

# Oportunidades productivas y medioambientales del pastoreo primaveral de triticale con ovejas Manchegas en Castilla La Mancha

Gregorio Salcedo<sup>1,\*</sup>, Oscar García<sup>2</sup>, Roberto Gallego<sup>2</sup>, Daniel Salcedo<sup>3</sup> y Rafael González<sup>4</sup>

<sup>1</sup> CIFP "La Granja". Barrio Estación, 25B. 39792 Heras, Cantabria, España

<sup>2</sup> AGRAMA. Avda. Gregorio Arcos, 19. 02005, Albacete, España

<sup>3</sup> INDRA, Dpto. Sistemas de información, Avda. de Bruselas 35, 28108 Alcobendas, Madrid, España

<sup>4</sup> Instituto Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario y Forestal de Castilla-La Mancha (IRIAF) – Centro Regional de Selección y Reproducción Animal (CERSYRA), Avenida del Vino, 10, 13300 Valdepeñas, Ciudad Real, España

## Resumen

Los objetivos de este trabajo se centraron en analizar los efectos productivos y ambientales del rebaño de la Asociación Nacional de Criadores de Ganado Ovino Selecto de Raza Manchega (AGRAMA), al cambio de una alimentación en pesebre ( $AP_e$ ) del año 2019, a otra en pastoreo de triticale ( $AD_i$ ) durante las primaveras de los años 2020 y 2021. Las ovejas fueron divididas en tres grupos: i) alta producción, ii) baja producción y iii) no lactantes. La producción de leche oveja y día no fue diferente entre años (1,23 L en  $AP_e$  y 1,51 L en  $AD_i$ ), pero sí, menores las concentraciones de proteína bruta y urea de la leche en  $AD_i$ . El pastoreo de triticale redujo la compra de alimentos en 165 kg de materia seca por oveja (61 kg de concentrado y 104 kg de forraje por oveja) durante 125 días. Las emisiones de metano y óxido nítrico por oveja y día fueron un 27,6 % y 55,6 % mayores en  $AD_i$ , pero menores, por litro de leche un 15,2 % y 46,3 % respectivamente.

El secuestro de carbono contribuyó a reducir la huella de carbono un 4,4 % por litro de leche y un 4,9 % por oveja y día. Se concluye que el pastoreo primaveral de triticale es una práctica que mejora la producción de leche, sin variaciones sustanciales de su composición química y reduce la huella de carbono en las explotaciones de ovino de Castilla La Mancha.

**Palabras clave:** Ovino lechero, alimentación a diente, huella de carbono.

## Productive and environmental opportunities of spring grazing of triticale with Manchega sheep in Castilla La Mancha

### Abstract

The objectives of this work were focused on analysing the productive and environmental effects of the flock of the *Asociación Nacional de Criadores de Ganado Ovino Selecto de Raza Manchega* (AGRAMA),

---

\* Autor para correspondencia: gregoriosal57@gmail.com

Cita del artículo: Salcedo G, García O, Gallego R, Salcedo D, González R (2023). Oportunidades productivas y medioambientales del pastoreo primaveral de triticale con ovejas Manchegas en Castilla La Mancha. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 119(3): 244-269. <https://doi.org/10.12706/itea.2023.005>

when changing from trough feeding ( $AP_e$ ) in 2019 to triticale grazing ( $AD_i$ ) during the springs of 2020 and 2021. Ewes were divided into three groups: i) high producing, ii) low producing and iii) non-lactating. Milk production per day was not different between years (1.23 L in  $AP_e$  and 1.51 L in  $AD_i$ ), but milk crude protein and urea concentrations were lower in  $AD_i$ . Triticale grazing reduced feed purchases by 165 kg dry matter per ewe (61 kg feed and 104 kg forage per ewe) for 125 days. Methane and nitrous oxide emissions per ewe per day were 27.6 % and 55.6 % higher in  $AD_i$ , but lower per liter of milk by 15.2 % and 46.3 % respectively.

Carbon sequestration contributed to reduce the carbon footprint by 4.4 % per litre of milk and 4.9 % per ewe per day. It is concluded that spring grazing of triticale is a practice that improves milk production without substantial variations in its chemical composition and reduces the carbon footprint of sheep farms in *Castilla La Mancha*.

**Keywords:** Dairy sheep, tooth feeding, carbon footprint.

## Introducción

La raza de oveja Manchega está adaptada a las condiciones climáticas de Castilla La Mancha, con producciones de leche inferiores a otras más especializadas como la Assaf y La caune. Sin embargo, ha evolucionado hacia sistemas más intensivos con una gran especialización de la mano de obra (Montoro et al., 2007). La sustitución de pastoreo por concentrados y forrajes externos fueron las medidas adoptadas para su intensificación (Toro-Mujica et al., 2012). Estos cambios productivos (raza e intensificación) pueden aumentar la productividad, pero al mismo tiempo, incrementar las emisiones de  $CO_2$  (Gerber et al., 2013); pérdida de carbono en los suelos, contaminación del aire y del agua y la disminución de la biodiversidad (Bellarby et al., 2013; Reynolds et al., 2010).

La alimentación representa el mayor coste económico en la explotación de ovino lechero (Rivas et al., 2015) y el metano, el principal gas de efecto invernadero producido por litro de leche (Salcedo, 2020). Según Poore y Nemecek (2018), la producción de alimentos simboliza el 26 % de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero. De aquellas, el 53 % proceden de los animales, el 29 % de los cultivos y el 18 % de la cadena de valor. Los forrajes de alto contenido

en carbohidratos solubles exhiben mejor digestibilidad ruminal, con menor producción de metano (Niu et al., 2018).

La seguridad alimentaria, la sostenibilidad ambiental (reducción de emisiones, mantenimiento población rural, etc.) y el bienestar animal son entre otros, temas actuales de debate en la sociedad y la ciencia. Las diferentes prácticas de producción entre sistemas ganaderos (intensivos o extensivos) no son ajenos aquel debate (Dumont et al., 2018).

Los objetivos de este trabajo se centran en analizar los aspectos productivos y ambientales, al cambio de una alimentación en pesebre a otra de pastoreo con ovejas de alto mérito genético.

## Material y métodos

### *Producción vegetal y animal*

#### *Área de estudio, características del suelo y climatología*

El estudio se llevó a cabo en la finca experimental "La Nava del Conejo" situada en Valdepeñas, Ciudad Real (38° 43'N; 3° 29'W a 751 msnm), durante las campañas 2019-2020 y 2020-2021. La superficie de pastoreo dentro de cada campaña fueron 20 ha y 23 ha

respectivamente, a su vez divididas en parcelas experimentales de 1,5 ha a 2,5 ha. El suelo presenta una textura franco-arcilloarenoso; pH, 8,49; materia orgánica, 0,50 %; fósforo, 7,3 ppm; calcio, 1076 ppm; 130 ppm y 246 ppm de magnesio y potasio, respecti-

vamente y 7,19 meq/100 g de suelo la capacidad de intercambio catiónico. Los datos climáticos fueron proporcionados por el Servicio Integral de Asesoramiento al Regante (SIAR) de Castilla La Mancha y representados en la Figura 1.

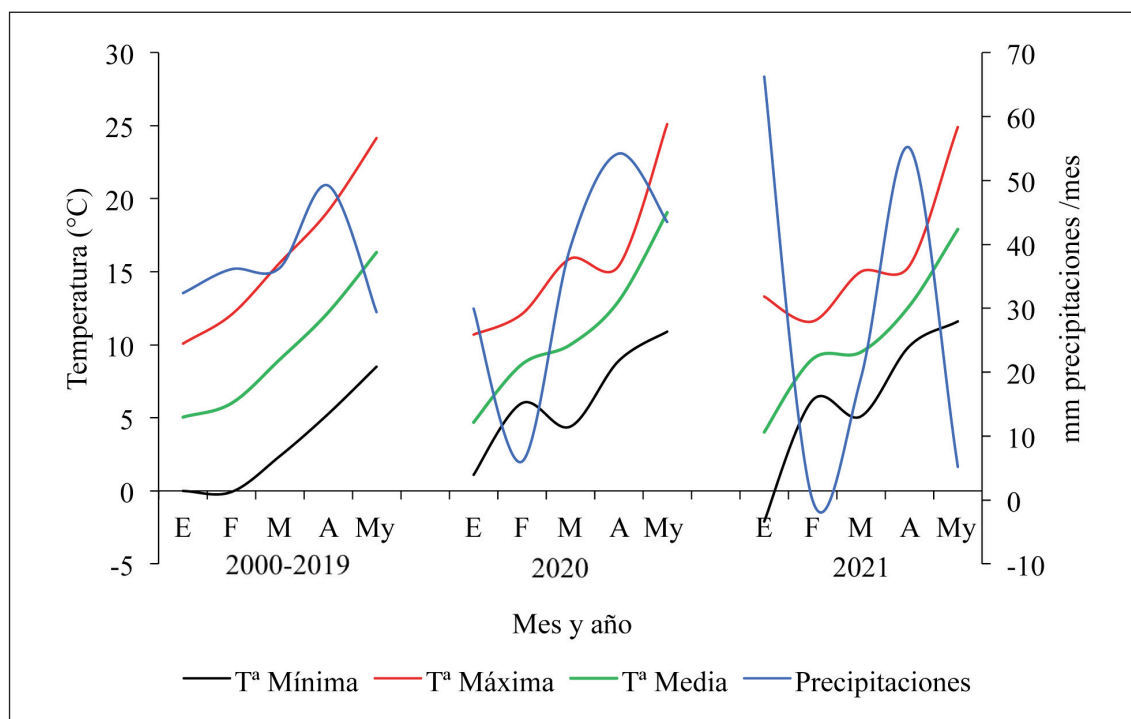


Figura 1. Condiciones climáticas durante el experimento.  
Figure 1. Climatic conditions during the experiment.

### Operaciones de cultivo

La preparación del terreno consistió en dos pases cruzados de chisel los días 20 de septiembre y 13 de octubre en el año 2019 y los días 3 y 10 de octubre el año 2020. La fertilización de fondo a base de 5 t ha<sup>-1</sup> de estiércol de oveja y posteriormente enterrado con la segunda labor de chisel. La cobertura se aplicó 16,5 kg ha<sup>-1</sup> de nitrato amónico del 33,5 % después del primer pro-

vechamiento. La siembra se realizó a chorri- llo el 10 de octubre en el año 2019 y el 13 de octubre en 2020, a la dosis de 150 kg ha<sup>-1</sup> de triticale. Posterior a la siembra, se pasó un rodillo cultipacker para favorecer la germinación de la semilla.

### Animales y dietas

Un total de 655 ovejas en el año 2020 y 631 en 2021 pertenecientes a la Asociación Na-

cional de Criadores de Ganado Ovino Selecto de Raza Manchega (AGRAMA), fueron divididas en tres grupos según un diseño completamente al azar en: i) ovejas de alta producción; ii) ovejas de baja producción y iii)

ovejas no lactantes, que incluye corderas de reposición y ovejas gestantes. La producción de leche y el número de partos de la paridera de invierno de cada año viene representada en la Figura 2.

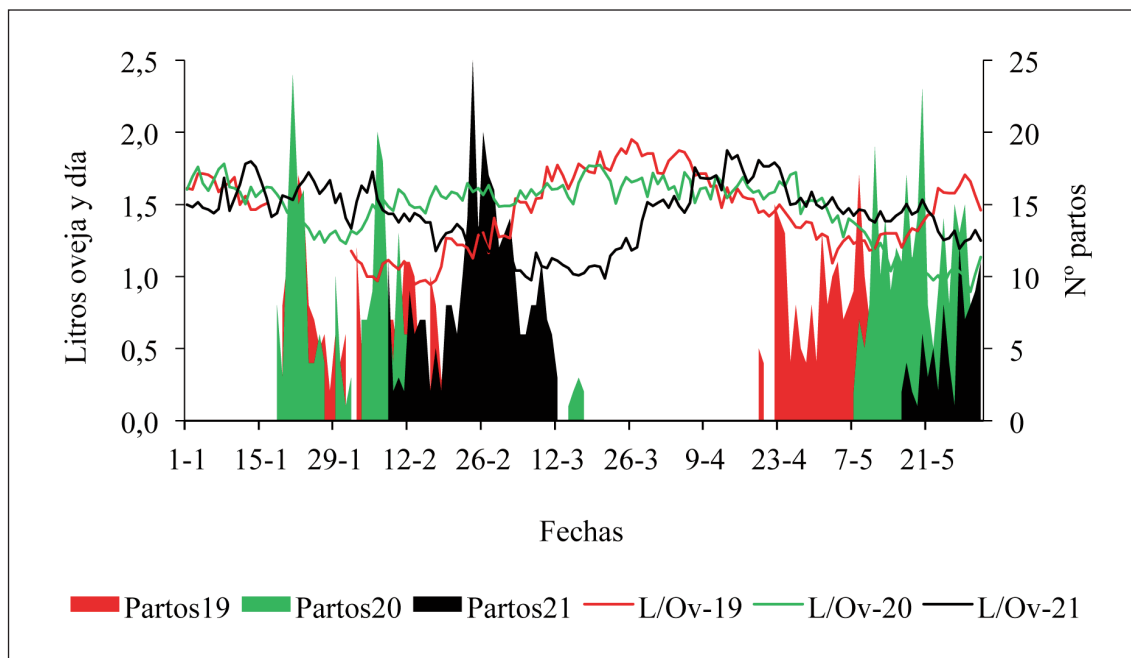


Figura 2. Distribución de partos y producción de leche durante el experimento. El área representa las fechas de las parideras de cada año y las líneas la producción de leche oveja y día.

Figure 2. Distribution of births and milk production during the experiment. The area represents the lambing dates of each year and the lines the ewe's milk production per day.

Las ovejas recién paridas (no incluidas en este trabajo) permanecieron estabuladas hasta el destete de las crías, momento a partir del cual pasaron a formar parte del grupo de alta producción. La fecha de cubrición fue el criterio elegido para el cambio de grupo de alta al de baja producción. Las ovejas de producción se caracterizan por tener un peso vivo medio de 75 kg;  $4,8 \pm 0,75$  partos;  $3,8 \pm 0,75$  lactaciones; duración media lactación de  $187 \pm 15$  días; producción de leche a 120 días de  $294 \pm 65$  kg;

$8,2 \pm 0,49$  % de grasa y  $6,1 \pm 0,58$  % de proteína bruta. Las dietas de cada grupo y año vienen indicadas en la Tabla 1.

El concentrado está formado por maíz molido, 21 %; harina de soja, 10,9 %; guisantes, 15 %; avena, 10 %; pulpa cítricos, 8 %; girasol, 5 %; yeros, 3 %; aceite de palma, 1 %; trigo, 3,3 %; salvado trigo, 3,3 %; cascarilla soja, 3,3 %; granos secos de destilería con solubles (DDGS), 3,3 %; semilla de algodón, 4 %; fosfato bicálcico, 2,5 %; bicarbonato só-

Tabla 1. Alimentación de las ovejas y número de animales.

Table 1. Feeding of ewes and number of animals.

Año	Alta	Nº	Baja	Nº	NL	Nº
2019	Alfalfa (1,00)	223 ± 64	Alfalfa (0,36)	189 ± 34	V-A (0,27)	209 ± 56
	Paja (0,08)		V-A (0,88)		Paja (0,69)	
	Con. (1,88)		Paja (0,09)		Pasto	
			Con. (1,17)			
2020	Alfalfa (0,93)	202 ± 25	V-A (0,47)	187 ± 46	V-A (0,31)	266 ± 89
	Paja (0,08)		Paja (0,08)		Paja (0,11)	
	Con. (1,63)		Con. (0,71)		Pasto	
	Pasto		Pasto			
2021	Alfalfa (0,70)	184 ± 72	V-A (0,48)	197 ± 37	Paja (0,07)	250 ± 78
	Paja (0,08)		Paja (0,08)		Con. (0,22)	
	Con. (1,65)		Con. (0,71)		Pasto	
	Pasto		Pasto			

Alta: Grupo de alta producción. Baja: Grupo de baja producción NL: No lactantes, incluye ovejas gestantes, no lactantes, preñadas y corderas de reposición. Nº: número de ovejas. Entre paréntesis, kilogramos materia seca oveja y día. V-A: heno de veza-avena. Con.: concentrado.

dico, 2,5 %; cloruro sódico, 2 %; urea, 1 % y óxido de magnesio, 0,9 %. El consumo de concentrado oveja y día viene indicado en la Tabla 1, repartido en dos tomas iguales después de los ordeños de mañana y tarde.

#### Manejo del pastoreo

El triticale fue aprovechado a diente siguiendo un pastoreo rotacional desde el 13 de enero al 27 de mayo en el año 2020, y del 1 de febrero al 28 de mayo en 2021. La entrada de los animales al pasto varió desde el estado de madurez GS24 (vástago principal y 3 tallos) al GS32 (segundo nudo formado en el tallo principal), según la clasificación de Zadoks et al. (1974). Mientras, la salida se realizó con alturas de planta variables de 5 cm a 10 cm del suelo. Los animales dispusieron de agua en todo momento.

#### Análisis de los alimentos y de la leche

Alrededor de 100 g de pasto verde de la oferta y sobre otros 100 g de pasto rechazo fueron secados en estufa a 80 °C durante 16 h en el laboratorio de Lactología del IRIAF-CERSYRA de Valdepeñas (Ciudad Real) para determinar el contenido de materia seca. Otra muestra de aproximadamente 500 g de la oferta, fue igualmente secada y remitida a la cooperativa AgroCantabria para su posterior análisis en el laboratorio Cargill mediante el método NIRS (espectroscopia de infrarrojo cercano), de igual forma se enviaron muestras de heno de veza-avena y paja de avena.

Los parámetros de composición físico-química de la leche fueron: grasa (%), proteína bruta (%), caseína total (%) y urea (mg/L), siendo analizados mediante un espectrofo-

tómetro de infrarrojo medio Milkoscan 6000 FT (Foss Electric, Hillerød, Dinamarca) en el Laboratorio Interprofesional Lechero de Castilla La Mancha de Talavera de la Reina (Toledo). La presencia de un solo tanque de leche en la explotación forzó a no poder diferenciar la composición físico-química en los grupos de alta y baja producción.

### Cálculos

La materia seca en oferta por hectárea, la rechazada y el porcentaje de utilización del pasto se estimó mediante siegas de cuatro cuadrados de 0,5 m x 0,5 m con segadora manual a pilas a 5 cm del suelo a la entrada y salida de los animales del pasto. Como paso previo al cálculo de las emisiones y absorciones del pastoreo, se estimó el consumo de pasto en kilogramos de materia seca (MS) oveja y día a partir de la metodología propuesta por Macoon et al. (2003) como:

$$\frac{(EN_{\text{requerimientos}} - EN_{\text{concentrado}} - EN_{\text{forraje suplemento}})}{EN_{\text{pasto}}} \quad \text{[Ecuación 1]}$$

y la descrita por Salcedo (2000) la energía neta (EN) como:

$$(Oferta_n - Rechazo_{n-1}) + VC_n (d_1 - d_2) / n \quad \text{[Ecuación 2]}$$

donde  $d_1$  y  $d_2$  son las fechas de medición (una a la entrada del pastoreo y otra el día de salida) de la oferta y rechazos respectivamente y  $n$  el número de ovejas;  $VC_n$  es la velocidad de crecimiento del pasto en kg MS ha<sup>-1</sup> y día estimado a partir de la expresión:

$$(Oferta_n - Rechazo_{n-1}) + (d_1 - d_2) \quad \text{[Ecuación 3]}$$

Los valores simulados (ecuación 1) fueron testados con los observados (ecuación 2), utilizando cinco índices estadísticos: i) coeficiente de determinación; ii) índice de concordancia

“ $d$ ”, como medida estandarizada del grado de error de la predicción del modelo (considerando que puede variar de 0 a 1, actúa como un índice estadístico adimensional). Un valor igual a 1 señala una agrupación perfecta entre los valores observados y los simulados; por el contrario, un valor igual a 0 señala que no hay agrupación (Willmott, 1982); iii) error cuadrático medio (RMSE), que actúa como medida de las diferencias entre las observaciones y las predicciones (Nash y Sutcliffe, 1970); iv) el error medio de sesgo (MBE) muestra la desviación sistemática (Nash y Sutcliffe, 1970). Cuando el MBE obtiene un valor negativo indicará una subestimación del modelo; por el contrario, cuando es positivo está señalando una sobreestimación y v) la eficiencia del modelo (EF), según (Nash y Sutcliffe, 1970), puede variar de -1 a 1. Cuando EF obtiene un valor igual a 1 está indicando una perfecta coincidencia entre los valores simulados y los observados; por el contrario, valores de EF inferiores a 0 están mostrando que la media de los valores observados sería un mejor predictor que los valores simulados.

La energía neta leche de los forrajes (Mcal/kg MS) se estimó a partir de los contenidos de materia orgánica (MO) de la materia seca (MS) y de la digestibilidad de la materia orgánica (DMO), calculándose posteriormente la materia orgánica digestible (MOD) por kilogramo de materia seca (DOMD), utilizando la ecuación:

$$DOMD = MO \times DMO \times 0,01 \quad \text{[Ecuación 4]}$$

expresando la DOMD como g MOD/100 g MS; MO en g/100 g MS y DMO como g MO/100 g MS. La DMO del triticale fue evaluada *in vivo* a partir de ensayos previos con ovinos alimentados a nivel de mantenimiento en nave metabólica (Salcedo, 2004a, b), a partir de su contenido en fibra ácido detergente (FAD) como:

$$DMO = 133 - 1,97 \times FAD (\%MS); \pm 7,8 R^2 = 0,59 \quad \text{[Ecuación 5]}$$

A partir de los valores de DOMD se calcularon los valores de la energía leche a nivel de mantenimiento de los forrajes ( $ENL_m$ ), según la expresión  $ENL_m = EM \times K_i$ . Se consideró el valor de 3,76 Mcal de energía metabolizable (EM) por kilogramo de MOD para forrajes verdes y secos (AFRC, 1993). La eficiencia de uso de la energía metabolizable ( $K_i$ ) para la producción de leche se estimada según Vermorel et al. (1989) como  $K_i = 0,463 + 0,24 \times q$ , siendo  $q$  la fracción de la EM de la energía bruta (EB) como  $q = EM/EB$  (Van der Honing et al., 1977). Se consideró un valor medio de EB para forrajes verdes y henos de 4,44 Mcal  $kg^{-1}$  de materia seca. La energía neta del concentrado fue estimada en base a los valores de FEDNA multiplicado por el porcentaje de cada ingrediente que forma el concentrado.

El valor relativo forrajero de los forrajes (VRF) según Moore y Undersander (2002) fue determinado a partir de las estimaciones de la materia seca digestible (DMS) e ingesta de materia seca (IMS) según las ecuaciones:

$$DMS (\% MS) = 88,9 - (0,779 \times \% FAD) \quad \text{[Ecuación 6]}$$

$$IMS (\% \text{ peso vivo}) = 120 / \% FND \quad \text{[Ecuación 7]}$$

$$VRF = (DMS \times x IMS) / 1,29 \quad \text{[Ecuación 8]}$$

Las necesidades diarias de energía neta lactación ( $EN_L$ ; Mcal) y de proteína metabolizable (g) se estimaron según el National Research Council (NRC; 2001); el calcio y el fósforo en g (NRC, 1985) y las de fibra neutro detergente (g) según Tedeschi et al. (2019). La producción diaria de leche fue corregida por grasa y proteína (Pulina et al., 2005) y el N aparentemente recobrado en leche ( $NAR_{\text{leche}}$ ) según Van Horn et al. (1994).

### Emisiones y huella de carbono

El ManleCO<sub>2</sub> fue el modelo utilizado para estimar las excretas de N y emisiones de gases de efecto invernadero (Salcedo et al., 2022). Este es un modelo empírico basado en la investigación y análisis estadístico que simula entre otros, aspectos relacionados con el manejo de la explotación, como la alimentación del ganado, fertilización del suelo, la eficiencia (suelo-planta-animal) y la salud ambiental, como las huellas de carbono, hídrica, nitrógeno, energética, etc.

Las unidades funcionales empleadas en este trabajo para la huella de carbono fueron una hectárea, una oveja y un litro de leche corregido por grasa y proteína (Pulina et al., 2005) sin considerar algún sistema de asignación, como por ejemplo leche destinada a las crías, etc.

### Análisis estadístico

Las medias del manejo del pastoreo, la producción de biomasa y la composición química de triticale entre años fueron separadas mediante la prueba T para muestras independientes con el (SPSS 15.0; SPSS, 2006). El análisis de varianza para el efecto fijo ovejas (alta, baja y no lactantes) fue analizado mediante ANOVA, separándose las medias con el test de Tukey. Las emisiones por hectárea y tipo de oveja se analizaron con el modelo  $Y = \mu + A_i + O_j + (AxO) + \varepsilon_{ijk}$ ; siendo,  $\mu$  la media del conjunto;  $A_i$  es el efecto fijo del año, (2020 y 2021);  $O_j$ , efecto fijo oveja (Alta, Baja y No lactantes);  $AxO$  es la interacción y  $\varepsilon_{ij}$  el error residual. Las medias fueron separadas mediante la prueba de Tukey.

## Resultados

### Aspectos productivos

La producción de biomasa, el manejo del pastoreo, la alimentación, la fertilización nitrogenada y la composición química del triticale vienen indicadas en la Tabla 2. La materia seca por hectárea no fue diferente entre años, con producciones medias de 2,4 t a 2,2 t. El manejo fue similar entre años, excepto la dosis de fertilizante nitrogenado, superior en 5,2 kg ha<sup>-1</sup> el año 2021 ( $P < 0,01$ ). Mientras, la carga instantánea, el número de días por aprovechamiento fue superior en las ovejas de alta producción ( $P < 0,05$ ) e inferior el número de horas diarias de pastoreo ( $P < 0,05$ ).

La compra de alimentos por oveja disminuyó un 38,6 % ( $P < 0,001$ ) en AD<sub>i</sub>, equivalente a 165 kg de materia seca, de los que el 37 % es concentrado y el 63 % forraje (Figura 3), sin merma en la ingesta diaria total respecto a la alimentación en pesebre (AP<sub>e</sub>) del año 2019 (Tabla 2). El consumo de triticale (pasto) no fue diferente entre años para AD<sub>i</sub> (Tabla 2), pero sí ( $P < 0,05$ ) superior en las ovejas no lactantes y menor en las de alta producción. Cada kilogramo de materia seca ingerida de triticale (pasto) reduce la compra de forraje en 0,86 kg MS oveja y día ( $r^2 = 0,43$ ;  $P < 0,001$ ) y 0,48 kg MS oveja y día la de concentrado ( $r^2 = 0,49$ ;  $P < 0,001$ ), equivalente este último a un 42 % por litro de leche en AD<sub>i</sub> (Tabla 2). La valoración de la ingestión diaria de pasto a partir de las metodologías propuestas por Salcedo (2000) y Maccoon et al. (2003) viene señalada en la Tabla 3. La simulación fue aceptable tal y como se desprende de los valores positivos de la eficiencia del modelo (EF) y mayores de cero y un índice de agrupamiento  $d$  elevado. El signo positivo del error de sesgo medio (MBE) indicó sobreestimación y un bajo porcentaje de la raíz del error cuadrático medio.

El nitrógeno aparentemente recuperado en leche (NAR<sub>leche</sub>) oveja y día no fue diferente entre años, con máximos de 16,1 % en ovejas de alta producción y mínimos de 10,5 % en las de baja (Tabla 2).

Los litros de leche por oveja y día corregidos por grasa y proteína (FPCM), los litros por kilogramo de materia seca ingerida y los litros por hectárea no fueron diferentes entre años (Tabla 4) y sí entre ovejas de diferente nivel de producción ( $P < 0,001$ ), mayor en las de alta ( $P < 0,05$ ). Por el contrario, la leche por hectárea atribuida al pasto en las ovejas de alta fue superior ( $P < 0,05$ ) en el año 2021 y la menor ( $P < 0,05$ ), en las de baja del año 2020 (Tabla 4). La proteína de la leche disminuyó un 4,9 % ( $P < 0,05$ ) y un 15,6 % la urea ( $P < 0,001$ ) en AD<sub>i</sub>.

### Aspectos ambientales

Los gases de efecto invernadero (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>O) por hectárea, oveja y litro de leche (FPCM) para la alimentación en pesebre (AP<sub>e</sub>, año 2019) o a diente (AD<sub>i</sub>, años 2020 y 2021) vienen indicados en la Tabla 5. Las emisiones fuera de la explotación fueron un 46 % mayor en AP<sub>e</sub> (Tabla 5) y, dentro de estas, la compra de alimentos representó el 87,8 % en AP<sub>e</sub> y el 46,8 % en AD<sub>i</sub>. Las emisiones de la producción de forrajes (compra de semillas y laboreo) incluidas en el grupo de otros y la compra de alimentos vienen señaladas en la Tabla 6. Ambas emisiones fueron un 30,3 % inferiores en AD<sub>i</sub> respecto solo a la compra del 43,9 % en AP<sub>e</sub>. Aquellas diferencias son imputables entre otros aspectos, al menor aporte de concentrado y forraje externo por oveja y día, señalado anteriormente (-0,16 kg y -0,66 kg materia seca y día), sin variar significativamente la producción de leche (Tabla 4). Al considerar el secuestro de carbono del estiércol y de los restos vegetales, la huella del triticale disminuyó un 71,1 %, situándose en



Tabla 2. Producción de forraje, utilización, suplementación, excreción de N y composición química del pasto entre años y ovejas.  
 Table 2. Forage production, utilization, supplementation, N excretion and pasture chemical composition between years and sheep.

	Año				Ovejas						
	2019		2020		2021		P		NL	P	sd
	AP <sub>e</sub>	AD <sub>i</sub>	AD <sub>i</sub>	AD <sub>i</sub>	AD <sub>i</sub>	AD <sub>i</sub>	Alta	Baja			
<b>Manejo del pastoreo</b>											
Pastoreos, número ha <sup>-1</sup>	-	2,09	1,95	ns	2,0	1,79	2,21	ns	0,91		
Carga instantánea, ovejas ha <sup>-1</sup>	-	92	87	ns	121 <sup>b</sup>	81 <sup>ab</sup>	76 <sup>a</sup>	*	59		
Días pastoreo ha <sup>-1</sup> y pastoreo	-	9,6	11,2	ns	15 <sup>b</sup>	8,1 <sup>a</sup>	9,1 <sup>a</sup>	**	6,5		
Días de intervalo entre pastoreos	-	55	42	ns	46	46	61	ns	42		
Altura pasto, cm	-	25,6	22,8	ns	28,5	21,3	23,7	ns	10,9		
Horas de pastoreo d <sup>-1</sup>	-	4,6	5,1	ns	1,66 <sup>a</sup>	5,8 <sup>b</sup>	6,2 <sup>b</sup>	***	2,6		
Biomasa, kg MS oferta ha <sup>-1</sup> pastoreo <sup>-1</sup>	-	1161	1144	ns	1435	948	1125	ns	669		
Utilización pasto, %	-	89,4	88,7	ns	91,1	88,2	88,4	ns	5,04		
Velocidad crecimiento, kg MS ha <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup>	-	40,2	47,6	ns	60,1 <sup>a</sup>	37,8 <sup>b</sup>	38 <sup>b</sup>	*	25,8		
Fertilizante nitrogenado, kg ha <sup>-1</sup>	-	16,5	21,7	**	18,1	19,4	19,9	ns	4,5		
<b>Alimentación</b>											
Materia seca ingerida, kg oveja <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup>	1,96	2,46	2,42	ns	3,32 <sup>c</sup>	2,50 <sup>b</sup>	1,49 <sup>a</sup>	***	0,85		
Forraje externo, kg MS oveja <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup>	1,10	0,46	0,42	***	0,96 <sup>b</sup>	0,78 <sup>b</sup>	0,41 <sup>a</sup>	***	0,44		
Pasto, kg MS oveja <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup>	-	1,35	1,27	ns	0,86 <sup>a</sup>	1,24 <sup>c</sup>	1,64 <sup>b</sup>	***	0,48		
Forraje total, kg MS oveja <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup>	1,1	1,81	1,70	***	1,57	1,57	1,49	ns	0,44		
Concentrado, kg MS oveja <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup>	0,84	0,64	0,72	ns	1,75 <sup>c</sup>	0,92 <sup>b</sup>	0,00 <sup>a</sup>	***	0,73		
Concentrado, kg MS L <sup>-1</sup> de leche FPCM	1,38	0,76	0,81	***	0,94	1,01	-	-	0,41		
Alimentación externa, %	100	38,3	38,9	***	82,3 <sup>b</sup>	68,6 <sup>b</sup>	39,8 <sup>a</sup>	***	38,4		

AP<sub>e</sub>: alimentación en pesebre; AD<sub>i</sub>: alimentación a diente; Alta: Grupo de alta producción; Baja: Grupo de baja producción; NL: Grupo de ovejas no lactantes; FPCM: leche corregida por grasa y proteína; N: nitrógeno; NAR<sub>leche</sub>: nitrógeno aparentemente recobrado en leche; A: porcentaje sobre materia seca; ENL: energía neta lactación; MS: materia seca; PB: proteína bruta; FND: fibra neutro determinante; MOD: materia orgánica digestible; Ca: calcio; P: fósforo; Mg: magnesio; K: potasio; sd: desviación estándar; ns: no significativo; a, b, c, d dentro de cada fila difieren.

Tabla 2. Producción de forraje, utilización, suplementación, excreción de N y composición química del pasto entre años y ovejas (continuación).  
 Table 2. Forage production, utilization, supplementation, N excretion and pasture chemical composition between years and sheep (continuación).

	Año				Ovejas				P	sd			
	2019		2020		2021		P				Alta	Baja	NL
	AP <sub>e</sub>	AD <sub>i</sub>	AD <sub>i</sub>	AD <sub>i</sub>	AD <sub>i</sub>	AD <sub>i</sub>	AD <sub>i</sub>						
<i>Utilización del N</i>													
N ingerido, g oveja <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup>	53,0	72,8	71,0	71,0	104,3 <sup>c</sup>	74,3 <sup>b</sup>	36,1 <sup>a</sup>	***	32,1				
N heces, g oveja <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup>	14,0	18,7	18,3	18,3	26,3 <sup>c</sup>	19,1 <sup>b</sup>	9,9 <sup>a</sup>	***	7,7				
N orina, g oveja <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup>	35,8	48,5	47,4	47,4	68,7 <sup>c</sup>	49,5 <sup>b</sup>	25,0 <sup>a</sup>	***	20,5				
N leche, g oveja <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup>	10,2	12,2	12,0	12,0	16,7	7,7	-	-	5,0				
NAR <sub>leche</sub> %	11,1	13,8	12,9	12,9	16,1	10,5	-	-	3,7				
<i>Composición química del triticale</i>													
EN <sub>r</sub> , Mcal kg MSA	-	1,53	1,66	1,66	1,64	1,60	1,57	ns	0,10				
PB, % sms <sup>A</sup>	-	16,9	16,8	16,8	17,1	17,5	16,2	ns	3,33				
FND, % sms <sup>A</sup>	-	44,5	41,6	41,6	44,5	42,7	41,3	ns	1,7				
MOD, % sms <sup>A</sup>	-	76,8	76,6	76,6	77,3	76,6	76,5	ns	2,6				
Azúcares totales, % sms <sup>A</sup>	-	18,1	17,0	17,0	18,7	17,8	18,2	ns	3,2				
Ca, % sms <sup>A</sup>	-	0,66	0,73	0,73	0,67	0,71	0,70	ns	0,16				
P, % sms <sup>A</sup>	-	0,26	0,25	0,25	0,26	0,27	0,24	ns	0,04				
Mg, % sms <sup>A</sup>	-	0,19	0,23	0,23	0,21	0,22	0,21	ns	0,04				
K, % sms <sup>A</sup>	-	2,56	2,54	2,54	2,56 <sup>ab</sup>	2,72 <sup>b</sup>	2,41 <sup>a</sup>	ns	0,37				
Valor Relativo Forrajero	-	146	159	159	145	154	160	ns	8,42				

AP<sub>e</sub>: alimentación en pesebre; AD<sub>i</sub>: alimentación a diente; Alta: Grupo de alta producción; Baja: Grupo de baja producción; NL: Grupo de ovejas no lactantes; FPCM: leche corregida por grasa y proteína; N: nitrógeno; NAR<sub>leche</sub>: nitrógeno aparentemente recobrado en leche; A: porcentaje sobre materia seca; ENL: energía neta lactación; MS: materia seca; PB: proteína bruta; FND: fibra neutro detergente; MOD: materia orgánica digestible; Ca: calcio; P: fósforo; Mg: magnesio; K: potasio; sd: desviación estándar; ns: no significativo; a, b, c, d dentro de cada fila difieren.

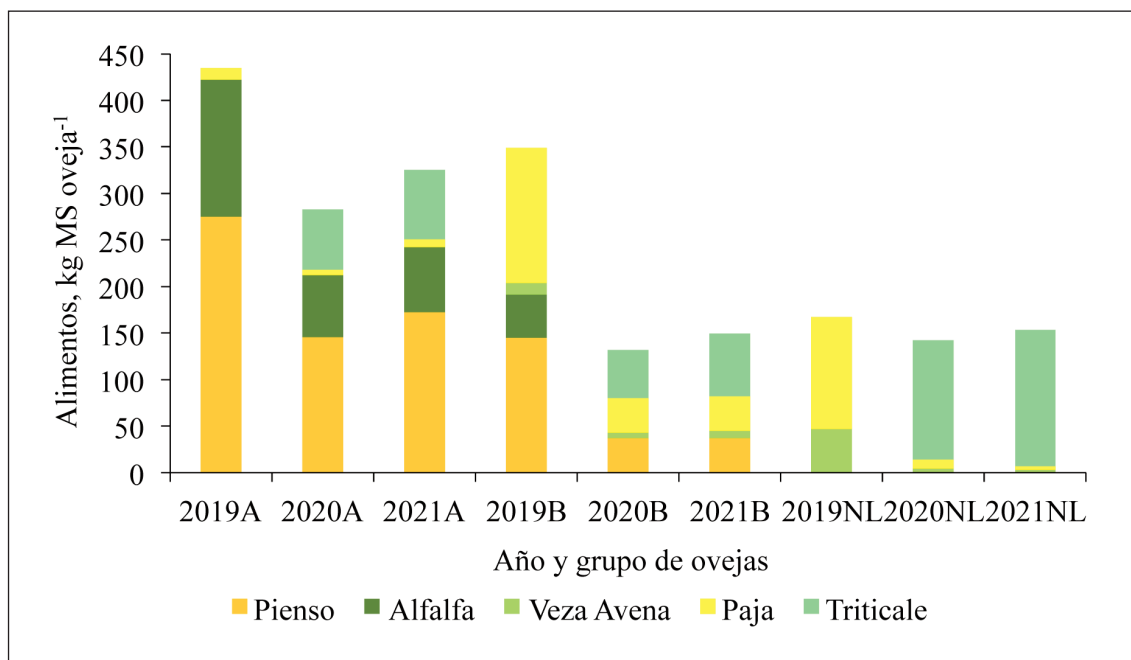


Figura 3. Kilogramos de materia seca ingerida durante 110 días en las ovejas de alta producción (A), baja producción (B) y no lactantes (NL).

Figure 3. Kilograms of dry matter ingested from each yearling and high producing (A), low producing (B) and empty ewes (NL).

Tabla 3. Evaluación estadística del modelo estimado por Maccoon et al. (2003) vs. Salcedo (2000a) para estimar el consumo de materia seca a diente de triticale.

Table 3. Statistical evaluation of the model estimated by Maccoon et al. (2003) vs. Salcedo (2000a) for estimating dry matter intake of triticale.

Modelo	n	et	r <sup>2</sup>	Obs.	Sim.	d	r <sup>2</sup>	RMSE, %	MBE	EF
0,103 + (0,98 × Maccoon)	45	0,37	0,62	1,40	1,32	0,86	0,63	0,59	2,8	0,61

n: número de casos; et: error de la estima; Obs.: valores observados; Sim.: valores simulados; d: índice de agrupamiento; RMSE %: raíz del error cuadrático medio; MBE: error de sesgo medio; EF: eficiencia del modelo.

Tabla 4. Producción de leche corregida por grasa y proteína (FPCM) y su composición química.  
Table 4. Fat and protein corrected milk production (FPCM) and its chemical composition.

Ovejas producción	Alimentación / Año						sd	Significación (P)		
	AP <sub>e</sub> 2019		AD <sub>i</sub> 2020		AD <sub>i</sub> 2021			A	O	A x O
	Alta	Baja	Alta	Baja	Alta	Baja				
Leche, L oveja día <sup>-1</sup>	1,75 <sup>b</sup>	0,82 <sup>a</sup>	1,93 <sup>b</sup>	1,05 <sup>a</sup>	1,86 <sup>b</sup>	0,86 <sup>a</sup>	0,58	ns	***	ns
Leche, L kg <sup>-1</sup> MS dieta	0,59 <sup>bc</sup>	0,34 <sup>a</sup>	0,59 <sup>bc</sup>	0,45 <sup>ab</sup>	0,62 <sup>c</sup>	0,35 <sup>a</sup>	0,16	ns	***	ns
Leche, L ha <sup>-1</sup> pastoreo	–	–	6563 <sup>b</sup>	1501 <sup>a</sup>	6087 <sup>b</sup>	1604 <sup>a</sup>	4206	ns	***	ns
Leche, L ha <sup>-1</sup> del pasto	–	–	626 <sup>ab</sup>	336 <sup>a</sup>	1026 <sup>b</sup>	916 <sup>ab</sup>	722	*	ns	ns
Leche, L kg <sup>-1</sup> MS de pasto	–	–	0,46	0,46	0,58	0,57	0,26	ns	ns	ns
<i>Conjunto rebaño</i>										
Leche, L FPCM oveja <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup>	1,23	1,51	1,52	7,46	0,63	–	–	–	–	–
Grasa bruta, %	7,41	7,11	7,46	5,44 <sup>ab</sup>	0,38	–	–	–	–	–
Proteína bruta, %	5,68 <sup>b</sup>	5,36 <sup>a</sup>	12,9	4,28	0,85	–	–	–	–	–
Extracto quesero, %	13,1	4,16	4,28	493 <sup>a</sup>	0,25	–	–	–	–	–
Caseína, %	4,34	504 <sup>a</sup>	0,292	0,009	–	–	–	–	–	–
Urea, mg L <sup>-1</sup>	0,299	0,586	0,574	0,017	–	–	–	–	–	–
Proteína/Extracto seco	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Caseína/Proteína bruta	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

AP<sub>e</sub>: alimentación en pesebre; AD<sub>i</sub>: alimentación a diente; sd: desviación estándar; O: ovejas; A: año; a, b, c, d dentro de cada fila difieren P < 0,05; ns: no significativo.

Tabla 5. Emisiones de gases de efecto invernadero por hectárea, oveja y litro de leche.  
 Table 5. Greenhouse gas emissions per hectare, per sheep and liter of milk.

Grupo de ovejas	Alimentación / Año												sd	Significación (P)		
	AP <sub>e</sub> 2019				AD <sub>i</sub> 2020				AD <sub>i</sub> 2021					A	O	AxO
	Alta	Baja	NL	C	Alta	Baja	NL	C	Alta	Baja	NL	C				
CH <sub>4</sub> entérico, kg ha <sup>-1</sup>	142 <sup>c</sup>	50,8 <sup>ab</sup>	13,3 <sup>a</sup>	54,3	94,7 <sup>bc</sup>	27,5 <sup>a</sup>	22,8 <sup>a</sup>	43,0	103,6 <sup>bc</sup>	28,3 <sup>a</sup>	13,6 <sup>a</sup>	46,3	61,3	ns	***	ns
CH <sub>4</sub> estérico, kg ha <sup>-1</sup>	4,5 <sup>c</sup>	1,6 <sup>ab</sup>	0,96 <sup>a</sup>	1,98	3,0 <sup>bc</sup>	0,82 <sup>a</sup>	0,66 <sup>a</sup>	1,32	3,17 <sup>bc</sup>	0,95 <sup>a</sup>	0,44 <sup>a</sup>	1,45	1,9	ns	***	ns
CH <sub>4</sub> total, kg ha <sup>-1</sup>	146,4 <sup>c</sup>	52,5 <sup>ab</sup>	14,2 <sup>a</sup>	56,3	97,7 <sup>bc</sup>	28,3 <sup>a</sup>	23,4 <sup>a</sup>	44,3	106,8 <sup>bc</sup>	29,3 <sup>a</sup>	14,0 <sup>a</sup>	47,7	63,2	ns	***	ns
CH <sub>4</sub> total, g oveja d <sup>-1</sup>	46,6 <sup>e</sup>	38,1 <sup>d</sup>	12,1 <sup>a</sup>	28,6 <sup>X</sup>	50,0 <sup>ef</sup>	40,8 <sup>d</sup>	33,2 <sup>c</sup>	39,9 <sup>Y</sup>	51,9 <sup>f</sup>	40,5 <sup>d</sup>	26,5 <sup>b</sup>	38,4 <sup>Y</sup>	12,8	***	***	***
CH <sub>4</sub> entérico, g L <sup>-1</sup> FPCM	29,4 <sup>ab</sup>	44,5 <sup>c</sup>	–	38,7	26,1 <sup>a</sup>	37,8 <sup>bc</sup>	–	32,4	25,6 <sup>a</sup>	42,5 <sup>bc</sup>	–	33,4	11,6	ns	***	ns
Y <sub>m</sub> , %	6,16 <sup>cd</sup>	6,23 <sup>d</sup>	7,33 <sup>e</sup>	6,69 <sup>Y</sup>	6,09 <sup>bc</sup>	6,1 <sup>bc</sup>	6,05 <sup>ab</sup>	6,07 <sup>X</sup>	6,09 <sup>bc</sup>	6,11 <sup>bc</sup>	5,99 <sup>a</sup>	6,05 <sup>X</sup>	0,45	***	***	***
CH <sub>4</sub> total, g L <sup>-1</sup> FPCM	30,3 <sup>ab</sup>	46,0 <sup>c</sup>	–	40,0	26,9 <sup>a</sup>	39,0 <sup>bc</sup>	–	33,4	26,4 <sup>a</sup>	43,9 <sup>bc</sup>	–	34,4	12	ns	***	ns
CH <sub>4</sub> entérico, g kg <sup>-1</sup> MS	14,6 <sup>b</sup>	14,8 <sup>b</sup>	11,7 <sup>a</sup>	13,4 <sup>X</sup>	14,8 <sup>b</sup>	16,4 <sup>ab</sup>	18,0 <sup>c</sup>	16,7 <sup>Z</sup>	15,5 <sup>ab</sup>	15,1 <sup>b</sup>	14,9 <sup>b</sup>	15,2 <sup>Y</sup>	2,8	***	ns	***
CH <sub>4</sub> entérico, g kg <sup>-1</sup> MOD	20,4 <sup>cd</sup>	20,7 <sup>d</sup>	24,3 <sup>e</sup>	22,2 <sup>Y</sup>	20,2 <sup>bc</sup>	20,2 <sup>bc</sup>	20,1 <sup>ab</sup>	20,2 <sup>X</sup>	20,2	20,3 <sup>bc</sup>	19,9 <sup>a</sup>	20,1 <sup>X</sup>	1,5	***	***	***
CO <sub>2</sub> , t ha <sup>-1</sup>	4,15 <sup>d</sup>	1,28 <sup>ab</sup>	0,25 <sup>a</sup>	1,46	2,60 <sup>bc</sup>	0,61 <sup>a</sup>	0,12 <sup>a</sup>	0,92	2,78 <sup>c</sup>	0,54 <sup>a</sup>	0,14 <sup>a</sup>	1,09	1,73	ns	***	ns
CO <sub>2</sub> , g oveja <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>	1371 <sup>c</sup>	915 <sup>b</sup>	220 <sup>a</sup>	712	1313 <sup>c</sup>	895 <sup>b</sup>	387 <sup>a</sup>	783	1396 <sup>c</sup>	797 <sup>b</sup>	343 <sup>a</sup>	802	476	ns	***	ns
CO <sub>2</sub> , g L <sup>-1</sup> FPCM	719 <sup>b</sup>	1091 <sup>c</sup>	–	960 <sup>Y</sup>	409 <sup>a</sup>	364 <sup>a</sup>	–	385 <sup>X</sup>	419 <sup>a</sup>	283 <sup>a</sup>	–	356 <sup>X</sup>	328	***	ns	***
N <sub>2</sub> O, kg ha <sup>-1</sup>	7,12 <sup>c</sup>	1,98 <sup>a</sup>	0,43 <sup>a</sup>	2,4	4,41 <sup>b</sup>	1,33 <sup>a</sup>	0,66 <sup>a</sup>	1,8	4,41 <sup>b</sup>	1,32 <sup>a</sup>	0,57 <sup>a</sup>	2,0	2,74	ns	***	ns
N <sub>2</sub> O, g oveja <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>	2,27 <sup>bc</sup>	1,40 <sup>ab</sup>	0,40 <sup>a</sup>	1,15 <sup>X</sup>	2,26 <sup>bc</sup>	1,95 <sup>bc</sup>	2,26 <sup>bc</sup>	1,77 <sup>Y</sup>	2,35 <sup>bc</sup>	3,25 <sup>c</sup>	1,12 <sup>ab</sup>	1,82 <sup>Y</sup>	0,82	***	***	ns
N <sub>2</sub> O, g L <sup>-1</sup> FPCM	1,16 <sup>a</sup>	1,68 <sup>b</sup>	–	1,49 <sup>Y</sup>	0,74 <sup>a</sup>	0,84 <sup>a</sup>	–	0,79 <sup>X</sup>	0,72 <sup>a</sup>	0,92 <sup>a</sup>	–	0,81 <sup>X</sup>	0,48	***	***	ns
CO <sub>2e</sub> fuera explotación, %	56,2 <sup>e</sup>	50,6 <sup>de</sup>	46,4 <sup>cd</sup>	50,0 <sup>Y</sup>	45,2 <sup>bc</sup>	33,7 <sup>b</sup>	11,1 <sup>a</sup>	26,9 <sup>X</sup>	46,3 <sup>bc</sup>	31,9 <sup>b</sup>	8,76 <sup>a</sup>	27,0 <sup>X</sup>	17,7	***	***	***
CO <sub>2e</sub> dentro explotación, %	43,7 <sup>a</sup>	49,3 <sup>ab</sup>	53,5 <sup>bc</sup>	49,9 <sup>X</sup>	54,7 <sup>cd</sup>	66,2 <sup>d</sup>	88,8 <sup>a</sup>	73,0 <sup>Y</sup>	53,6 <sup>cd</sup>	68,1 <sup>d</sup>	91,2 <sup>e</sup>	72,9 <sup>Y</sup>	17,7	***	***	***
CO <sub>2e</sub> , kg <sup>-1</sup> MS pasto parcial	–	–	–	–	0,09	0,15	0,17	0,15	0,16	0,34	0,16	0,21	0,23	ns	ns	ns
CO <sub>2e</sub> , kg <sup>-1</sup> MS (parcial - SC)	–	–	–	–	-0,10 <sup>a</sup>	0,04 <sup>ab</sup>	0,11 <sup>sn</sup>	0,033	-0,12 <sup>a</sup>	0,24 <sup>b</sup>	0,11 <sup>sn</sup>	0,072	0,27	ns	ns	ns

AP<sub>e</sub>: alimentación en pesebre; AD<sub>i</sub>: alimentación a diente; NL: Ovejas no lactantes; C: conjunto rebano; FPCM: leche corregida por grasa y proteína (Pulina et al., 2005); Y<sub>m</sub>: porcentaje de energía bruta convertida en CH<sub>4</sub>; SC: secuestro de carbono; MOD: materia orgánica digestible; sd: desviación estándar; A: año; O: ovejas; a, b, c, d, e dentro de cada fila difieren P < 0,05; X, Y, Z dentro de cada fila difieren P < 0,05.

Tabla 6. Contribución a la huella de carbono de diferentes fuentes en kilogramos de CO<sub>2e</sub>.  
 Table 6. Contribution to the carbon footprint of different sources in kilograms of CO<sub>2e</sub>.

Grupo de ovejas	Año / Alimentación												sd			Significación (P)		
	AP <sub>e</sub> 2019			AD <sub>i</sub> 2020			AD <sub>i</sub> 2021			C			A	O	AxO			
	Alta	Baja	NL	Alta	Baja	NL	Alta	Baja	NL	Alta	Baja	NL	C					
Hectárea y año																		
CH <sub>4</sub> entérico	3972 <sup>c</sup>	1424 <sup>ab</sup>	373 <sup>ab</sup>	2711 <sup>bc</sup>	771 <sup>a</sup>	644 <sup>a</sup>	1221	2926 <sup>c</sup>	801 <sup>a</sup>	389 <sup>a</sup>	1308	1716	ns	***	ns			
CH <sub>4</sub> manejo estiércol	127 <sup>c</sup>	46 <sup>ab</sup>	27 <sup>a</sup>	83 <sup>bc</sup>	23 <sup>a</sup>	18 <sup>a</sup>	37	89 <sup>bc</sup>	27 <sup>a</sup>	12 <sup>a</sup>	41	53	ns	***	ns			
N <sub>2</sub> O manejo estiércol	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	142 <sup>b</sup>	126 <sup>b</sup>	74 <sup>b</sup>	108 <sup>Y</sup>	118 <sup>b</sup>	14 <sup>b</sup>	76 <sup>b</sup>	107 <sup>Y</sup>	79	***	***	ns			
N <sub>2</sub> O emisiones directas	499 <sup>d</sup>	161 <sup>ab</sup>	27 <sup>a</sup>	301 <sup>bc</sup>	78 <sup>a</sup>	76 <sup>a</sup>	135	353 <sup>cd</sup>	84 <sup>a</sup>	51 <sup>a</sup>	156	203	ns	***	ns			
N <sub>2</sub> O emisiones indirectas	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	97 <sup>c</sup>	46 <sup>ab</sup>	31 <sup>ab</sup>	53 <sup>Y</sup>	100 <sup>c</sup>	50 <sup>b</sup>	26 <sup>ab</sup>	56 <sup>Y</sup>	50	***	***	ns			
Compra alimentos	4473 <sup>c</sup>	1394 <sup>ab</sup>	361 <sup>a</sup>	2149 <sup>b</sup>	456 <sup>a</sup>	26 <sup>a</sup>	710	2251 <sup>b</sup>	387 <sup>a</sup>	12 <sup>a</sup>	826	1668	***	***	ns			
Fertilizantes	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	8 <sup>ab</sup>	7 <sup>ab</sup>	9 <sup>ab</sup>	8 <sup>4Y</sup>	16 <sup>b</sup>	3 <sup>5ab</sup>	11 <sup>ab</sup>	11 <sup>Y</sup>	11	***	ns	ns			
Energía (electricidad)	1301 <sup>b</sup>	320 <sup>a</sup>	0 <sup>b</sup>	1024 <sup>b</sup>	202 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	328	1097 <sup>b</sup>	182 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	399	678	ns	***	ns			
iLUC	2482 <sup>c</sup>	770 <sup>ab</sup>	632 <sup>ab</sup>	1307 <sup>b</sup>	271 <sup>a</sup>	53 <sup>a</sup>	446 <sup>X</sup>	1286 <sup>b</sup>	230 <sup>a</sup>	16 <sup>a</sup>	478 <sup>X</sup>	955	***	***	ns			
Secuestrado	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	-322 <sup>a</sup>	-94 <sup>b</sup>	-82 <sup>b</sup>	-148 <sup>Y</sup>	-331 <sup>a</sup>	-112 <sup>b</sup>	-62 <sup>b</sup>	-161 <sup>Y</sup>	174	***	***	ns			
Otros <sup>A</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	137 <sup>c</sup>	98 <sup>b</sup>	98 <sup>bc</sup>	108 <sup>Y</sup>	139 <sup>c</sup>	80 <sup>b</sup>	129 <sup>c</sup>	119 <sup>Y</sup>	67	***	ns	ns			
Huella carbono total <sup>B</sup>	12,8 <sup>c</sup>	4,12 <sup>ab</sup>	1,42 <sup>a</sup>	7,62 <sup>b</sup>	1,96 <sup>a</sup>	0,92 <sup>a</sup>	3,01	8,03 <sup>b</sup>	1,85 <sup>a</sup>	0,63 <sup>a</sup>	3,34	5,09	ns	***	ns			
Oveja y día																		
CH <sub>4</sub> entérico	1,26 <sup>d</sup>	1,03 <sup>c</sup>	0,31 <sup>a</sup>	0,77 <sup>X</sup>	1,41 <sup>e</sup>	1,11 <sup>cd</sup>	0,99 <sup>c</sup>	1,13 <sup>Y</sup>	1,43 <sup>e</sup>	0,74 <sup>b</sup>	1,08 <sup>Y</sup>	0,37	***	***	***			
CH <sub>4</sub> manejo estiércol	0,04 <sup>c</sup>	0,03 <sup>b</sup>	0,02 <sup>a</sup>	0,04 <sup>c</sup>	0,03 <sup>b</sup>	0,03 <sup>b</sup>	0,03	0,04 <sup>c</sup>	0,04 <sup>c</sup>	0,02 <sup>a</sup>	0,03	0,008	ns	***	*			
N <sub>2</sub> O manejo estiércol	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0,08 <sup>ab</sup>	0,22 <sup>c</sup>	0,19 <sup>bc</sup>	0,17 <sup>Y</sup>	0,09 <sup>ab</sup>	0,35 <sup>d</sup>	0,14 <sup>bc</sup>	0,18 <sup>Y</sup>	0,14	***	***	***			
N <sub>2</sub> O emisiones directas	0,001	0,001	0,001	0,001 <sup>X</sup>	0,041	0,048	0,19	0,10 <sup>X<sup>Y</sup></sup>	0,04	0,15	0,06	0,08 <sup>Y</sup>	ns	ns	ns			
N <sub>2</sub> O emisiones indirectas	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0,05 <sup>b</sup>	0,07 <sup>b</sup>	0,08 <sup>bc</sup>	0,07 <sup>Y</sup>	0,05 <sup>b</sup>	0,12 <sup>c</sup>	0,05 <sup>b</sup>	0,07 <sup>Y</sup>	0,05	***	ns	*			
Compra alimentos	1,43 <sup>a</sup>	1,0 <sup>d</sup>	0,32 <sup>b</sup>	0,79 <sup>Y</sup>	1,05 <sup>d</sup>	0,54 <sup>c</sup>	0,46 <sup>X</sup>	1,07 <sup>b</sup>	0,51 <sup>c</sup>	0,02 <sup>a</sup>	0,49 <sup>X</sup>	0,48	***	***	ns			
Fertilizantes	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0,005 <sup>a</sup>	0,01 <sup>a</sup>	0,09 <sup>a</sup>	0,04	0,01 <sup>a</sup>	0,05 <sup>a</sup>	0,03 <sup>a</sup>	0,03	0,07	ns	ns	ns			
Energía (electricidad + gasoil)	0,46 <sup>c</sup>	0,22 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	0,51 <sup>b</sup>	0,27 <sup>b</sup>	0 <sup>a</sup>	0,21	0,51 <sup>c</sup>	0,12 <sup>b</sup>	0,05 <sup>b</sup>	0,22	0,21	ns	***	ns			
iLUC	0,79 <sup>d</sup>	0,55 <sup>d</sup>	0,54 <sup>c</sup>	0,65 <sup>c</sup>	0,32 <sup>b</sup>	0,1 <sup>a</sup>	0,31 <sup>X</sup>	0,61 <sup>c</sup>	0,31 <sup>b</sup>	0,03 <sup>a</sup>	0,39 <sup>X</sup>	0,26	***	***	***			
Secuestrado	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	-0,16 <sup>c</sup>	-0,15 <sup>cd</sup>	-0,14 <sup>c</sup>	-0,15 <sup>Y</sup>	-0,17 <sup>d</sup>	-0,15 <sup>cd</sup>	-0,12 <sup>b</sup>	-0,14 <sup>Y</sup>	0,07	***	***	ns			
Otros <sup>A</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0,08 <sup>ab</sup>	0,24 <sup>bc</sup>	0,3 <sup>c</sup>	0,22 <sup>Y</sup>	0,15 <sup>abc</sup>	0,2 <sup>bc</sup>	0,32 <sup>c</sup>	0,23 <sup>Y</sup>	0,18	***	*	ns			
Huella carbono total	4,14 <sup>d</sup>	2,95 <sup>c</sup>	1,21 <sup>a</sup>	4,20 <sup>d</sup>	3,09 <sup>c</sup>	2,23 <sup>b</sup>	3,0 <sup>X</sup>	4,33 <sup>d</sup>	3,36 <sup>c</sup>	1,57 <sup>a</sup>	2,93 <sup>X</sup>	1,24	**	***	ns			

AP<sub>e</sub>: alimentación en pesebre; AD<sub>i</sub>: alimentación a diente; NL: Ovejas no lactantes; C: conjunto rebaño; FPCM: leche corregida por grasa y proteína (Pulina et al., 2005); Huella de carbono total como: (CH<sub>4</sub> + CO<sub>2</sub> + N<sub>2</sub>O + iLUC - SC); iLUC: uso indirecto del suelo; A: compra de semillas y laboreo; B: toneladas; sd: desviación estándar; A: año; O: ovejas; a, b, c, d, e dentro de cada fila difieren P < 0,05; x, y, z dentro de cada fila difieren P < 0,05.

Tabla 6. Contribución a la huella de carbono de diferentes fuentes en kilogramos de CO<sub>2e</sub> (continuación).  
 Table 6. Contribution to the carbon footprint of different sources in kilograms of CO<sub>2e</sub> (continuación).

Grupo de ovejas	Año / Alimentación												sd			Significación (P)			
	AP <sub>e</sub> 2019						AD <sub>i</sub> 2020						AD <sub>i</sub> 2021			A	O	AxO	
	Alta	Baja	NL	C	Alta	Baja	NL	C	Alta	Baja	NL	C	Alta	Baja	NL	C	A	O	AxO
Litro de leche FPCM																			
CH <sub>4</sub> entérico	0,90 <sup>b</sup>	1,25 <sup>c</sup>	-	1,08 <sup>Y</sup>	0,47 <sup>a</sup>	0,48 <sup>a</sup>	-	0,47 <sup>X</sup>	0,44 <sup>a</sup>	0,43 <sup>a</sup>	-	0,43 <sup>X</sup>	0,40	***	ns	ns	***	ns	ns
CH <sub>4</sub> manejo estiércol	0,03 <sup>b</sup>	0,04 <sup>c</sup>	-	0,03 <sup>Y</sup>	0,01 <sup>a</sup>	0,01 <sup>a</sup>	-	0,01 <sup>X</sup>	0,01 <sup>a</sup>	0,01 <sup>a</sup>	-	0,01 <sup>X</sup>	0,01	***	*	ns	***	*	ns
N <sub>2</sub> O manejo estiércol	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	-	0 <sup>X</sup>	0,04 <sup>ab</sup>	0,09 <sup>bc</sup>	-	0,06 <sup>Y</sup>	0,03 <sup>a</sup>	0,11 <sup>c</sup>	-	0,06 <sup>Y</sup>	0,06	***	***	*	***	***	*
N <sub>2</sub> O emisiones directas	0,11 <sup>b</sup>	0,14 <sup>b</sup>	-	0,12 <sup>Y</sup>	0,05 <sup>a</sup>	0,05 <sup>a</sup>	-	0,05 <sup>X</sup>	0,05 <sup>a</sup>	0,05 <sup>a</sup>	-	0,05 <sup>X</sup>	0,04	***	ns	ns	***	ns	ns
N <sub>2</sub> O emisiones indirectas	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	-	0 <sup>X</sup>	0,019 <sup>b</sup>	0,031 <sup>bc</sup>	-	0,02 <sup>Y</sup>	0,017 <sup>b</sup>	0,036 <sup>c</sup>	-	0,02 <sup>Y</sup>	0,01	***	***	ns	***	***	ns
Compra alimentos	1,01 <sup>b</sup>	1,20 <sup>b</sup>	-	1,09 <sup>Y</sup>	0,32 <sup>a</sup>	0,24 <sup>a</sup>	-	0,27 <sup>X</sup>	0,33 <sup>a</sup>	0,19 <sup>a</sup>	-	0,26 <sup>X</sup>	0,46	***	ns	ns	***	ns	ns
Fertilizantes	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	-	0	0,002 <sup>a</sup>	0,008 <sup>a</sup>	-	0,005	0,005 <sup>a</sup>	0,007 <sup>a</sup>	-	0,005	0,009	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Energía (electricidad + gasoil)	0,25 <sup>c</sup>	0,25 <sup>c</sup>	-	0,25 <sup>Y</sup>	0,156 <sup>b</sup>	0,11 <sup>ab</sup>	-	0,13 <sup>X</sup>	0,16 <sup>b</sup>	0,09 <sup>a</sup>	-	0,12 <sup>X</sup>	0,07	***	*	ns	***	*	ns
iLUC	0,56 <sup>b</sup>	0,66 <sup>b</sup>	-	0,60 <sup>Y</sup>	0,19 <sup>a</sup>	0,014 <sup>a</sup>	-	0,15 <sup>X</sup>	0,019 <sup>a</sup>	0,011 <sup>a</sup>	-	0,15 <sup>X</sup>	0,25	***	ns	ns	***	ns	ns
Secuestrado	0	0	-	0 <sup>Y</sup>	-0,05	-0,06	-	-0,05 <sup>X</sup>	-0,05	-0,06	-	-0,05 <sup>X</sup>	0,03	***	ns	ns	***	ns	ns
Otros <sup>A</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	-	0 <sup>X</sup>	0,033 <sup>b</sup>	0,08 <sup>c</sup>	-	0,06 <sup>Y</sup>	0,04 <sup>b</sup>	0,05 <sup>bc</sup>	-	0,05 <sup>Y</sup>	0,03	***	***	***	***	***	***
Huella carbono total	2,75 <sup>b</sup>	3,40 <sup>b</sup>	-	3,2 <sup>Y</sup>	1,19 <sup>a</sup>	1,14 <sup>a</sup>	-	1,12 <sup>X</sup>	1,15 <sup>a</sup>	1,02 <sup>a</sup>	-	1,13 <sup>X</sup>	1,15	***	ns	ns	***	ns	ns

AP<sub>e</sub>: alimentación en pesebre; AD<sub>i</sub>: alimentación a diente; NL: Ovejas no lactantes; C: conjunto rebaño; FPCM: leche corregida por grasa y proteína (Pulina et al., 2005); Huella de carbono total como: (CH<sub>4</sub> + CO<sub>2</sub> + N<sub>2</sub>O + iLUC - SC); iLUC: uso indirecto del suelo; A<sup>a</sup>: compra de semillas y laboreo; B<sup>b</sup>: toneladas; sd: desviación estándar; A: año; O: ovejas; a, b, c, d, e dentro de cada fila difieren P < 0,05; x, y, z dentro de cada fila difieren P < 0,05.

0,052 kg CO<sub>2e</sub> kg<sup>-1</sup> MS (Tabla 5). No obstante, factores como un corto período de aprovechamiento (10 días ha<sup>-1</sup>), amplio intervalo entre pastoreos (48 días ha<sup>-1</sup>), carga instantánea de 89 ovejas ha<sup>-1</sup> (Tabla 2) y las condiciones climáticas de primavera variantes (Figura 1), pueden entre otros, ser la causa de bajos rendimientos de materia seca e incrementos de CO<sub>2e</sub> por kilogramo de forraje producido.

La sustitución de AP<sub>e</sub> no modificó entre años las emisiones por hectárea del CH<sub>4</sub> entérico, CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>O, y sí ( $P < 0,001$ ) entre ovejas, mayores en todos los casos las de alta producción ( $P < 0,05$ ), equivalentes a 44,1 kg ha<sup>-1</sup>; 1,46 kg ha<sup>-1</sup> y 2,71 kg ha<sup>-1</sup> CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>O, respectivamente, durante los años de pastoreo. Los gramos de CH<sub>4</sub> total (entérico + estiércol) y el N<sub>2</sub>O oveja y día fueron diferente entre años y ovejas ( $P < 0,001$ ), mayores en AD<sub>i</sub> ( $P < 0,05$ ) equivalente a 10,5 g y 0,64 g oveja y día, respectivamente. El CO<sub>2</sub> emitido por oveja y día no fue diferente entre años y sí entre ovejas ( $P < 0,001$ ), mayor en las ovejas de alta producción ( $P < 0,05$ ). Las ovejas de alta producción alimentadas en pesebre (AP<sub>e</sub>) emitieron 4,3 g CH<sub>4</sub> día<sup>-1</sup> respecto a la alimentación a diente ( $P < 0,05$ ); sin diferencias el CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>O (Tabla 5). Mientras, los gramos de CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>O por litro de leche fueron diferentes entre AP<sub>e</sub> y AD<sub>i</sub> ( $P < 0,001$ ), menores en AD<sub>i</sub> a 589 g y 0,69 g, respectivamente. El CH<sub>4</sub> por litro de leche fue siempre superior en las ovejas de baja producción, y dentro de estas, menor en AD<sub>i</sub> ( $P < 0,05$ ). El factor Y<sub>m</sub> fue un 17,8 % superior en las ovejas no lactantes en AP<sub>e</sub> ( $P < 0,05$ ). El CH<sub>4</sub> entérico por kilogramo de materia seca fue un 19 % superior en AD<sub>i</sub> ( $P < 0,05$ ) y menor 9,2 % por kilogramo de materia orgánica digestible. Mientras, por kilogramo de materia orgánica digestible ingerida (MOD<sub>i</sub>) y por litro de leche en AD<sub>i</sub> fue equivalente a -2,0 g y -6,1 g, respectivamente.

Las emisiones de fuera y dentro de la explotación difieren entre años y ovejas ( $P < 0,001$ ),

mayores las primeras en AP<sub>e</sub> ( $P < 0,05$ ) y menores las segundas en AD<sub>i</sub> (Tabla 5). Las emisiones de la producción de triticale (compra de semillas y fertilizantes, laboreo, siembra, aplicación fertilizantes y estiércol) en AD<sub>i</sub> equivalen a 138 kg CO<sub>2e</sub> ha<sup>-1</sup> y las absorciones del estiércol (pastoreo + establo) y restos vegetales equivalen a -154 kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> (Tabla 6). La huella de carbono parcial del triticale no fue diferente entre años, con un valor medio de 0,18 kg CO<sub>2e</sub> kg<sup>-1</sup> MS en oferta. Cuando se contabiliza el secuestro de carbono del estiércol (87,6 %) y 12,4 % de los restos vegetales, la huella de carbono disminuye un 71,5 %, para alcanzar el valor de 0,053 kg CO<sub>2e</sub> kg<sup>-1</sup> MS. Al considerar el secuestro de carbono del estiércol y de los restos vegetales, la huella del triticale disminuyó un 71,1 %, situándose en 0,052 kg CO<sub>2e</sub> kg<sup>-1</sup> MS (Tabla 5). No obstante, factores como un corto período de aprovechamiento (10 días ha<sup>-1</sup>), amplio intervalo entre pastoreos (48 días ha<sup>-1</sup>), carga instantánea de 89 ovejas ha<sup>-1</sup> (Tabla 2) y las condiciones climáticas de primavera variantes (Figura 1), pueden entre otros, ser la causa de bajos rendimientos de materia seca e incrementos de CO<sub>2e</sub> por kilogramo de forraje producido.

Asumiendo un factor de 1,43 t CO<sub>2e</sub> ha<sup>-1</sup> para el uso indirecto del suelo tanto para la compra de alimentos (Audsley et al., 2009), las emisiones medias por litro de leche fueron de 0,60 kg CO<sub>2e</sub> y 0,15 kg CO<sub>2e</sub> en AP<sub>e</sub> y AD<sub>i</sub>, respectivamente.

La Tabla 6 señala la contribución de las diferentes fuentes de emisión incluido el uso indirecto del suelo (iLUC), la absorción (secuestro de carbono, SC) y la huella de carbono total (HT) por hectárea, oveja y litro de leche. El metano entérico, la compra de alimentos y el uso indirecto del suelo forman el 87,1 % y 78,7 % de HT por hectárea; el 87,7 % y 65,1 % por oveja y el 86,5 % y 76,9 % por litro de leche para AP<sub>e</sub> y AD<sub>i</sub>, respectivamente. El CO<sub>2e</sub> de la compra de alimentos y el iLUC fue diferente entre años por hectárea, ovejas y litro



de leche ( $P < 0,001$ ), pero no por litro de leche entre ovejas (Tabla 6). Mientras, las emisiones del manejo del estiércol ( $\text{CH}_4$  y  $\text{N}_2\text{O}$ ) por hectárea y año, oveja y día y litro de leche fueron superiores en  $\text{AD}_i$ , equivalente a  $90,2 \text{ kg CO}_{2e}$ ;  $0,18 \text{ kg CO}_{2e}$  y  $0,044 \text{ kg CO}_{2e}$ , respectivamente, y siempre superiores en las ovejas de alta producción ( $P < 0,001$ ), independientemente del año.

Las emisiones directas de  $\text{N}_2\text{O}$  difieren entre años por litro de leche ( $P < 0,001$ ); mientras, las indirectas lo fueron por hectárea, ovejas y litro de leche (Tabla 6). La ausencia de emisiones indirectas en el año  $\text{AP}_e$  son atribuidas a la venta total del estiércol. Mientras las directas por litro de leche fueron superiores en  $\text{AP}_e$  ( $P < 0,001$ ), con valores de  $0,12 \text{ kg CO}_{2e}$  y  $0,05 \text{ kg CO}_{2e}$  en  $\text{AD}_i$ , sin diferencias entre ovejas de alta y baja producción,  $P < 0,05$  las indirectas, mayor en las de baja producción (Tabla 6).

La suma de  $\text{N}_o$  y  $\text{N}_h$  oveja y día se relacionó con el  $\text{N}_2\text{O}$  oveja y día (Figura 4A) y negati-

vamente por litro de leche respecto al  $\text{NAR}_{\text{leche}}$  (Figura 4B).

Las emisiones derivadas de la compra de fertilizantes no fueron diferentes entre los años de pastoreo, equivalentes a  $9,7 \text{ kg CO}_{2e}$  por hectárea,  $0,035 \text{ kg CO}_{2e}$  por oveja y  $0,005 \text{ kg CO}_{2e}$  por litro de leche. De la misma forma, el  $\text{CO}_{2e}$  de la energía no fue diferente entre años por hectárea y por oveja y sí ( $P < 0,001$ ) por litro de leche. El iLUC fue diferente por hectárea, oveja y litro de leche ( $P < 0,001$ ), por año y ovejas, sin diferencias por litro de leche en éstas últimas. El  $\text{CO}_2$  del iLUC fue menor en  $\text{AD}_i$  equivalente a  $0,45 \text{ kg CO}_{2e}$  por litro de leche;  $0,24 \text{ kg CO}_{2e}$  por oveja y día, y  $620 \text{ kg CO}_{2e}$  por hectárea, imputable en todos los casos a la menor compra de alimentos ( $r = 0,62$ ;  $P < 0,01$ ). Las emisiones englobadas en el grupo de otros representan la compra de semilla y preparación del terreno y sólo en  $\text{AD}_i$ , con valores medios de  $113 \text{ kg CO}_{2e}$ ,  $0,22 \text{ kg CO}_{2e}$  y  $0,055 \text{ kg CO}_{2e}$  por hectárea, oveja y litro de leche, respectivamente.

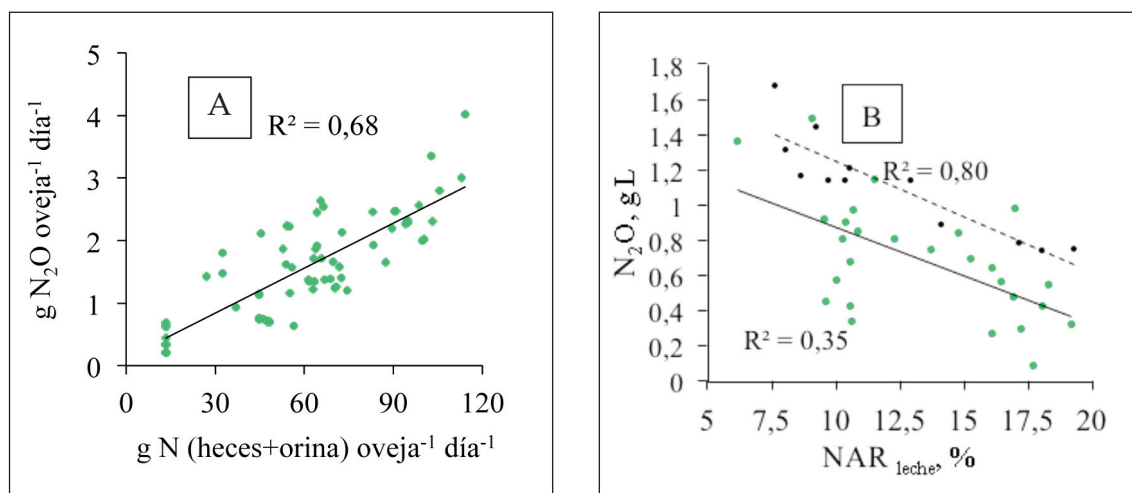


Figura 4. Relaciones entre los gramos de  $\text{N}_2\text{O}$  oveja y día y las excretas de N (A) y los gramos de  $\text{N}_2\text{O}$  por litro de leche con el nitrógeno aparente recuperado en leche (B)

Figure 4. Relationships between grams of  $\text{N}_2\text{O}$  ewes per day and N excreta (A) and grams of  $\text{N}_2\text{O}$  per litre of milk with apparent nitrogen recovered in milk (B).

El secuestro de carbono fue de  $-154 \text{ kg CO}_2$ ;  $-0,14 \text{ kg CO}_2$  y  $-0,05 \text{ kg CO}_2$  por hectárea, por oveja y día y por litro de leche. De esta manera el balance de emisiones o huella de carbono fue un 34,5 % inferior por hectárea, 64,8 % por litro de leche, pero incrementó un 20,8 % por oveja (Tabla 6) en AD<sub>i</sub>. Las ovejas de alta producción tuvieron la mayor huella de carbono por hectárea (HC<sub>h</sub>) y por oveja (HC<sub>o</sub>), pero menor, ( $P < 0,05$ ) por litro de leche (HC<sub>l</sub>), (Tabla 6). La HC<sub>h</sub> y HC<sub>l</sub> en las ove-

jas de alta producción fue menor en AD<sub>i</sub> un 39,1 % y 57,4 %, respectivamente, y superior un 3 % superiores para HC<sub>o</sub> (Tabla 6). Las ovejas de baja producción de AP<sub>e</sub> registraron la mayor HC<sub>l</sub>, equivalente a un 68,2 % respecto a la alimentación a diente. En general y para el conjunto del rebaño, la HC<sub>l</sub> fue menor durante el pastoreo primaveral ( $P < 0,05$ ) respecto al régimen de alimentación en pesebre, con valores medios de  $3,2 \text{ kg CO}_{2e}$  y  $1,13 \text{ kg CO}_{2e}$  por litro de leche (Tabla 6 y Figura 5).

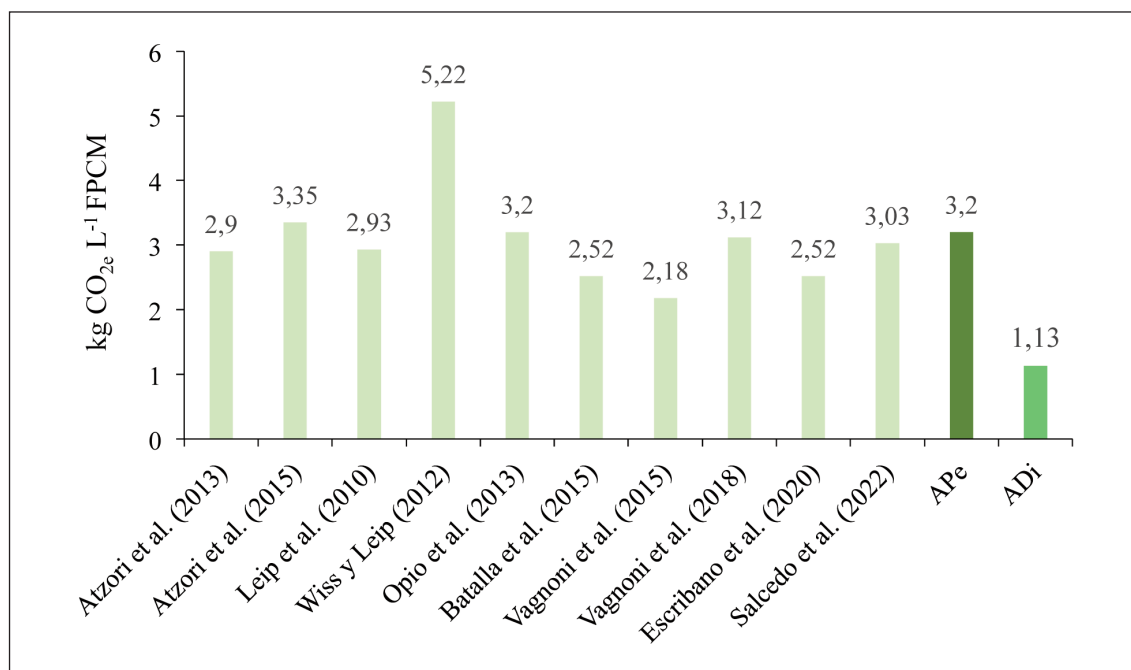


Figura 5. Comparación de la huella de carbono con valores bibliográficos.

Figure 5. Comparison of carbon footprint with bibliographic values.

## Discusión

### Productividad

La producción de leche de la raza de oveja Manchega ha incrementado en 52 L por lactación durante el período 2008-2019 (AGRAMA, 2019), orientándose su sistema de producción hacia

la intensificación como las razas Assaf y Lacaune (Toro-Mujica et al., 2012), con una gran especialización de la mano de obra (Montoro et al., 2007). La alimentación de las ovejas de ordeño se realiza en pesebre y, puntualmente las no lactantes, gestantes, reposición, etc., acceden a los rastrojos de cereales y pastizales (Salcedo et al., 2022). El clima en

Castilla-La Mancha es de tipo mediterráneo continentalizado, caracterizado por inviernos fríos y veranos calurosos con fuertes oscilaciones térmicas y un régimen de lluvia irregular más abundante en otoño y primavera. Estas condiciones son favorables para la producción y aprovechamiento a diente de los cereales de invierno (triticale y avena principalmente), lo que permitiría reducir los costes de alimentación (Rivas et al., 2015), a su vez, disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero (Ouatahar et al., 2021). Coincidente con Rouquette (2015), la producción y posterior aprovechamiento a diente de los pequeños cereales no suele prolongarse más allá de 110 días al año, y siempre durante los meses de febrero a mayo. La escasez de precipitaciones, el aumento de las temperaturas a finales de mayo y el final del ciclo vegetativo de los cereales de invierno, entre otras, son las principales limitaciones de prolongar el pastoreo en Castilla La Mancha.

La producción de materia seca del triticale aprovechado desde los estados de madurez GS24 a GS32 según la clasificación de Zadoks et al. (1974) fue similar a la indicada por Jacobs et al. (2009) y para los estados de crecimiento desde GS21 a GS34.

La proteína bruta del triticale fue inferior a 324 g kg<sup>-1</sup> MS y 244 g kg<sup>-1</sup> MS indicada por Jacobs et al. (2009) y dentro del rango de 342 g kg<sup>-1</sup> MS a 525 g kg<sup>-1</sup> MS la fibra neutro detergente para similares estados de madurez. No obstante, la proteína bruta se situó en valores próximos a los indicados por Peyraud y Delaby (2006), quienes no observan mejoras de producción de leche en ovejas cuando ofrecen forrajes con proteína superior a 150 g kg<sup>-1</sup> MS.

La ingestión de forraje está relacionada con su digestibilidad (Van Soest, 1994), otros factores como los genéticos y ambientales también lo están (Pulina et al., 2005). El mayor consumo de pasto de las ovejas no lactantes respecto a la dieta original del año 2019 ba-

sada en paja y veza-avena (Tabla 1), fue atribuido a la mayor digestibilidad del triticale, como lo muestra el elevado Valor Relativo Forrajero (Tabla 2), comparable al heno de alfalfa de primera calidad (FEDNA, 2019).

Según Rivas et al. (2015) y en ovino manchego, la alimentación externa representó el 74,5 % en las explotaciones sin tierra y el 45,5 % con ella. Más recientemente (Salcedo et al., 2022) observaron porcentajes del 63,3 % en la misma raza también en explotaciones sin tierra, lo que muestra la gran dependencia alimenticia del exterior. El cambio de la alimentación en pesebre (AP<sub>e</sub>) a diente (AD<sub>i</sub>) durante la primavera disminuyó la compra de alimentos un 39,5 %, equivalente a 0,16 kg MS y 0,66 kg MS oveja y día de forraje y concentrado, respectivamente. La suma de aquellos fue inferior a 1,31 kg MS oveja y día de pasto, circunstancia que pudo favorecer un ligero incremento en la producción de leche. Cuando el pasto es de buena calidad, la suplementación debe dirigirse además de incrementar la producción y concentración proteica de la leche a equilibrar la energía y el nitrógeno que mejore el crecimiento microbiano (Molle et al., 2008). La mayor concentración de azúcares y la relación azúcares/proteína bruta del triticale (17,5 % y 1,05 %) respecto al heno de alfalfa (11,2 % y 0,50 %) pudieron contribuir a más NH<sub>3</sub> ruminal utilizado para formar proteína microbiana, como se desprende de las mejoras numéricas de NAR<sub>leche</sub> sin variar el volumen de leche.

Los cultivos forrajeros anuales tienen un potencial productivo superior a los forrajes naturales y seminaturales (Molle et al., 2008). Sin embargo, otros factores como el tiempo de acceso (Bonanno et al., 2007) o el aprovechamiento con una altura de planta inferior a 6 cm (Iason et al., 1999), puede disminuir el consumo y la producción de leche. Coincidente con Iason et al. (1999), la altura de pasto no fue limitante, pero sí, el menor número de horas de pastoreo en las ovejas de alta producción.

### Aspectos ambientales

La alimentación a diente ( $AD_i$ ) de triticale conlleva emisiones de  $CO_2$  propias de cultivo como semillas, fertilizantes, laboreo, energía, etc.; y emisiones de  $CH_4$  y  $N_2O$  procedentes del manejo del estiércol (reparto, volatilización, lixiviados, etc.). La huella de carbono de un kilogramo de materia seca de triticale fue inferior a la señalada por Rotz et al. (2012) de 0,2 kg  $CO_{2e}$ , y dentro del rango de 0,14-0,27 kg  $CO_{2e}$   $kg^{-1}$  MS para el heno de alfalfa indicado por Adom et al. (2012).

Coincidente con Niu et al. (2018), el mayor consumo de materia seca en  $AD_i$  favoreció superiores emisiones de metano entérico. Aquellos autores señalan a la ingestión como la mejor variable y positivamente relacionada con la producción de  $CH_4$  entérico. Para animales en pastoreo, el valor de la emisión de metano fue similar a ovejas alimentadas con hierba verde señalado por Swainson et al. (2018). Pinares-Patiño et al. (2003) indicaron mayor consistencia estadística cuando el  $CH_4$  entérico se expresa en g  $kg^{-1}$   $MOD_i$  respecto a  $MS_i$  en vacas de carne, coincidente en este trabajo con ovino lechero sobre pastoreo de triticale. El efecto de incrementar la digestibilidad de los forrajes como estrategia de mitigación del  $CH_4$  entérico en los rumiantes fue discutido por Van Gastelen et al. (2019). Niu et al. (2018) señalaron para vacas lecheras que el factor de conversión de la energía bruta en metano entérico ( $Y_m$ ) está relacionado con la digestibilidad de la materia orgánica de la dieta y la concentración de carbohidratos no fibrosos (almidón y azúcares solubles). La menor digestibilidad de la materia orgánica y la superior concentración de azúcares del triticale respecto a los henos de alfalfa y de veza-avena (datos no mostrados) pudo reducir el factor  $Y_m$  en  $AD_i$ . El ligero aumento de ingestión en  $AD_i$  y la superior digestibilidad del triticale son factores potenciales que contribuyen a incrementar la tasa de paso y acortar el tiempo de retención

del alimento en el rumen, reduciéndose la fermentación ruminal y la digestibilidad de la materia orgánica, disminuyendo finalmente la producción de  $CH_4$  por unidad de alimento (Boadi et al., 2004). El factor  $Y_m$  fue diferente entre las ovejas de alta producción y no lactantes, pero dentro del rango de 6,5 % señalado por el IPCC (2006).

El porcentaje de metano entérico en  $CO_{2e}$  de la huella total por litro de leche ( $HC_l$ ) sin considerar el iLUC ni el secuestro de carbono fue superior tanto en  $AP_e$  como  $AD_i$  respecto al indicado por Batalla et al. (2015) en rebaños de ovejas del País Vasco. Posiblemente las diferencias tengan su origen en la asunción de 8,2 kg de  $CH_4$  entérico oveja y año (Merino et al., 2011) y el factor  $Y_m$  de 6,5 % (IPCC, 2006), sin definir aspectos como los del presente trabajo de consumo de materia seca, la digestibilidad de la dieta, número de ovejas no lactantes dentro del rebaño, y producciones de leche y peso vivo inferiores a las de este estudio de 0,32 L de leche cabeza y día y 55 kg, respectivamente.

Durante el almacenamiento y posterior aplicación del estiércol al campo, se generan emisiones de la materia orgánica (MO), convirtiéndose en menor medida en  $CH_4$  durante la descomposición anaerobia (Amon et al., 2006) y N, mayoritariamente en  $NH_3$  y  $N_2O$  (Chadwick et al., 2011; Gerber et al., 2013). Los porcentajes de  $CH_4$  y  $N_2O$  en  $CO_{2e}$  del manejo del estiércol por litro de leche fueron similares a los señalados por Batalla et al. (2015) en rebaños de Assaf y Latxa. Las menores emisiones de  $N_2O$  en  $AP_e$  son atribuidas a la venta de estiércol del año 2019 antes del experimento.

El óxido nitroso ( $N_2O$ ) es un potente gas de efecto invernadero (Myhre et al., 2013), con un significativo potencial de calentamiento (IPCC, 2014), producido a través del proceso incompleto de la desnitrificación o como subproducto de la nitrificación (Tiedje, 1982; Wrage et al., 2004). La deposición de las ex-

cretas en el suelo durante el pastoreo, la aplicación del estiércol y fertilizantes junto con la descomposición de los restos vegetales representan las fuentes de  $N_2O$  directas. Las indirectas proceden principalmente de la volatilización del  $NH_3$  y  $NO_x$ , depositándose posteriormente en  $NH_4^+$  y  $NO_3^-$  y la lixiviación de nitratos (Matthews et al., 2010). En este trabajo, las emisiones directas del  $N_2O$  en  $CO_{2e}$  de la huella de carbono de un litro de leche ( $HC_l$ ) tanto en  $AP_e$  como en  $AD_i$  fueron inferiores a las indicadas por Batalla et al. (2015), imputable al menor aporte de fertilizante y similares en  $AD_i$ .

Parte del N ingerido ( $N_i$ ) y no recuperado en leche ( $NAR_{leche}$ ) se elimina vía orina ( $N_o$ ) y heces ( $N_h$ ), quedando una pequeña parte retenido en el tejido (Cameron et al., 2013), contribuyendo a la formación de  $NO_3^-$ ,  $NH_3$  y  $N_2O$  (Oddy y Hayne, 2011; Zhao et al., 2016). La ingestión de N es un predictor simple del  $N_h$  y  $N_o$  en ovino (Zhao et al., 2016). Estos autores señalan pendientes y coeficientes de determinación de  $[0,12 \text{ g } N_h \text{ g}^{-1} N_i \text{ (} r^2 = 0,77 \text{)}]$  y  $[0,45 \text{ g } N_o \text{ g}^{-1} N_i \text{ (} r^2 = 0,70 \text{)}]$  respectivamente, similares a  $0,49 \text{ g } N_o \text{ g}^{-1} N_i \text{ (} r^2 = 0,71 \text{)}$  obtenidas por Salcedo (2005) en ovinos alimentados con forraje de trigo verde de diferente estado de madurez, sin pendientes significativas para el  $N_h$  de  $7,9 \pm 1,7 \text{ g}$  oveja y día. El presente trabajo usa las pendientes del  $ManCO_2$  de  $0,24 \text{ g } N_h$  y  $0,64 \text{ g } N_o$  por gramo de  $N_i$  (Salcedo et al., 2022), próximas a las señaladas por Zhao et al. (2016).

Khanaki et al. (2021) compararon la excreción del  $N_o$ ,  $N_h$  y  $NAR_{leche}$  (N aparentemente recuperado en leche) en ovejas de alto mérito genético (G) respecto al aumento de consumo (F), concluyendo que ambos grupos tienden a incrementar  $N_o$  y  $N_h$ , pero la digestibilidad del N fue superior en el grupo G y el  $NAR_{leche}$  en F. En el presente trabajo, la suma de  $N_o$  y  $N_h$  oveja y día se relacionó con el  $N_2O$  oveja y día (Figura 4A) y, negativamente por litro de leche respecto al  $NAR_{leche}$

(Figura 4B). Posiblemente, el mayor consumo de proteína degradable en rumen en  $AD_i$  respecto a  $AP_e$  podría no haber sido más utilizada en su totalidad para síntesis de proteína microbiana, transformando el exceso de amoníaco en urea por el hígado y filtrado por el riñón en urea y liberada mayoritariamente en la orina (Nocek y Russell, 1988), susceptible de mineralizarse, aumentando así las emisiones de  $N_2O$  en pastoreo.

La Figura 5 compara la huella de carbono de un litro de leche ( $HC_l$ ) en  $AP_e$  y  $AD_i$  (incluyendo el iLUC y el secuestro de carbono) respecto a valores bibliográficos (Leip et al., 2010; Weiss y Leip, 2012; Atzori et al., 2013; Opio et al., 2013; Atzori et al., 2015; Batalla et al., 2015; Vagnoni et al., 2015; Vagnoni y Franca, 2018; Escribano et al., 2020; Salcedo et al., 2022). La huella de carbono en  $AP_e$  fue similar al valor medio de las referencias indicadas y superiores a la de  $AD_i$ . Al igual que algunas de aquellas publicaciones (Leip et al., 2010; Atzori et al., 2013; Atzori et al., 2015) este trabajo no señala ningún tipo de asignación (p.e. económica, leche destinada a las crías) y otros como Weiss y Leip, 2012; Opio et al., 2013; Batalla et al., 2015; Vagnoni et al., 2015; Vagnoni y Franca, 2018; Escribano et al., 2020 y Salcedo et al., 2022, si la indican.

Si a la suma del  $CH_4 + CO_2 + N_2O + iLUC$  se le resta el secuestro de carbono en  $AP_e$ , la huella de carbono resulta superior a la indicada por Batalla et al. (2015) y Escribano et al. (2020), respectivamente, e inferior en  $AD_i$  (Tabla 6). Otros autores como Leip et al. (2010) incorporan en el cálculo el uso indirecto del suelo aplicando el modelo CAPRI (Britz y Witzke, 2008) de  $2,9 \text{ kg } CO_{2e}$  o valorando las emisiones derivadas de la soja (Opio et al., 2013) de  $2,3 \text{ kg } CO_{2e}$ .

El secuestro de carbono por litro de leche en  $AD_i$  fue inferior al indicado por (Batalla et al., 2015) explotaciones de raza Latxa del País Vasco y en explotaciones extremeñas de ovino Merino y Lacaune (Escribano et al., 2020),

aplicando en todos los casos la metodología indicada por Petersen *et al.* (2013). Posiblemente, la base del pastoreo (cultivos forrajeros anuales) aporte menos carbono radicular que los pastos permanentes, además no se consideró en este trabajo las pérdidas de carbono por laboreo. Aumentos de 0,43 t C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> a 0,71 t C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en el suelo fueron señalados por West y Post (2002) cuando se reduce el laboreo. Otros, como Vleeshouwers y Verhagen (2002) indican secuestros de 0,52 t C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en praderas y -0,84 t C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en tierras arables. La mayor aplicación de fertilizante nitrogenado en las praderas del País Vasco pudo aumentar el sistema radicular, por añadidura el carbono (Liang *et al.*, 1996; Conant *et al.*, 2011).

## Conclusiones

Las condiciones de humedad y temperatura durante la primavera en Castilla La Mancha son favorables para el aprovechamiento a diente de los cereales de invierno, pudiendo reducirse parte de la compra de forrajes y concentrado, sin merma de la producción de leche. El valor nutritivo del triticale aprovechado en pastoreo por ovejas es comparable al heno de alfalfa. Las emisiones del triticale procedentes del cultivo se sitúan próximas al equilibrio con las absorciones procedentes del estiércol y de la biomasa del pisoteo. El mantenimiento de la producción de leche unido a la menor suplementación externa en pesebre, permitieron reducir un 65 % la huella de carbono de un litro de leche durante el pastoreo de primavera respecto al mismo período con una alimentación en pesebre.

## Agradecimientos

Los autores desean manifestar su agradecimiento al IRIAF-CERSYRA y AGRAMA por la financiación y apoyo logístico, así como al

personal de finca Cirilo Arroyo Lillo y Ángel de la Torre Pérez por el cuidado de los animales y el compromiso con este trabajo.

## Referencias bibliográficas

- Adom F, Maes A, Workman Ch, Clayton-Nierderman Z, Thoma G, Shonnard D (2012). Regional carbon footprint analysis of dairy feeds for milk production in the USA. *The International Journal Life Cycle Assessment* 17: 520-534. <https://doi.org/10.1007/s11367-012-0386-y>
- AFRC (1993). Energy and protein requirements of ruminants, an advisory manual prepared by the AFRC Technical Committee on Responses to Nutrients. CAB International, Wallingford, UK. 176 pp.
- AGRAMA (2019). Asociación Nacional de Criadores de Ganado ovino Selecto de Raza Manchega. Memoria del programa de mejora genética de la raza ovina Manchega. 165 pp.
- Amon B, Kryvoruchko V, Amon T, Zechmeister-Boltenster S (2006). Methane, nitrous oxide and ammonia emissions during storage and after application of dairy cattle slurry and influence of slurry treatment. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 112: 153-162. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.08.030>
- Audsley E, Brander M, Chatterton J, Murphy-Borcken D, Webster C, Williams A (2009). How low can we go? An assessment of greenhouse gas emissions from the UK food system and the scope to reduce them by 2050. Report for the WWF-UK. 85 pp.
- Atzori AS, Rassu PG, Cannas A, Pulina G (2013). Partial carbon footprint of dairy sheep farms: simulated results from 4 different scenarios. *Proceedings of the 20th ASPA Congress*, 11-13 junio, Bologna, Italy.
- Atzori AS, Furesi R, Madau FA, Pulina P, Rassu PG (2015). Sustainability of dairy sheep production in pasture lands: a case study approach to integrate economic and environmental perspectives. *Rivista di Studi sulla Sostenibilità*, 1: 117-134. <https://doi.org/10.3280/RISS2015-001008>

- Batalla I, Knudsen MT, Mogensen L, Hierro O, Pinto M, Hermansen JE (2015). Carbon footprint of milk from sheep farming systems in Northern Spain including soil carbon sequestration in grassland. *Journal Clean Production* 104: 121-129. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.043>
- Bellarby J, Tirado R, Leip A, Weiss F, Lesschen JP, Smith P (2013). Livestock greenhouse gas emissions and mitigation potential in Europe. *Global Change Biology* 19: 3-18. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2012.02786.x>
- Boadi D, Benchaar C, Chiquette J, Masse D (2004). Mitigation strategies to reduce enteric methane emissions from dairy cows: Update review. *Canadian Journal of Animal Science* 84: 319-335. <https://doi.org/10.4141/A03-109>
- Bonanno A, Grigoly A, Vargetto D, Tornambè G, Micely G, Giambalvo D. (2007). Grazing sulla and/or ryegrass forage for 8 or 24 h daily. 1. Effects on ewes feeding behaviour. *Grassland Science in Europe* 12: 208-211.
- Britz W, Witzke P (2008). CAPRI model documentation 2008: Version 2. Institute for Food and Resource Economics, University of Bonn, Germany.
- Cameron KC, Di HJ, Moir JL (2013). Nitrogen losses from the soil/plant system: A review. *Annals of Applied Biology* 162(2): 145-173. <https://doi.org/10.1111/aab.12014>
- Chadwick D, Sommer S, Thorman R, Fanguero D, Cardenas L, Amon B, Misselbrook T (2011). Manure management: Implications for greenhouse gas emissions. *Animal Feed Sciences and Technology* 166-167: 514-531. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.036>
- Conant R, Paustian TK, Elliott ET (2011). Grassland management and conversion into grassland: Effects on soil carbon. *Ecological Applications* 11(2): 343-355. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2001\)011\[0343:GMACIG\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2001)011[0343:GMACIG]2.0.CO;2)
- Dumont B, Groot JJC, Tichit M (2018). Review: Make ruminants green again-how can sustainable intensification and agroecology converge for a better future? *Animal* 12(s2): 210-219. <https://doi.org/10.1017/S1751731118001350>
- Escribano M, Elghannam A, Mesias FJ (2020) Dairy sheep farms in semi-arid rangelands: A carbon footprint dilemma between intensification and land-based grazing. *Land Use Policy* 95, 104600. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104600>
- FEDNA (2019). Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de concentrados compuestos (4ª edición) (Ed. de Blas C, Mateos GG y García-Rebollar P). Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal, Madrid, España. 604 pp.
- Gerber PJ, Steinfeld H, Henderson B, Mottet A, Opio C, Dijkman J, Falcucci A, Tempio G (2013). Tackling climate change through livestock: a global assessment of emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Roma, Italia.
- Iason GR, Mantecon AR, Sim DA, Gonzalez J, Foreman E, Bermudez FF, Elston DA (1999). Can grazing sheep compensate for a daily foraging time constraint?. *Journal of Animal Ecology* 68(1): 87-93. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2656.1999.00264.x>
- IPCC (2006). Guidelines for national greenhouse gas inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC (2014). AR5, Climate Change Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. (Eds. Edenhofer O, Pichs-Madruga R, Sokona Y, Farahani E, Kadner S, Seyboth K, Adler A, Baum I, Brunner S, Eickemeier P, Kriemann B, Savolainen J, Schlömer S, von Stechow C, Zwickel T, Minx JC). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 1435 pp.
- Jacobs JL, Hill J, Jenkin T (2009). Effect of different grazing strategies on dry matter yields and nutritive characteristics of whole crop cereals. *Animal Production Science* 49(7): 608-618. <https://doi.org/10.1071/EA08245>
- Khanaki H, Dewhurst RJ, Leury BJ, Cantalapiedra-Hijar G, Edwards GR, Logan C, Cheng L (2021). The effect of sheep genetic merit and feed allowance on nitrogen partitioning and isotopic discrimination. *Animal* 15(12): 100400. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100400>

- Leip A, Weiss F, Wassenaar T, Pérez I, Fellmann T, Loudjani P, Tubiello F, Grandgirard D, Monni S, Biala K (2010). Evaluation of the livestock sector's contribution to the EU Greenhouse Gas Emissions (GGELS) – Final Report European Commission. European Commission, Joint Research Centre. 323 pp.
- Liang BC, Gregorich EG, Mackenzie AF (1996). Modeling the effects of inorganic and organic amendments on organic matter in a Quebec soil. *Soil Science* 161: 109-113.
- Macon G, Sollenberger LE, Moore JE, Staples CR, Fike JH, Portier KM (2003). Comparison of three techniques for estimating the forage intake of lactating dairy cows on pasture. *Journal Animal Science* 81: 2357-2366. <https://doi.org/10.2527/2003.8192357x>
- Matthews RA, Chadwick DR, Retter AL, Blackwell MSA, Yamulki S (2010). Nitrous oxide emissions from small-scale farmland features of UK livestock farming systems. *Agricultural Ecosystem Environmental* 136: 192-198. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.11.011>
- Merino P, Ramírez-Fanlo E, Arriaga H, del Hierro O, Artetxe A, Viguria M (2011). Regional inventory of methane and nitrous oxide emission from ruminant livestock in the Basque Country. *Animal Feed Science and Technology* 166-167: 628-640. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.081>
- Molle G, Decandia M, Cabiddu A, Landau SY, Cannas A (2008). An update on the nutrition of dairy sheep grazing Mediterranean pastures. *Small Ruminant Research* 77: 93-112. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2008.03.003>
- Montoro V, Vicente J, Rincón E, Pérez-Guzmán MD, Gallego R, Rodríguez JM, Arias R, Garde JJ (2007). Actualidad de la producción de ovino lechero en la Comarca Montes Norte de Ciudad Real: I. Estructura de las explotaciones. XXXII Jornadas Científicas y XI Jornadas Internacionales de Ovinotecnia y Caprinotecnia, 19-21 de septiembre, Mallorca, España. pp: 134.
- Moore JE, Undersander DJ (2002). Relative forage quality: an alternative to relative value and quality index. *Proceedings of the 13th Annual Florida Ruminant Nutrition Symposium*, 11-12 enero, Gainesville, FL, USA. pp 16-32.
- Myhre G, Shindell D, Bréon FM, Collins W, Fuglestvedt J, Huang J, Koch D, Lamarque JF, Lee D, Mendoza B, Nakajima T, Robock A, Stephens G, Takemura T, Zhang H (2013). Anthropogenic and natural radiative forcing. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Eds. Stocker TF, Qin D, Plattner GK, Tignor M, Allen SK, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley PM), pp. 659-740. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Nash JE, Sutcliffe JV (1970). River flow forecasting through conceptual models part I – A discussion of principles. *Journal of Hydrology* 10(3): 282-290. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(70\)90255-6](https://doi.org/10.1016/0022-1694(70)90255-6)
- National Research Council (1985). *Nutrient Requirements of Sheep, Sixth Revised Edition*. National Academy Press: Washington, DC, USA.
- National Research Council (2001). *Nutrient Requirements for Dairy Cattle, seventh revised Edition*. National Academy Press, Washington, D.C., USA. 408 pp.
- Niu M, Kebreab E, Hristov A, Oh J, Arndt C, Bannink A, Bayat AF, Brito A, Boland T, Casper D, Crompton LA, Dijkstra J, Eugene MA, Garnsworthy PC, Haque MN, Hellwing AL, Huhtanen P, Kreuzer M, Kuhla B, Lund P, Madsen J, Martin C, McClelland S, McGee M, Moate JP, Muetzel S, Muñoz C, O'Kiely P, Peiren N, Reynolds C, Schwarm A, Shingfield K, Storlien T, Weisbjerg M, Yáñez-Ruiz D, Yu Z (2018). Prediction of enteric methane production, yield, and intensity in dairy cattle using an intercontinental database. *Global Change Biology* 24(8): 3368-3389. <https://doi.org/10.1111/gcb.14094>
- Nocek JE, Russell JB (1988). Protein and energy as an integrated system. Relationship of ruminal protein and carbohydrate availability to microbial synthesis and milk production. *Journal of Dairy Science* 71: 2070-2107. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(88\)79782-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(88)79782-9)
- Oddy H, Haynes F (2011). Nitrous oxide is no laughing matter – issues arising from anthropogenic reactive nitrogen use and the role of reducing nitrogen excretion from livestock. *Recent Advances in Animal Nutrition – Australia* 18: 177-186.



- Opio C, Gerber P, Mottet A, Falcucci A, Tempio G, MacLeod M, Vellinga T, Henderson B, Steinfeld, H (2013). Greenhouse gas emissions from ruminant supply chains – A global life cycle assessment. Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO), Roma, Italia. 214 pp.
- Ouatahar L, Bannink A, Lanigan G, Amon B (2021). Modelling the effect of feeding management on greenhouse gas and nitrogen emissions in cattle farming systems. *Science of the Total Environment* 776: 145932. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145932>
- Petersen BM, Knudsen MT, Hermansen JE, Halberg N (2013). An approach to include soil carbon changes in life cycle assessments. *Journal of Cleaner Production* 52: 217-224. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.03.007>
- Peyraud JL, Delaby L (2006). Grassland management with emphasis on N flows. En: *Fresh Herbage for Dairy Cattle, the Key to a Sustainable Food Chain* (Eds. Elgersma A, Dijkstra J y Tamminga S) pp. 103-124. Wageningen UR Frontis Seris, Wageningen, The Netherlands.
- Pinares-Patiño CS, Baumont R, Martin C (2003). Methane emissions by Charolais cows grazing a monospecific pasture of timothy at four stages of maturity. *Canadian Journal of Animal Science* 83: 769-777. <https://doi.org/10.4141/A03-034>
- Poore J, Nemecek T (2018). Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science* 360(6392): 987-992. <https://doi.org/10.1126/science.aag0216>
- Pulina G, Macciotta N, Nudda A (2005). Milk composition and feeding in the Italian dairy sheep. *Journal of Animal Science Italian Journal Animal Science* 4(1): 5-14. <https://doi.org/10.4081/ijas.2005.1s.5>
- Reynolds C, Crompton L, Mills J (2010). Livestock and climate change impacts in the developing world. *Outlook Agriculture* 39: 245-248. <https://doi.org/10.5367/oa.2010.0015>
- Rivas J, Perea J, Angón E, Barba C, Morantes M, Dios-Palomares R, García A (2015). Diversity in the dry land mixed system and viability of dairy sheep farming. *Italian Journal Animal Science* 14: 3513. <https://doi.org/10.4081/ijas.2015.3513>
- Rotz C, Michael S, Chianese D, Montes F, Hafner S, Colette C (2012). The integrated farm system model. Reference Manual, Version 3, 6.
- Rouquette FM (2015). Grazing systems research and impact of stocking strategies on pasture-animal production efficiencies. *Crop Science* 55(6): 2513-2530. <https://doi.org/10.2135/cropsci2015.01.0062>
- Salcedo G (2000). Efectos del tipo de proteína suplementada a vacas de leche en pastoreo sobre la producción y composición química de la leche. *ITEA-Información Técnica Económica Agraria* 96A(2): 126-142.
- Salcedo G (2004a). El trigo (*Triticum aestivum*) utilizado como forraje en la zona costera de Cantabria: (1) Producción, composición química y degradabilidad ruminal. XLIV Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos, 10-14 mayo, Salamanca, España. pp. 303-308.
- Salcedo G (2004b). El trigo (*Triticum aestivum*) utilizado como forraje en la zona costera de Cantabria: (2) Predicción de la producción, valor nutritivo y degradabilidad ruminal, XLIV Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos, 10-14 mayo, Salamanca, España. pp. 309-315.
- Salcedo G (2005). Efectos del estado de madurez del trigo (*Triticum aestivum*) utilizado como forraje sobre el consumo de materia seca, digestibilidad, y balance en nitrógeno. XLV Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos. 28 mayo – 3 junio, Gijón, España. pp. 113-120.
- Salcedo G (2020). Fuentes de variación en las emisiones de gases de efecto invernadero en los sistemas lecheros de la España húmeda. *Vaca Pinta* 17: 2-12.
- Salcedo G, García O, Jiménez L, Gallego R, González-Cano R, Arias R (2022). GHG emissions from dairy small ruminants in Castilla-La Mancha (Spain), using the ManleCO<sub>2</sub> simulation model. *Animals* 12: 793. <https://doi.org/10.3390/ani12060793>
- SPSS (2006). Statistical Package for the Social Sciences. Guía breve de SPSS 15.0. SPSS Inc. Chicago.

- Swainson N, Muetzel S, Clark H (2018). Updated predictions of enteric methane emissions from sheep suitable for use in the New Zealand national greenhouse gas inventory. *Animal Production Science* 58: 973-979. <http://dx.doi.org/10.1071/AN15766>
- Tedeschi L, Molle G, Menendez H, Cannas A, Fonseca M (2019). The assessment of supplementation requirements of grazing ruminants using nutrition models. *Translational Animal Science* 3(2): 811-828. <https://doi.org/10.1093/tas/txy140>
- Tiedje JM (1982). Denitrification. En: *Methods of Soil Analysis Part 2 second ed.* (Ed. Page AL), pp. 1011-1024 American Society of Agronomy, Madison, WI. <https://doi.org/10.2134/agronmonoqr9.2.2ed.c47>
- Toro-Mujica P, García A, Gómez-Castro A, Perea J, Rodríguez-Estévez V, Angón E, Barba C (2012). Organic dairy sheep farms in south-central Spain: Typologies according to livestock management and economic variables. *Small Ruminant Research* 104 (1-3): 28-36. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2011.11.005>
- Vagnoni E, Franca A, Breedveld L, Porqueddu C, Ferrara R, Duce P (2015). Environmental performances of Sardinian dairy sheep production systems at different input levels. *Science of the Total Environment* 502: 354-361. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.09.020>
- Vagnoni E, Franca A (2018). Transition among different production systems in a Sardinian dairy sheep farm: environmental implications. *Small Ruminant Research* 159: 62-68. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2017.12.002>
- Van der Honing Y, Steg A, Van Es AJH (1977). Feed evaluation for dairy cows: Tests on the system proposed in the Netherlands. *Livestock Production Science* 4(1): 57-67. [https://doi.org/10.1016/0301-6226\(77\)90020-3](https://doi.org/10.1016/0301-6226(77)90020-3)
- Van Gastelen S, Dijkstra J, Bannink A (2019). Are dietary strategies to mitigate enteric methane emission equally effective across dairy cattle, beef cattle, and sheep? *Journal Dairy Science* 102: 6109-6130. <https://doi.org/10.3168/jds.2018.15785>
- Van Horn HH, Wilkie AC, Powers WJ, Nordstedt RA (1994). Components of dairy manure management systems. *Journal of Dairy Science* 77: 2008-2030. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(94\)77147-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(94)77147-2)
- Van Soest PJ (1994). *Nutritional ecology of the ruminant*. 2nd ed. Ithaca: Cornell University Press. 488 pp.
- Vermorel M (1989). Energy: the feed unit system. En: *Ruminant nutrition: Recommended allowances and feed tables* (Ed, Jarrige R), pp. 23-32. INRA e John Libbey Eurotext, Paris, Francia.
- Vleeshouwers LM, Verhagen A (2002). Carbon emission and sequestration by agricultural land use: a model study for Europe. *Global Change Biology* 8(6): 519-530. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2002.00485.x>
- Weiss F, Leip A (2012). Greenhouse gas emissions from the EU livestock sector: a life cycle assessment carried out with the CAPRI model. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 149: 124-134. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.12.015>
- West TO, Post WM (2002) Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: a global data analysis. *Soil Science Society of America Journal* 66: 1930-1940. <https://doi.org/10.2136/sssaj2002.1930>
- Willmott CJ (1982). Some comments on the evaluation of model performance. *Bulletin American Meteorological Society* 63: 1309-1313. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1982\)063<1309:SCOTEO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1982)063<1309:SCOTEO>2.0.CO;2)
- Wrage N, Velthof GL, Laanbroek HJ, Oenema O (2004). Nitrous oxide production in grassland soils: assessing the contribution of nitrifier denitrification. *Soil Biology and Biochemistry* 36: 229-236. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2003.09.009>
- Zadoks JC, Chang TT, Konzak CF (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research* 14: 415-421. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.x>
- Zhao YG, Gordon AW, O'Connell NE, Yan T (2016). Nitrogen utilization efficiency and prediction of nitrogen excretion in sheep offered fresh perennial ryegrass (*Lolium perenne*). *Journal Animal Science* 94: 5321-5331. <https://doi.org/10.2527/jas.2016-0541>

(Aceptado para publicación el 17 de marzo de 2023)