43% cd	43,9 a	87,6 c	3,3 de	65,5 ab	36,2 f	4,6 e	36,3 d	0,93 abc	2,2 e	16,9 c	0,39 d
CV	16,3	22,6	33,2	1,8	27,8	10,6	13,6	19,9	18,7	14,8	78,0	1,1	23,2
p	**	***	***	**	***	***	***	***	**	*	***	**	***

*SEM: semana tras el inicio de floración; PROD: rendimiento de materia seca (t ha^{-1}); EC: estado de crecimiento del cultivo según escala de Schneiter y Miller (1981)PCT: porcentaje de cada fracción en la materia seca de la planta; MS: materia seca (%); MO: materia orgánica (%MS); PB: proteína bruta (%MS); FND: fibra neutro detergente (%MS); FAD: fibra ácido detergente (%MS); CEL: celulosa (%MS); LAD: lignina (%MS); DMOIV: digestibilidad in vitro de la materia orgánica (%); DMOIV†: medida sobre muestra desengrasada (%); EE: extracto etéreo (%MS); CNET: carbohidratos no estructurales (%); CSA: carbohidratos solubles en agua (%MS); EB: energía bruta (MJ kg^{-1} MS); UFL: unidades forrajeras leche (kg^{-1} MS); UFL††: calculada teniendo en cuenta la aportación calórica del aceite; CV: coeficiente de variación (%); p: significación del test F en el ANOVA; Nivel de significación: ns: no significativo; *p<0,05; ** p<0,01; *** p<0,001; Letras distintas en la misma columna indican medias significativamente diferentes.*

TABLA 3. Efecto del momento de corte (semanas tras el inicio de floración) sobre el rendimiento en materia seca, composición y valor nutricional (valores medios) de la planta entera de girasol, y de las fracciones capitulo (C) y parte vegetativa (PV).

TABLE 3. Effect of harvest date (weeks after flowering stage) on dry matter yield, composition and nutritive value (mean values) of whole plant, head (C) and stover (PV) fractions of sunflower.

(rango de variación de 7,3 a 9,3 t MS ha^{-1} en las semanas S0 y S5, respectivamente). Los rendimientos obtenidos en este estudio pueden considerarse altos comparados con los referidos en la bibliografía y probablemente influidos por la realización del ensayo en condiciones de pequeña parcela, donde prácticamente no hay pérdida de forraje en la cosecha. Diversos trabajos refieren que el rendimiento en materia seca del cultivo aumenta rápidamente cuando la planta progresa desde los estados vegetativos hasta la floración completa. A partir de este momento la biomasa total del cultivo puede todavía aumentar o mantenerse constante durante un tiempo variable para disminuir en la proximidad de la madurez. Pereira (2003), al evaluar el rendimiento de cuatro cultivares de girasol cosechados entre los 30 y 51 días tras la floración, observó que la producción de materia seca no fue significativamente afectada por el retraso en la fecha de cosecha, con producciones de entre 5,1 y 6,1 t MS ha^{-1}, respectivamente. En otro trabajo en el que se compararon tres fechas de corte (95, 110 y 125 días tras la siembra), Rezende *et al*. (2002) observaron una reducción en la producción de materia seca por hectárea conforme se retrasa el corte, con valores de 7,9; 7,2 y 6,0 t MS ha^{-1}, respectivamente. Dicha reducción, de -0,35 t MS semana^{-1} entre las dos primeras fechas, prácticamente se duplica (-0,60 t MS semana^{-1}) para el corte más tardío. Los datos de un total de 127 campos de ensayo de girasol forrajero realizados por Lloveras (1980-1985) en distintas localidades de Galicia y del occidente de Asturias muestran valores medios de rendimiento de 6,2 t MS ha^{-1} para plantas cosechadas alrededor de los 70 días de crecimiento en un estado del 10-70% de

floración, que se correspondería con la S0 de nuestro trabajo, oscilando entre 3,0 y 10,4 t MS ha^{-1} como valores extremos.

El contenido en MS del cultivo se mantuvo prácticamente constante alrededor del 20% desde el inicio de floración hasta S4, momento a partir del cual la planta perdió humedad rápidamente, incrementándose como promedio el contenido en MS en 7,3 unidades $semana^{-1}$. Estos valores de MS son superiores a los referidos en trabajos realizados en Galicia y occidente de Asturias por Lloveras (1980-1985), en Italia por Peiretti y Meineri (2010) y en Francia por Demarquilly y Andrieu (1972).

El aporte de la fracción capítulo a la biomasa total se incrementó desde el 24% en S0 hasta el 57% en S9, si bien desde la 5ª semana tras la floración (S5) dicha proporción se mantuvo estable hasta la madurez fisiológica. Demarquilly y Andrieu (1972) indican que en la madurez fisiológica del girasol el porcentaje de capítulo se sitúa en torno al 60% de la MS total, valor muy cercano al observado en este trabajo.

La evolución de la calidad de la planta entera desde el inicio de floración hasta la madurez, entre las semanas S0 a S9, respectivamente, se caracterizó como sigue: el contenido en MO desciende (91,7 a 84,1 %MS) en particular desde S5, el contenido en FAD aumentó ligeramente (33,8 a 36,6 %MS), el de LAD aumentó de 5,7 a 8,2 %MS entre S0 y S7, respectivamente, para descender claramente a 4,8 y 4,1 %MS en las dos semanas más próximas a la madurez fisiológica. El contenido medio de PB fue de 6,4 %MS y este bajo valor se mantuvo relativamente constante con los valores mínimos (5,7 a 6,0 %MS) en las semanas S2 a S5 y los máximos (6,8 a 7,2 %MS) en las S0 y S9. A pesar del descenso en el contenido en PB de la parte vegetativa desde floración a la madurez fisiológica del cultivo, la concentración de PB en la planta entera tiende a aumentar debido a la contribución cada vez mayor de la fracción capítulo cuyo contenido en PB aumentó con el llenado y maduración del aquenio.

La aparente menor lignificación de la pared celular en las proximidades de la madurez fisiológica se ve confirmada cuando observamos los valores de DMOIV, que desciende desde 60,3% en S0 hasta 40,3% en S7 para volver a aumentar significativamente a 46-47% en las dos semanas siguientes. El valor medio de la digestibilidad de la planta de girasol en este estudio (50,6 %) es marcadamente inferior al referido por otros autores, por ejemplo Demarquilly y Andrieu (1972) indican valores del 70-75% al inicio de la floración y del 60-65% para la planta en estado de grano pastoso (semanas S6 a S8 de nuestro estudio). Sin embargo, trabajos más recientes como el de Peiretti y Meinieri (2010) indican valores de DMOIV cercanos al 60% para la planta en plena floración, más acordes con los resultados obtenidos en nuestro trabajo. Por otra parte, Rezende *et al*. (2002) también observaron como la digestibilidad se reduce rápidamente con la edad de la planta, desde el 62,9 % a los 95 días hasta el 49,4% a los 125 días. Probablemente, esta reducción se deba a la interferencia de la fracción lipídica en la digestión ruminal. A pesar del bajo valor de digestibilidad de la planta de girasol, el contenido energético de la misma es relativamente elevado, comparativamente con otros forrajes de similar digestibilidad, debido a la acumulación de grasa en las semillas con el avance de la madurez a partir de los carbohidratos no estructurales sintetizados por la planta. En el período de S0 a S9 la variación del contenido de CSA y EE del girasol fue de 24,4 a 3,0 %MS y de 1,5 a 18,4 %MS, respectivamente, pudiendo destacarse que el aumento de la concentración de aceite (e inversamente el descenso de la de carbohidratos solubles) tiene lugar especialmente entre las semanas S3 y S8. La concentración de energía neta media fue de 0,92 UFL kg^{-1} MS, valor comparable con el obtenido por Flores *et al*., (2005) para la colección de ensilados de maíz evaluados *in vivo* en el CIAM (0,91 UFL kg^{-1} MS).

Momento óptimo de aprovechamiento para ensilar

Para obtener ensilado de buena calidad y alto valor nutritivo la planta debe ser cortada en un momento adecuado, habiendo controversia a tal respecto en la bibliografía. La mayor parte de los trabajos encontrados presentan resultados de estudios realizados con plantas cosechadas en torno a la floración, entre los estados R5 y R6 de la clasificación fenológica de Schneiter y Miller (1981). Tan y Turner (1996) ensilaron girasol en diferentes estados y concluyeron que el final de la floración era el mejor momento para cosechar la planta. Donaldson *et al*., (1980) indican que, para ensilajes de girasol cortado en el estado de plena floración y en el de grano lechoso los contenidos en proteína y digestibilidad de la materia orgánica *in vitro* fueron superiores en la fecha más precoz, con valores de PB de 13,8 y 9,8 %MS y de DMOIV de 68,6 y 64,4 %, respectivamente. En un ensayo realizado en el CIAM, Zea y Díaz (1990) ensilaron girasol cosechado en tres fechas: estados R4 (botón floral) y R5 con el 50% y 100% de plantas con flor abierta y observaron que descendía tanto la concentración de proteína bruta (11,2, 10,7 y 9,6 %MS) como la digestibilidad (72,3, 70,8 y 67,3%) de la planta para las tres fechas de corte evaluadas.

Frente a la recomendación de ensilar precozmente en la floración del cultivo, otros autores recomendaban ensilar en estados más avanzados. Demarquilly y Andrieu (1972) realizaron un estudio sobre dos variedades de girasol sembradas la primera semana de mayo a 60-90 mil plantas ha^{-1} y registraron la evolución del rendimiento y digestibilidad de la materia orgánica in vivo (DMO) entre los estados de botón floral (R2) y de capítulos con la base amarilla y grano pastoso (R7-R8). La digestibilidad de la planta fue alta hasta la floración, y descendió finalizada esta fase hasta el estado de grano totalmente formado (R6) a razón de 2,7 ud DMO $semana^{-1}$ y

© Gonzalo Flores Calvete

Girasol en floración completa (estado fenológico R6).

posteriormente, desde este estado hasta el final del estudio a razón de 1,0 ud DMO semana $^{-1}$. La acumulación de biomasa del cultivo aumentó de forma muy rápida desde la aparición del botón floral (4,0 t MS ha^{-1}) hasta alcanzar, transcurridas 5 semanas, un máximo de 8,9 t MS ha^{-1} en el estado de grano totalmente formado. A partir de este momento, la producción del cultivo se mantuvo constante o disminuyó ligeramente. La integración de la evolución de la digestibilidad y del rendimiento con el avance de la madurez del cultivo mostraba que la producción de energía neta leche (ENL) por hectárea aumentaba hasta el estado R6, para reducirse ligeramente en los estados más avanzados. Coincidiendo con estos resultados, Tosi *et al*. (1975) consideran que el momento más adecuado para ensilar se sitúa en el momento en que las plantas presenten capítulos con coloración verde-amarillenta en la base y los aquenios estén bien formados (estado R6-R7) y Gonçalves *et al*. (2000) extienden su recomendación a un estado más tardío, momento en el que las plantas presenten el 100% de aquenios maduros, brácteas amarillas a castañas y las hojas marchitas o secas, lo que se aproximaría al estado fenológico R8.

En la elección de la fecha de corte también se debe de considerar, en paralelo a la productividad de la cosecha y su valor nutricional, el contenido en MS del forraje. El bajo contenido en MS es considerado una de las desventajas observadas. En aprovechamientos precoces, cerca de la floración, la planta de girasol acumula mucha humedad en el tallo y en el receptáculo floral, con valores de MS<20%, que ocasionaría una elevada producción de efluente, con las consiguientes pérdidas de materia seca y su riesgo medioambiental, y una baja ensilabilidad. Por lo tanto, para evitar la producción de efluente y asegurar una buena calidad de conservación, es necesario realizar aprovechamientos más tardíos, en los estados R7-R8, que permitirían maximizar la producción de MS y ENL por ha, situando el rango de MS entre el 25-28% con el que la producción de efluente será mucho más baja o incluso nula. En contrapartida, la digestibilidad de la fibra será menor pero el valor energético unitario de la planta puede quedar compensado por el incremento en la concentración de aceite. No parece tener ventajas la realización de aprovechamientos más tardíos, en la proximidad de la maduración fisiológica de las semillas, puesto que la planta en este estado tan avanzado presenta una inferior calidad nutricional y el

Parámetro	SD	Rango		SEC	R^2	SECV	r^2	RER
MO (%MS)	4,50	76,98	94,53	0,83	0,97	1,65	0,88	10,6
PB (%MS)	3,00	1,13	14,72	0,21	0,99	0,29	0,99	47,4
FND (%MS)	15,75	23,07	75,87	1,01	0,99	1,49	0,99	35,3
FAD (%MS)	11,98	17,20	60,35	1,00	0,99	3,64	0,90	11,9
CEL (%MS)	11,02	12,72	54,46	1,06	0,99	3,19	0,91	13,1
LAD (%MS)	1,70	2,78	8,89	0,82	0,77	1,13	0,55	5,4
EE (%MS)	13,31	0,33	51,44	0,26	0,99	0,85	0,99	59,8
CNET (%MS)	9,60	1,07	40,52	0,61	0,99	0,92	0,99	42,8
CSA(%MS)	8,80	2,92	39,46	0,66	0,99	1,23	0,99	29,7
DMOIV(%)	11,64	16,10	29,20	1,41	0,98	1,87	0,96	45,8
EB (MJ kg^{-1} MS)	3,62	29,44	73,90	0,16	0,99	0,29	0,99	23,8

MS: materia seca; MO: materia orgánica; PB: proteína bruta; FAD: fibra ácido detergente; FND: fibra neutro detergente; CEL: celulosa; LAD: lignina; EE: extracto etéreo; CNET: carbohidratos no estructurales; CSA: carbohidratos solubles en agua; DMOIV: digestibilidad in vitro de la materia orgánica; EB: energía bruta; SD: desviación estándar; SEC: error estándar de calibración; SECV: error estándar de validación cruzada; R^2 y r^2: coeficiente de determinación en calibración y validación cruzada; RER = Rango/SECV

TABLA 4. Estadísticos NIRS de la ecuación de calibración desarrollada para la predicción de la composición química, digestibilidad y energía bruta de las fracciones de la planta de girasol forrajero.

TABLE 4. NIRS statistics of the calibration equation used for the prediction of the chemical composition, digestibility and gross energy of the fractions of forage sunflower.

material senescente del tallo, parte de las hojas y del capítulo puede presentar una elevada contaminación fúngica que comprometa la estabilidad aeróbica del ensilado (Woolford *et al*., 1984).

Obtención de calibraciones NIRS para la predicción del valor nutritivo

Las características de los valores de referencia del set de calibración y los estadísticos que describen la calidad de las ecuaciones de predicción obtenidas, se muestran en la Tabla 4. Tanto el número de muestras como la variabilidad en su composición química, digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica y energía bruta se consideran adecuados para el desarrollo inicial de las calibraciones NIRS (Shenk y Westerhaus, 1995).

Los coeficientes de determinación en el proceso de calibración (R^2), que ofrecen información sobre la calidad de la calibración, alcanzaron el valor de 0,99 para la mayoría de los parámetros, excepto para LAD, MO y DMOIV con valores de 0,77, 0,97 y 0,98, respectivamente. Shenk y Westerhaus (1996) indican que las ecuaciones NIRS con un coeficiente de determinación superior a 0,90, poseen una precisión excelente y para los valores superiores a 0,70 la calibración obtenida puede considerarse buena. Según Williams (2003), los modelos con valores del coeficiente de determinación en el proceso de calibración superiores a 0,91 se consideran excelentes. Por lo tanto, las ecuaciones obtenidas presentan una calibración excelente para todos los parámetros, excepto para LAD. Los errores estándar de calibración (SEC) y de validación cruzada (SECV) se sitúan dentro de los intervalos aceptables citados por otros trabajos de desarrollo de calibraciones del valor nutritivo de forrajes (Murray, 1993). El índice RER confirmó la buena precisión de las ecuaciones desarrolladas para todos los parámetros, superando en todos los casos el umbral de 10, excepto para LAD. Williams y Sobering (1996) sugieren que los modelos con RER>10 son adecuados para predecir cuantitativamente un parámetro.

Sólo se ha encontrado en la bibliografía la información proporcionada por Fassio *et al.* (2007) acerca de la aplicabilidad de la técnica NIRS para la predicción del valor nutricional del girasol forrajero, cuyos resultados muestran una calibración menos robusta que la obtenida en este trabajo, con menores valores de R^2 y mayores de SECV.

CONCLUSIONES

Los resultados sugieren que, contrariamente a la práctica habitual de ensilar girasol en plena floración, sería recomendable realizar la cosecha en el estado de crecimiento del cultivo R7-R8 para aprovechar el incremento de producción y la alta concentración energética en este momento, minimizando las pérdidas de efluente y no comprometiendo la obtención de una buena calidad de fermentación del ensilado. A pesar de estas ventajas, debe considerarse el elevado aporte de grasa a la ración cuando el girasol es cosechado en este estado, lo que limita su utilización como forraje mayoritario en la dieta. Las calibraciones NIRS desarrolladas para estimar el valor nutricional de las fracciones de la planta de girasol mostraron un buen poder predictivo para todos los parámetros excepto para lignina. La ampliación del grupo de calibración con más muestras procedentes de otras variedades, localidades y años podrá reforzar e incrementar la robustez de las calibraciones obtenidas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDER R.H. Y McGOWAN M. (1966) The routine determination of in vitro digestibility of organic matter in forages. *J. Brit. Grassld. Soc.,* 21, 140-147.

AOAC (2003) Official Method 2003.06 Crude Fat in Feeds, Cereal Grains and Forages. *Journal of AOAC International*, 86, 888-899.

BARNES R.J., DHANOA M.S. Y LISTER S.J. (1989) Standard normal variate transformation and Detrending of near infrared

diffuse reflectance spectra. *Applied Spectroscopy*, 43, 772-777.

BROOKS C.C., GARNER G.B., GEHRKE C.W., MUHRER M.E. Y FANDER W.H. (1954) The effect of added fat on the digestion of cellulose and protein by ovine rumen microorganisms. *J. Anim. Sci.,* 13, 748-764.

BUDIÑO G. (1991) Memorias del Centro de Investigacións Agrarias de Mabegondo. Xunta de Galicia.

CASTRO P., GONZÁLEZ-QUINTELA A. Y PRADA-RODRÍGUEZ D. (1990) Determinación simultánea de nitrógeno y fósforo en muestras de pradera. En: Actas de la XXX Reunión Científica de la SEEP, pp. 200-207. San Sebastián, España: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.

CASTRO P. (1996) Efecto de tres temperaturas de secado sobre la composición química de forrajes y heces. En: Consejería de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (Ed) Actas de XXXVI Reunión Científica de la SEEP, pp. 365-368. La Rioja, España: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.

CASTRO P. (2000) Determinación de carbohidratos no estructurales en forrajes. En: Consellería de Agricultura, Gandería e Política Agroalimentaria (Ed) *Actas de la III Reunión Ibérica de Pastos y Forrajes*, pp. 447-453. Santiago de Compostela, España.

DEMARQUILLY C. Y ANDRIEU J. (1972) Chemical composition, digestibility and ingestibility of whole sunflower plant before and after ensiling. *Ann. Zootech*., 21 (2), 147-162.

DONALDSON E., HENDERSON A. R., EDWARDS R.A. Y HARPER F.F. (1980) Studies on sunflower silage. Paper nº 26. Edinburgh School of Agriculture. Edinburgh (Scotland).

FASSIO A., GIMENEZ A, FERNÁNDEZ E, VAZ MARTINS D Y COZZOLINO, D. (2007) Prediction of chemical composition in sunflower whole plant and silage (*Helianthus annuus* L) by near infrared reflectance spectroscopy. *J. Near Infrared Spectrosc.,* 15, 201-207.

FEDNA (2010) Tablas de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos (3ª edición). C. de Blas, G.G. Mateos y P. García-Rebollar. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. Madrid. 502 pp.

FLORES G., GONZÁLEZ-ARRÁEZ A., CASTRO J., CASTRO P., CARDELLE M., FERNÁNDEZ-LORENZO B. Y VALLADARES J. (2005) Evaluación de métodos de laboratorio para la predicción de la digestibilidad in vivo de la materia orgánica de ensilajes de hierba y planta entera de maíz. *Pastos*, 32, 5-99.

GOERING H. Y VAN SOEST P. (1970) Forage fiber analysis (Apparatus, Reagents, Procedures and some applications). *Agriculture Handbook, 379*, 20 pp. ARS, USDA, Washington, EEUU.

GONÇALVES L.C., TOMICH T.R. Y PEREIRA L.G.R. (2000) Produção e utilização de silagem de girassol. En: Simpósio de Forragicultura e Pastagens (1), pp. 203-236. Lavras: UFLA.

LLOVERAS J. (1980-1985) Memorias del Centro de Investigacións Agrarias de Mabegondo. Xunta de Galicia.

MAGRAMA (2012) Anuario de Estadística del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Año 2012. 1137 pp. Gobierno de España.

MARTENS H.Y NAES T. (1987) Multivariate calibration by data compression. En: P. Williams y K. Norris (Eds) Near-infrared technology in the agricultural and food industries. American Association of Cereal Chemists, pp. 57-88. St. Paul, Minnesota, USA.

MIRANDA-GONZALEZ A. (2013) Gestión de la producción de forraje para vacas de alta producción. *Frisona*, XXXIII, 198, 92-99.

MURRAY I. (1993) Forage analysis by Near-Infrared Spectroscopy. En: A. Davies et al. (Eds) Sward Measurement handbook (2nd. edition) Chapter 14, pp. 285-312. BGS Publications. Reino Unido.

PALMQUIST D.L. (1987) Adding fat to dairy diets. *Animal Health and Nutrition,* 42, 32.

PANCIERA M.T., KUNKLE W.E. Y FRANSEN S.C. (2003) Minor Silage Crops. En: Buxton et al. (Eds) Silage Science and Technology. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America; Soil Science of America, 937 pp, Madison-Wisconsin, USA.

PEIRETTI P.G. Y G. MEINERI, (2010) Evolution of chemical composition, nutritive value and fatty acid content of sunflower (*Helianthus annuus* L.) during the growth cycle. *J. Anim. Vet. Adv*., 9, 112-117.

PEREIRA, L.G.R. (2003) Potencial forrageiro da cultura do girassol (*Helianthus annuus* L.) para produção de silagem. Tese (Doutorado em Ciência Animal) - Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG.

REGO O.A., ROSA H.J.D. Y PORTUGAL P.V. (2005) The effects of supplementation with sunflower and soybean oils on the fatty acid profile of milk fat from grazing dairy cows. *Animal Research*, 54, 17-24.

REZENDE A.V., EVANGELISTA A.R., SIQUEIRA G.R., TOSI H., SILVEIRA, A.C. Y BERNARDES T.F. (2002) Avaliação do potencial do girassol (*Helianthus annuus* L.) como planta forrageira para ensilagem na safrinha, em diferentes épocas de cortes. *Ciência e Agrotecnologia*, 26, Edição Especial, 1548-1553.

SAS INSTITUTE (2009) SAS/Stat User's Guide, v.9.2, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA

SCHNEITER A.A. Y MILLER J.F. (1981) Description of sunflower growth stages. *Crop Science,* 21, 901-903.

SHENK J.S. Y WESTERHAUS M.O. (1991) Population definition, sample selection, and calibration procedures for near infrared reflectance spectroscopy. *Crop Science*, 31, 469-474.

SHENK J.S. Y WESTERHAUS M.O. (1995) Analysis of agriculture and food products by near infrared reflectance spectroscopy. Monograph, NIR Systems Inc, Silver Spring, MD, USA.

SHENK J.S. Y WESTERHAUS M.O. (1996) Calibration the ISI way. En: Davies A.M.C. y Williams P. (Eds). Near Infrared Spectroscopy: the Future Waves, NIR Publications, pp.198-202. Chichester, Reino Unido.

TAN S. Y TURNER S. (1996) Research on the evaluation of silage quality of sunflowers. *Anadolu*, 6, 45-57.

TILLEY J.M.A. Y TERRY R.A. (1963) A two stage technique for in vitro digestion of forage crops. *Journal of the British Grasslands Society*, 18, 104-111.

TOSI H., SILVEIRA A.C., FARIA V.P. Y PEREIRA R.L. (1975) Avaliação do girassol (*Helianthus annuus*) como planta para a ensilagem. *Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia,* 4 (1), 39-48.

VALDEZ F. R., HARRISON J. H. Y FRANSEN S. C. (1988) Effect of feeding corn-sunflower silage on milk production, milk composition, and rumen fermentation of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 71 (9): 2462-2469.

VAN SOEST E.J., ROBERTSON J.B. Y LEWIS B.A. (1991) Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74 (10): 3583-3597.

VERMOREL M. (1989) Energy: the Feed Unit System. En: R. Jarrige (ed). *Ruminant nutrition: Recommended allowances and feed tables,* pp 23-32. INRA y John Libbey Eurotext, París, Francia.

VILLADA-LEGASPI E. (2013) Factores limitantes ao cultivo do millo: Alternativas. *Cooperación Galega-Caderno de Divulgación Técnica*, 113: 1-15.

WILLIAMS P. (2003) Near-infrared technology getting the best out of light. A Short Course in the Practical Implementation of Near Infrared Spectroscopy for the User. PDK Projects Inc., Nanaimo, Canadá.

WILLIAMS P. Y SOBERING D. (1996) How do we it: brief summary of the methods we use in developing near infrared calibration. En: Davies A.M.C. y Williams P. (Eds). Near Infrared Spectroscopy: The future waves, NIR Publications, pp.185-188. Chichester, Reino Unido.

WIN ISI 1.5 (2000) ISI WINDOWS Near-Infrared Software, The Complete Software Solution for Routine Analysis, Robust Calibration and Networking, ISI (Infrasoft International), LLC, Port Matilda, PA, USA.

WOOLFORD M.K. (1984) The silage fermentation. Microbiology Series, Marcel Dekker, Inc, New York, pp. 172-186.

ZEA J. Y DÍAZ D. (1986-1987) Memorias del Centro de Investigacións Agrarias de Mabegondo. Xunta de Galicia.

ZEA J. Y DÍAZ D. (1990) El maíz y el girasol para la producción de carne en alternativas con forrajes de invierno. *Mundo Ganadero*, 4, 44-49.