

# Análisis de ciclo de vida para el cálculo de la huella de carbono de la oveja Lojeña en la Sierra de Loja



Carolina Reyes-Palomo, Cipriano Díaz-Gaona, Santos Sanz-Fernández, Isabel Muñoz-Cobos, Vicente Rodríguez-Estévez

Cátedra de Producción Ecológica Ecovalia-  
Clemente Mata, Universidad de Córdoba

2023

**AUTORES:**

**Carolina Reyes-Palomo**  
**Cipriano Díaz-Gaona**  
**Santos Sanz-Fernández**  
**Isabel Muñoz-Cobos**  
**Vicente Rodríguez-Estévez**

Cátedra de Producción Ecológica Ecovalia-Clemente Mata

Universidad de Córdoba

[ganaderiaecologica@uco.es](mailto:ganaderiaecologica@uco.es)

<https://www.uco.es/ganaderiaecologica/>



Este trabajo ha sido financiado por el proyecto “Análisis de Ciclo de Vida de los Productos Procedentes del Ovino de Raza Lojeña” (contrato UCO 12021118).

# Análisis de ciclo de vida para el cálculo de la huella de carbono de la oveja Lojeña en la Sierra de Loja





# Índice

<i>Resumen</i> .....	1
<b>1. Introducción</b> .....	<b>3</b>
<b>2. Material y métodos</b> .....	<b>5</b>
<b>2.1. Caracterización del Sistema</b> .....	<b>5</b>
2.1.1. Descripción del sistema de producción .....	5
2.1.2. Unidades funcionales y límites del sistema .....	5
2.1.3. Recolección de datos .....	6
2.1.4. Análisis de datos .....	8
<b>2.2. Cálculo de la Huella de Carbono</b> .....	<b>8</b>
<b>2.3. Asignación de emisiones</b> .....	<b>11</b>
<b>2.4. Análisis de sensibilidad</b> .....	<b>12</b>
<b>3. Resultados</b> .....	<b>12</b>
<b>3.1. Análisis de inventario</b> .....	<b>12</b>
<b>3.2. Emisiones de gases de efecto invernadero</b> .....	<b>18</b>
<b>3.3. Análisis de sensibilidad</b> .....	<b>23</b>
<b>4. Discusión</b> .....	<b>24</b>
<b>4.1. Emisiones de Gases de efecto invernadero</b> .....	<b>24</b>
<b>4.2. El caso de la lana</b> .....	<b>25</b>
<b>4.3. La baja productividad de la producción del ovino Lojeño</b> .....	<b>26</b>
<b>5. Conclusiones</b> .....	<b>27</b>
<b>Agradecimientos</b> .....	<b>28</b>
<b>Referencias</b> .....	<b>29</b>
<b>ANEXO I</b> .....	<b>33</b>
<b>ANEXO II</b> .....	<b>37</b>



## Resumen

El objetivo de este trabajo es calcular la Huella de Carbono (HdC) de la oveja Lojeña, una raza amenazada que se explota en régimen extensivo en la Sierra de Loja (Granada), con un censo de 24.511 ovejas reproductoras.

Para ello se han analizado los datos de 27 ganaderías de oveja Lojeña (con sus correspondientes fincas) que producen corderos lechales (menos de 14 kg de peso vivo, en 25 ganaderías), corderos de cebo (aproximadamente 25 kg de peso vivo, en 7 ganaderías) y lana (en las 27 ganaderías). La mayoría de estas fincas (78%) están certificadas en ecológico (ECO) y 7 fincas están manejadas en convencional (CONV). En este trabajo se han estudiado el 93% del total de ganaderías de ovino Lojeño situadas en la Sierra de Loja. La huella de carbono se calculó con límites del sistema “de la cuna a la puerta”, utilizando el kg de peso vivo ( $\text{kg}_{\text{PV}}$ ) y el kg de lana como unidades funcionales. Para el reparto de emisiones comunes, o a repartir entre varias producciones, se utilizó un enfoque económico. Las HdC medias fueron  $22,7 \pm 5,9$  kg CO<sub>2</sub>eq/kg<sub>PV</sub> para corderos lechales,  $17,4 \pm 4,8$  kg CO<sub>2</sub>eq/kg<sub>PV</sub> para corderos de cebo y  $2,2 \pm 0,6$  kg CO<sub>2</sub>eq/kg para la lana, con diferencias no estadísticamente significativas entre manejo ECO y CONV. La fermentación entérica representa la mayor parte de las emisiones en todos los productos (más del 60%), mientras que la alimentación complementaria es la segunda fuente de emisión (más del 10%). Además, se ha identificado una relación inversa entre HdC y productividad (corderos vendidos por oveja y año), llevando a tener menor HdC a las granjas más productivas. Se ha identificado una relación directa entre HdC y carga ganadera (UGM por ha).



## 1. Introducción

Los sistemas ganaderos tradicionales extensivos actualmente se enfrentan a diversas amenazas que los están dirigiendo a su desaparición. Algunas de sus debilidades son: un mercado que no diferencia económica y ambientalmente los productos de ganadería extensiva e intensiva, la falta de relevo generacional, la indefinición administrativa y una mala imagen debido a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Sin embargo, los sistemas extensivos son claves para la mitigación del cambio climático, ya que proveen de una serie de servicios ecosistémicos como son la prevención de incendios, la incorporación de nutrientes en el suelo, la regulación de ciclos biológicos y la conservación de la biodiversidad (Aguilera et al., 2020; Díaz-Gaona et al., 2014).

Todo esto, ha ido unido a unas políticas que hasta ahora han dificultado la continuidad de estos sistemas o han modelado el rebaño tradicional. Por ejemplo, con la aplicación de la subvención por vaca de la PAC, muchas explotaciones de pequeños rumiantes fueron incorporando estos animales al rebaño, dejando de lado la producción de ovino y caprino e incrementando las cargas ganaderas del territorio.

Estos cambios se observan en las estadísticas nacionales, en las que cada vez existen menos explotaciones de pequeños rumiantes, pero las que quedan, cada vez cuentan con mayor número de animales (INE, 2020), lo que lleva a la intensificación de una producción tradicionalmente extensiva. Como ejemplo, el número de fincas de ovino se ha reducido de 68.975 en 2009 a 61.131 en 2020, mientras que el censo medio se ha incrementado de 240 reproductoras por finca a 262 reproductoras por finca (INE, 2020).

La intensificación de los sistemas ganaderos no tiene por qué suponer el abandono total del pastoreo, pero sí que lleva a sobrepasar la capacidad de carga ganadera y a la sobreexplotación del territorio, impidiendo en muchos casos que la vegetación cumpla sus ciclos biológicos. Esto lleva a la degradación del ecosistema de la zona, y paralelamente, a una mayor dependencia de alimentación externa para el ganado, principalmente de materias primas importadas para la fabricación de piensos (Díaz Gaona et al., 2014; Riedel et al., 2007). Esta alta dependencia de la alimentación externa pone en peligro la autonomía alimentaria de estas explotaciones ganaderas y de toda la sociedad, suponiendo una gran amenaza al sistema alimentario cuando se dan situaciones de crisis internacional (Muñoz-Ulecia et al., 2023; Duncan et al., 2020).

La ganadería extensiva modela el territorio y, a su vez, se ve influenciada por él, por lo que su práctica conlleva procesos y modelos de producción ganadería extensiva diferentes.

Los sistemas ganaderos a base de pastoreo se han desarrollado principalmente en tierras de difícil acceso, o que no son tierras cultivables; de esta manera se ha conseguido producir alimentos de alta calidad (carne y leche) en zonas que no se podían aprovechar de otra manera. A esto hay que añadir que muchas de estas zonas son de alto valor natural, que están dentro de redes de conservación como la Red Natura 2000, o son parques naturales u otros espacios protegidos (Díaz-Gaona et al., 2014).

Un ejemplo de esta relación entre ganadería extensiva y territorio se encuentra en la Sierra de Loja, situada en la provincia de Granada y cuna de la raza ovina Lojeña donde evoluciona y se selecciona. Esta raza se considera “amenazada” de acuerdo con la normativa española actual (MAPA, 2019). Es una raza de aptitud cárnica que se produce en régimen extensivo, con acceso a pastos comunales de la Sierra de Loja, que cubre principalmente tres municipios de la provincia de Granada: Loja, Zafarraya, y Alhama de Granada. Esta Sierra tiene una superficie aproximada de 18000 ha y una altitud máxima de 1669 m en un macizo homogéneo de origen calizo, caracterizado por un terreno accidentado, con suelo escaso y escasa cobertura arbórea. El clima ofrece contrastes significativos, con temperaturas medias de entre 14 y 15 °C, y precipitaciones que varían desde unos máximos superiores a 700 mm en las zonas más húmedas a un mínimo de 300 mm en las más secas. El pasto es escaso, pero suficiente para rebaños de oveja de tamaño pequeño que críen un cordero por oveja al año bajo condiciones desfavorables (Mena et al., 2014; González et al., 2008). La supervivencia de esta raza en estos sistemas tradicionales es clave para la conservación y el equilibrio de los pastos en la Sierra de Loja.

Una metodología internacionalmente aceptada para calcular el impacto ambiental de un producto o proceso es el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) que, incluyendo la Huella de Carbono (HdC) (Arca et al., 2021), da una visión completa de todos los impactos asociados a las diferentes fases de la producción, así como los impactos asociados a todas las entradas al sistema (como los piensos en la ganadería) (BSI, 2011).

El objetivo de este trabajo es calcular la HdC de las granjas de ovino Lojeño en la Sierra de Loja, donde todo el censo de esta raza se cría en sistemas extensivos. Se trata de la primera vez que este tipo de trabajo se ha realizado con un porcentaje tan alto del censo de una raza cubriendo el territorio en el que se cría.

## 2. Material y métodos

### 2.1. Caracterización del Sistema

#### 2.1.1. Descripción del sistema de producción.

El sistema productivo de la oveja Lojeña está orientado a la producción de corderos, ya sea al destete o al engorde. Su manejo reproductivo es tradicional, prácticamente sin lotes reproductivos, con la temporada principal de partos en primavera, seguida del otoño, por lo que la época de mayores necesidades de alimentación de los rebaños coincide con la época de más forraje en el campo (Ruiz et al., 2014). Las fincas generalmente tienen instalaciones de manejo para la temporada de parto cuando estas ovejas están estabuladas.

Los corderos están con sus madres hasta el destete, con un promedio de 70 días y 15 kg de peso vivo (PV). Tras esto, los corderos pueden cebarse en la misma explotación en las que han nacido o venderse a cebaderos y centros de tipificación que se encargarán de llevarlos hasta la edad de sacrificio (4 meses de vida y un peso comercial promedio de 22 kg<sub>PV</sub>).

El sistema de alimentación es un sistema altamente extensivo, en el que la principal fuente de alimentación son los pastos, que se consumen directamente en pastoreo. La suplementación con mezclas de grano y heno principalmente está muy extendida en todas las ganaderías, principalmente para las ovejas con mayores requerimientos (las ovejas paridas).

Durante la época de estabulación, las excretas de los animales se manejan como “almacenamiento sólido”, de acuerdo con la definición del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2019), y el estiércol, que incluye las camas, se elimina dos veces al año.

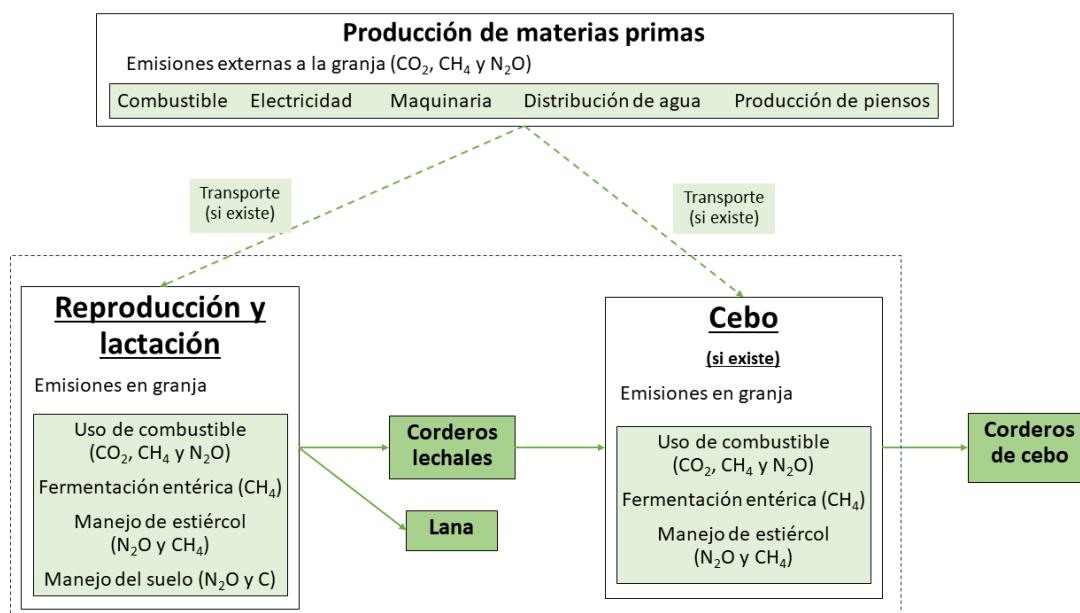
Durante la época en la que las reproductoras no están confinadas (la mayor parte del tiempo) no existe manejo de las excretas de los animales, ya que se depositan directamente en los pastos de la sierra.

#### 2.1.2. Unidades funcionales y límites del sistema

Para poder hacer un análisis de ciclo de vida de un sistema de explotación hay que concretar que produce el sistema (establecer sus unidades funcionales). Así, las unidades funcionales de la oveja Lojeña se han definido de acuerdo con los productos que se venden en las fincas (con las edades y pesos medios que resultan de las fincas estudiadas), siendo éstas:

- Cordero lechal: 1 kg<sub>PV</sub> de un cordero de 13,7 kg<sub>PV</sub> y 70 días de vida.
- Cordero de cebo: 1kg<sub>PV</sub> de un cordero de 25 kg<sub>PV</sub> y 120 días de vida.
- Lana: 1 kg de lana sucia.

Por otra parte, hay que determinar los Límites del Sistema; es decir que factores y elementos abarca el sistema a estudiar. En este caso, los límites son de la “cuna a la puerta de la finca”, lo que incluye los impactos ambientales asociados a la producción y utilización en granja de las entradas externas al sistema, como electricidad y alimentación complementaria, y las emisiones propias generadas por el ganado (fermentación entérica, gestión de excretas y deposición en pastoreo), hasta el momento que este ganado sale de la explotación (**Imagen 1**). Los límites del sistema de la “cuna a la puerta de la finca” se consideran los más completos cuando se quiere estudiar todo lo que depende de la actividad ganadera y de los recursos que utiliza.

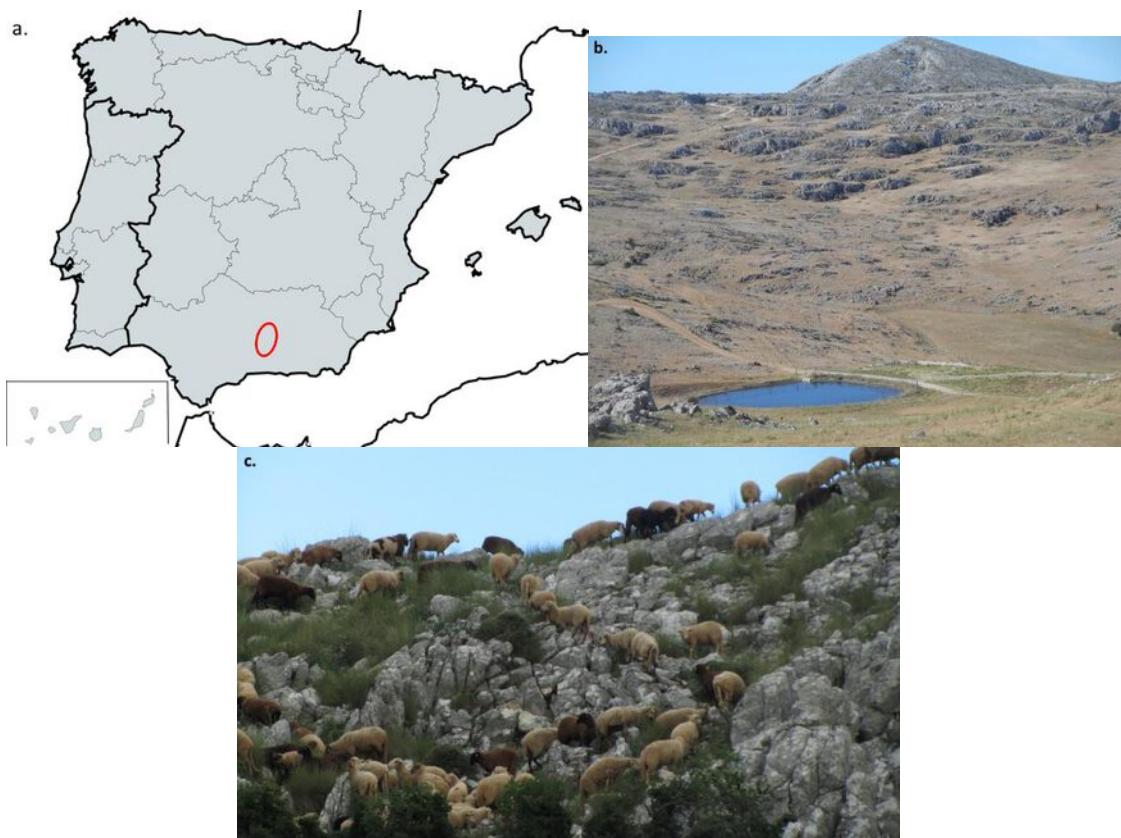


**Imagen 1.** Límites del sistema y procesos incluidos en el análisis de ciclo de vida de la oveja Lojeña.

### 2.1.3. Recolección de datos

Mediante entrevistas directas a los ganaderos se recolectaron datos de 29 explotaciones localizadas en la Sierra de Loja. Dos de ellas tuvieron que sacarse del estudio debido a que los datos estaban incompletos o no contaban con la solidez suficiente como para poder trabajar con ellos, por lo que finalmente el número de explotaciones analizadas fue de 27. Siete de estas fincas producen corderos de cebo, y 25 producen corderos lechales; todas las fincas producen lana. La mayor parte de las fincas (21; 77,8%) están certificadas en ecológico (ECO) y

solo 6 de ellas (22,2%) se manejan en convencional (CONV); por lo que, del censo estudiado, el 76,8% se maneja bajo certificación ECO. Todas las fincas se localizan en la Sierra de Loja (Granada) (**Imagen 2**).



**Imagen 2. Sierra de Loja. a. Localización (círculo rojo); b. vista panorámica de la sierra; c. ovejas pastoreando.**

Antes de iniciar las entrevistas se elaboró un cuestionario que permitiera recoger datos relativos a la información general de la finca, consumos de agua, electricidad y combustible, uso de maquinaria, manejo de los animales, formación del rebaño, datos reproductivos y productivos y alimentación complementaria. El cálculo de la cantidad de pasto consumido por los animales se realizó en base a la ingesta diaria de materia seca estimada y al consumo de alimentación complementaria.

Las Unidades de Ganado Mayor (UGM) se han calculado de acuerdo con las tablas del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (MARM, 2010) y se han utilizado para calcular la carga ganadera (CG) (**Tabla 1**).

**Tabla 1. Conversión a unidades de Ganado Mayor (UGM) (MARM, 2010)**

Animal	Grupo de edad	UGM
Ovino/Caprino	Cordero o cabrito	0,02
	Cordero o cabrito de cebo	0,05
	Adultos	0,15

### 2.1.4. Análisis de datos

Las ganaderías estudiadas se categorizaron en tres grupos de acuerdo con su productividad (cordero vendido por oveja y año) incluyendo el primer grupo al 25% de las fincas con mayor productividad, el siguiente grupo al 25% con menor productividad y el último grupo, al resto.

Del mismo modo, las fincas que producen corderos lechales se categorizaron en grupos de acuerdo con su HdC, incluyendo el primer grupo al 25% de fincas con menor HdC, el siguiente grupo al 25% con mayor HdC y el último grupo, al resto.

Para el estudio estadístico, el test ANOVA se realizó con una prueba de Student–Newman–Keuls para analizar las diferencias entre grupos, utilizándose posteriormente letras (a, b, c) para indicar las diferencias significativas entre grupos.

## 2.2. Cálculo de la Huella de Carbono

Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) calculadas han sido: CH<sub>4</sub> de fermentación entérica, CH<sub>4</sub> de manejo de estiércol, N<sub>2</sub>O de manejo de estiércol, N<sub>2</sub>O de deposición de excreciones en pastoreo, alimentación complementaria, y uso de energía y maquinaria. Para poder dar una huella de carbono y no diferentes emisiones de GEI, todas las emisiones se han convertido o expresado en Kg de CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>eq); para ello se han utilizado los factores de calentamiento global corregidos con retornos climáticos de 27 para el CH<sub>4</sub> y 273 para el N<sub>2</sub>O (Forster et al., 2021).

Según las guías del Panel Internacional del Cambio Climático (IPCC, 2019), las emisiones se pueden calcular con tres niveles de precisión: Tier 1 (el de menor precisión), Tier 2 y Tier 3 (el de mayor precisión). En el presente estudio, las emisiones de CH<sub>4</sub> de fermentación entérica se han calculado de acuerdo con el enfoque Tier 2, que se basa en la energía bruta de la ración. La composición de los piensos (**Tabla 2**) utilizados para modelizar la ración se obtuvo de uno de los principales productores de piensos de la región, y los valores nutricionales de todos los

componentes de la ración se obtuvieron de bases de datos nacionales (FEDNA, 2016 y 2019) e internacionales (Feedipedia, 2022).

**Tabla 2. Composición de los piensos modelo.**

	%	Convencional		Ecológico	
		Adultos	Cordero	Adultos	Cordero
Avena	%			15,00	7,00
Alfalfa	%			15,00	3,00
Cascarilla de soja	%	13,10			
Cebada	%		16,00	31,70	54,90
Harina de girasol	%	21,00			
Gluten de maíz	%	5,00	8,00		
Maíz	%		25,90		
Pulpa de remolacha	%	10,00			
Salvado y tercerilla	%	15,00	10,00		
Harina de soja	%		12,50		16,70
Trigo blando	%	28,00	15,00	25,00	15,00
Veza	%			10,00	
Harina de colza	%				
Carbonato cálcico	%	1,65	1,60	0,50	2,10
Fosfato bicálcico	%				
Sepiolita	%	2,00			
Melaza de remolacha	%	3,00	1,00		
Manteca de cerdo	%		0,50		
Sal	%	0,75	0,50	0,50	0,40
Corrector nutricional	%	0,50	6,50	0,30	0,60
Suero dulce de leche	%		2,50		
Aglomerante				2,00	0,30
Energía digestible	%	73,62	79,57	78,39	83,05
Proteína bruta	%	14,95	14,46	11,81	15,95
Huella de carbono	kgCO <sub>2</sub> eq /kg	0,76	1,02	0,27	1,03

El factor de conversión de CH<sub>4</sub> se ha calculado de acuerdo con la ecuación propuesta por Cambra-López et al. (2008) (Ecuación 1).

$$Y_m (\%) = -0,0038 \times DE^2 + 0,4178 \times DE - 4,3133 \quad \text{Ecuación 1}$$

donde Y<sub>m</sub> es el factor de conversión de CH<sub>4</sub> (% de energía bruta en la ración que se convierte en CH<sub>4</sub>), y DE es la energía digestible (%).

Las emisiones relativas al manejo del estiércol y deposición en pastoreo (CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O) se calcularon también de acuerdo con el enfoque Tier 2 de las guías del IPCC (IPCC, 2019) (Ecuación 2 para el CH<sub>4</sub>; ecuación 3, 4 y 5 para el N<sub>2</sub>O; ecuación 6 y 7 para el N<sub>2</sub>O de deposición en pastoreo). Para completar esto cálculos se utilizaron datos específicos del inventario nacional de gases de efecto invernadero (UNFCCC, 2022).

$$EF_{estiercol\ CH_4} = (VS \cdot 365) \cdot (Bo \cdot 0.67 \cdot \sum_{S,k} \left( \frac{MCF_{(S,k)}}{100} \right) \cdot AWMS_{(S,k)})$$

**Ecuación 2**

donde EF es el factor de emisión anual para la categoría productiva (kg CH<sub>4</sub>/animal/año), VS son los sólidos volátiles excretados por categoría productiva (kg de materia seca/animal/día), Bo la capacidad máxima de producción de CH<sub>4</sub> del estiércol producido por categoría productiva (m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ kg de VS excretada), 0.67 factor de conversión de m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> a kg CH<sub>4</sub>, MCF<sub>(S,k)</sub> es el factor de conversión de CH<sub>4</sub> para cada sistema de manejo de excretas para una región climática k (%) y AWMS<sub>(S,k)</sub> es la fracción de excretas manejada en el sistema de manejo en la región climática k (sin dimensión).

$$N_2O_D = [\sum_S [\sum_T (N_T \cdot N_{exT} \cdot AWMS_{T,S}) + N_{cdg}] \cdot EF_{3(S)}] \cdot \frac{44}{28}$$

**Ecuación 3**

donde N<sub>2</sub>O<sub>D</sub> son las emisiones directas de N<sub>2</sub>O del manejo de excretas (kg N<sub>2</sub>O/año), N<sub>T</sub> es el número de cabezas de la especie según la categoría productiva T, N<sub>exT</sub> es la media anual de excreción de N por cabezas de la especie según la categoría productiva T (kg N/animal/año), N<sub>cdg</sub> es la entrada anual de N vía co-digestión (kg N/año), AWMS<sub>T,S</sub> a la fracción de excreción anual por cabeza de la especie según la categoría productiva T que es manejado en un sistema de manejo S (sin dimensión) y EF<sub>3(S)</sub> es el factor de emisión de las emisiones directas de N<sub>2</sub>O en un sistema de manejo S (kg N<sub>2</sub>O-N/kg N en el sistema de manejo S).

$$N_2O_{G(mm)} = (N_{volatilization-MMS} \cdot EF_4) \cdot \frac{44}{28}$$

**Ecuación 4**

donde N<sub>2</sub>O<sub>G(mm)</sub> son las emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O debido a la volatilización de N por el manejo de la excretas (kg N<sub>2</sub>O/año), N<sub>volatilisation-MMS</sub> la cantidad de N de excretas que se pierde por la volatilización de NH<sub>3</sub> y NO<sub>x</sub> (kg N/año) y EF<sub>4</sub> es el factor de emisión para las emisiones de N<sub>2</sub>O por deposición atmosférica de N en suelos y agua (kg N<sub>2</sub>O-N/(kg NH<sub>3</sub>-N + NO<sub>x</sub>-N volatilizado))

$$N_2O_{L(mm)} = (N_{leaching} - MMS \cdot EF_5) \cdot \frac{44}{28}$$

**Ecuación 5**

donde N<sub>2</sub>O<sub>L(mm)</sub> son las emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O debido a la lixiviación y escorrentías del manejo de excretas (kg N<sub>2</sub>O/año), N<sub>leaching-MMS</sub> es la cantidad de N en las excretas que se pierde por causa de la lixiviación (kg N/año) y EF<sub>5</sub> es el factor de emisión para las emisiones de N<sub>2</sub>O debidas a la lixiviación y escorrentías de N (kg N<sub>2</sub>O-N/kg N lixiviado).

$$N_2O_{(ATD)} = (F_{ppr} \cdot Frac_{GasM} \cdot EF_4) \cdot \frac{44}{28}$$

**Ecuación 6**

donde N<sub>2</sub>O<sub>(ATD)</sub> son las emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O por la deposición en pastoreo (kg N<sub>2</sub>O/año), F<sub>ppr</sub> es la cantidad de N proveniente de orina y estiércol depositado por los animales en pastoreo, Frac<sub>GasM</sub> es la fracción de N aplicada por la deposición de orina y estiércol en pastoreo (F<sub>PPR</sub>) que se volatiliza como NH<sub>3</sub> y NO<sub>x</sub>, (kg N volatilizado /kg de N aplicado o depositado), y EF<sub>4</sub> es el factor de emisión para las emisiones de N<sub>2</sub>O por deposición atmosférica de N en suelos y agua (kg N<sub>2</sub>O-N/(kg NH<sub>3</sub>-N + NO<sub>x</sub>-N volatilizado))

$$N_2O_D = (F_{ppr} \cdot EF_{3ppr}) \cdot \frac{44}{28}$$

**Ecuación 7**

donde  $N_2O_D$  son las emisiones directas de  $N_2O$  por la deposición de excretas en pastoreo (kg  $N_2O$ /año),  $F_{ppr}$  es la cantidad anual de N proveniente de la deposición de orina y heces en pastoreo,  $EF_{3ppr}$  es el factor de emisión de  $N_2O$  del N que proviene de orina y heces depositadas en pastoreo (kg  $N_2O-N$  /kg N input).

Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) atribuibles a la alimentación complementaria incluyen la producción de materias primas, transporte y producción del pienso compuesto. En el caso de la producción de materias primas, los factores de emisión se escogieron teniendo en cuenta el % de importación de cada materia prima de acuerdo a los datos de los años 2016-2020 disponibles en FAOSTAT (2023). Los factores de emisión para las materias primas importadas se obtuvieron de la base de datos Agrifootprint 4.0 (Durlinger et al., 2017) utilizando el software SimaPró (versión 9.0.0.49 PhD, PRé Consultants) con el método ReCiPe 2016 Midpoint. En el caso de las materias primas nacionales y ecológicas, se han aplicado los factores específicos para el territorio español (Aguilera et al., 2015). Las emisiones de GEI relativas al uso de maquinaria y utilización de energía se obtuvieron de las bases de datos Ecoinvent3 (Wernet et al., 2016) y ELCD (Garraín et al., 2015).

### 2.3. Asignación de emisiones

Cuando las fincas cuentan con más de una actividad productiva o extractiva y existen emisiones comunes (por ejemplo, el uso de la maquinaria o el consumo de electricidad) es necesario asignarlas a algún producto o repartirlas proporcionalmente entre todos. En este caso se ha llevado a cabo una asignación basada en el valor económico relativo (€) de cada producción (asignación económica) (**Tabla 3**) (de Vries & de Boer, 2010), en lugar de hacerlo en función de la masa (kg).

**Tabla 3. Producciones utilizadas para la asignación económica**

Producto	Unidad	€	Referencia
Ciervo	Animal	200,00	(ASICAZA, 2020)
Jabalí	Animal	51,00	
Muflón	Animal	23,00	
Palomas	Animal	2,00	
Perdiz	Animal	1,5	
Conejo	Animal	1,50	
Setas	kg	3,00	
Miel	kg	3,00	
OVINO	Cordero lechal	Kg <sub>PV</sub>	
	Cordero de cebo	Kg <sub>PV</sub>	
CAPRINO	Adulto	Kg <sub>PV</sub>	(CAGPDS*, 2019)
	Cabrito	Kg <sub>PV</sub>	
	Adulto	Kg <sub>PV</sub>	

\*(Consejería de Agricultura Ganadería Pesca y Desarrollo Sostenible, 2019)

## 2.4. Análisis de sensibilidad

Para probar el efecto de la toma de decisiones metodológicas para realizar los cálculos (diferenciación de factores de emisión para alimentos ecológicos, enfoque Tier 2, y asignación de emisiones por enfoque económico), en este trabajo se llevó a cabo un análisis de sensibilidad sobre:

- El efecto de no diferenciar entre el origen ecológico o convencional de las materias primas para la alimentación en los cálculos de emisiones asociados a la alimentación.
- El uso de los factores de emisión Tier 1 para las emisiones del metano entérico y del manejo de excretas.
- El uso de la asignación de emisiones en base a la masa (kg) en lugar de hacerlo en base al valor económico (€).

# 3. Resultados

## 3.1. Análisis de inventario

El rango de superficie de las fincas de las ganaderías estudiadas va desde 150 a 2500 ha. La caracterización técnica de las fincas se muestra en la **Tabla 4**, y las diferencias entre ECO y CONV se muestran en la **Tabla 5**. Las ovejas están en pastoreo la mayor parte del tiempo, excepto durante la lactación (20% del año de media). Los datos reproductivos muestran que

hay  $0,96 \pm 0,16$  partos por oveja presente y año y nacen  $1 \pm 0,2$  corderos por oveja presente y año. Se aporta alimentación complementaria a los animales en todas las fincas.

El grupo del 25% de fincas con mayor productividad muestra diferencias significativas en los datos reproductivos con respecto al resto de fincas (**Tabla 6**)

En la **Tabla 7** se muestran los % de asignación de emisiones a cada uno de los productos analizados.

Tabla 4. Descripción de las fincas de ovino Lojeño estudiadas en la Sierra de Loja.

		Fincas produciendo corderos lechales (n=25)			Fincas produciendo corderos de cebo (n=7)			
	Variable	Unidad	MEDIA	SD	MEDIANA	MEDIA	SD	MEDIANA
Información general	Superficie	ha	588	472	550	592	277	500
	Reproductoras	Animales	893	497	820	741	374	675
	Reposición	Animales	111	65	100	103	72	80
	Machos	Animales	32	24	30	28	19	25
	Ovejas/Macho	Animales	33	11	31	39	30	26
	Carga ganadera	UGM/ha	0,29	0,14	0,26	0,23	0,08	0,23
Información reproductiva	Fertilidad	%ovejas paridas/año	91%	7%	92%	88%	10%	91%
		Partos/oveja/año	0,97	0,16	0,99	0,94	0,18	0,95
	Prolificidad	Corderos nacidos/oveja/año	1,01	0,19	1,02	0,99	0,24	1,00
		Corderos vendidos/oveja/año	0,88	0,18	0,89	0,86	0,26	0,89
Alimentación	Heno	kg/oveja/año	81	81	58	50	48	32
	Ensilaje	kg/oveja/año	33	101	0	4	9	0
	Paja	kg/oveja/año	13	26	0	13	22	0
	Grano	kg/oveja/año	58	41	61	37	45	17
	Subproductos	kg/oveja/año	29	42	0	37	53	5
	Pienso	kg/oveja/año	3	13	0	0	0	0
	Pastoreo	Kg/cordero/año	37	65	8	43	62	23
Datos productivos	Pastoreo		% MS en la ingesta	57%	29%	57%	73%	26%
	Corderos	Nº	696	503	550	386	360	300
	Peso medio	Kg/cordero	13,7	1,8	13,5	25,0	11,1	20,0
	Edad media	Días de vida	70	11	75	120	1	4

SD: desviación estándar; UGM: unidad de Ganado mayor; MS: materia seca

Tabla 5. Descripción de las fincas de ovino Lojeño estudiadas en la Sierra de Loja diferenciando entre el manejo ecológico y convencional

Información general	Fincas que producen corderos lechales (n=25)									Fincas que producen corderos de cebo (n=7)								
	ECOLÓGICO (n=20)			CONVENCIONAL (n=5)			ECOLÓGICO (n=3)			CONVENCIONAL L (n=4)								
	Variable	Unidad	MEDIA	SD	MEDIANA	MEDIA	SD	MEDIANA	MEDIA	SD	MEDIANA	MEDIA	SD	MEDIANA	MEDIA	SD	MEDIANA	
Información general	Superficie	ha	927	532	820	760	326	719	736	472	675	745	362	694				
	Reproductoras	Animales	117	68	110	90	51	100	125	96	80	87	58	87				
	Reposición	Animales	33	26	30	28	17	21	26	24	25	29	19	29				
	Machos	Animales	33	12	31	30	7	31	50	42	27	29	8	28				
	Ovejas/Macho	Animales	0,29	0,14	0,26	0,27	0,14	0,31	0,25	0,04	0,23	0,21	0,11	0,22				
Información reproductiva	Fertilidad	%ovejas paridas/año	0,91	0,07	0,91	0,93	0,08	0,95	0,85	0,09	0,89	0,90	0,12	0,94				
		Partos/oveja/año	0,99	0,17	1,03	0,90	0,08	0,90	1,01	0,26	1,07	0,89	0,12	0,91				
	Prolificidad	Corderos nacidos/oveja/año	1,08	0,18	1,10	1,03	0,18	0,97	1,04	0,26	1,13	1,05	0,21	1,01				
		Corderos vendidos/oveja/año	0,88	0,18	0,90	0,87	0,19	0,86	0,84	0,33	0,94	0,87	0,24	0,87				
Alimentación	Heno	kg/oveja/año	87,6	89,2	57,7	55,5	29,6	67,6	74,8	65,3	103,7	30,9	26,5	24,3				
	Ensilaje	kg/oveja/año	39,8	112,7	0,0	7,1	11,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,3	12,5	0,0				
	Paja	kg/oveja/año	15,6	28,4	0,0	0,0	0,0	0,0	29,4	25,9	38,9	0,0	0,0	0,0				
	Grano	kg/oveja/año	62,7	42,0	62,9	40,6	34,1	38,0	43,0	70,7	4,4	32,9	24,2	27,3				
	Subproductos	kg/oveja/año	16,4*	27,1	0,0	78,1*	59,3	100,6	10,4	18,0	0,0	57,8	64,4	53,0				
	Pienso	kg/oveja/año	3,4	14,0	0,0	2,8	6,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
		Kg/cordero/año	0,4	1,2	0,0	42,7	70,8	11,6	2,5	2,5	2,6	63,3	70,0	37,5				
	Pastoreo	% MS en la ingesta	60	23	59	68	12	66	69	24	75	80	13	79				
Datos productivos	Corderos	Nº	721	542	575	596	324	490	595	453	600	229	215	193				
	Peso medio	Kg/cordero	13,6	1,8	13,5	14,0	2,0	13,0	22,8	15,1	14,0	22,8	4,7	20,0				
	Edad media	Días de vida	68	11	70	77	8	75	126	33	120	120	53	105				

\* indica diferencias estadísticas (p<0,05) entre fincas ecológicas y convencionales.

Tabla 6. Comparación de los datos grupos ordenados por productividad (cordero vendido/oveja/año).

		Fincas ordenadas por productividad (n=27)							
		25% superior (n=7)		Resto de las fincas (n=13)		25% inferior (n=7)			
	Variable	Unidad	MEDIA	SD	MEDIA	SD	MEDIA	SD	
Información general	Reproductoras	Animales	808	655	991	491	707	254	
	Reposición	Animales	108	79	122	68	89	34	
	Machos	Animales	32	24	35	29	22	12	
	Ovejas/Macho	Animales	30	17	34	10	41	26	
	Carga ganadera	UGM/ha	0,23	0,09	0,29	0,12	0,34	0,18	
Información reproductiva	Fertilidad	%ovejas paridas/año	*	0,94 <sup>a</sup>	0,07	0,92 <sup>a</sup>	0,04	0,81 <sup>b</sup>	0,09
		Partos/oveja/año	*	1,13 <sup>a</sup>	0,10	0,98 <sup>b</sup>	0,08	0,74 <sup>c</sup>	0,04
	Prolificidad	Corderos nacidos/oveja/año	*	1,27 <sup>a</sup>	0,07	1,05 <sup>b</sup>	0,09	0,81 <sup>c</sup>	0,06
		Corderos vendidos/oveja/año	*	1,08 <sup>a</sup>	0,06	0,86 <sup>b</sup>	0,09	0,60 <sup>c</sup>	0,10

<sup>a-c</sup> Los números con superíndices diferentes muestran diferencias significativas entre grupos.

\* indica diferencias estadísticas ( $p<0,01$ ) entre grupos.

SD: Desviación estándar; UGM: unidad de Ganado mayor

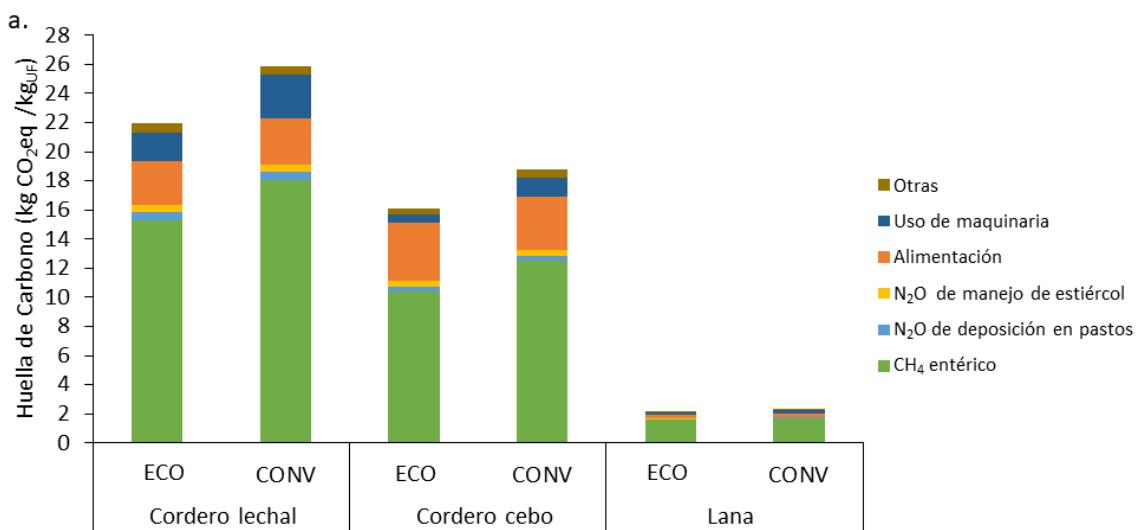
**Tabla 7 Porcentajes de asignación de emisiones a cada uno de los productos estudiados**

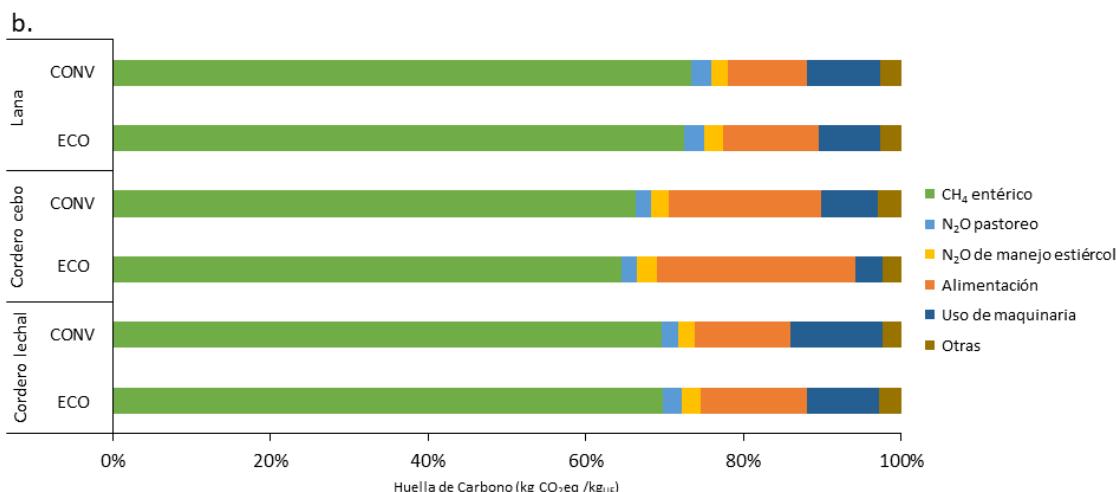
	F-01	F-02	F-03	F-04	F-05	F-06	F-07	F-08	F-09	F-10	F-11	F-12	F-13	F-14	F-15	F-16	F-17	F-18	F-19	F-20	F-21	F-22	F-23	F-24	F-25	F-26	F-27	
% de asignación de emisiones comunes de la finca	<b>Cordero lechal</b>	98,7%	97,1%	94,2%	99,2%	98,8%	94,6%	99,4%	22,7%	73,8%	92,7%	91,5%	99,1%	99,0%	99,5%	5,4%	99,3%	49,1%	99,1%	91,2%	96,7%	25,1%	98,8%	99,4%	96,8%	97,8%	0,0%	0,0%
	<b>Cordero de cebo</b>	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	75,4%	20,6%	0,0%	7,7%	0,0%	0,0%	94,2%	0,0%	28,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	94,2%	73,2%
	<b>Lana</b>	0,7%	0,8%	0,6%	0,8%	1,2%	0,8%	0,6%	0,9%	0,8%	0,9%	0,7%	0,9%	1,0%	0,1%	0,4%	0,7%	3,9%	0,9%	0,8%	0,6%	0,5%	0,8%	0,6%	1,0%	1,2%	2,3%	0,6%
<hr/>																												
<hr/>																												
<hr/>																												
<hr/>																												
<hr/>																												
<hr/>																												
<hr/>																												
<hr/>																												
<hr/>																												
<hr/>																												
<hr/>																												
<hr/>																												
<hr/>																												
<hr/>																												
<hr/>																												
<hr/>																												
<hr/>																												
<hr/>																												
<hr/>																												
<hr/>																												
<hr/>																												
<hr/>																												
<hr/>																												
<hr/>																												
<hr/>																												
<hr/>																												
<hr/>																												
<hr/>																												
<hr/>																												
<hr/>																												
<hr/>																												
<hr/>																												
<hr/>																												
<hr/>																												
<hr/>																												
<hr/>																												
<hr/>																												
<hr/>																												
<hr/>																												
<hr/>																												
<hr/>																												

### 3.2. Emisiones de gases de efecto invernadero

La Huella de Carbono (HdC) de los diferentes productos fue:  $22,7 \pm 5,9 \text{ kg CO}_2\text{eq/kg}_{\text{PV}}$  para corderos lechales,  $17,4 \pm 4,8 \text{ kg CO}_2\text{eq/kg}_{\text{PV}}$  para corderos de cebo (con diferencias significativas ( $p<0,05$ ) entre grupos), y  $2,2 \pm 0,6 \text{ kg CO}_2\text{eq/kg lana}$  (**Imagen 3a**). La mayor parte de las emisiones de relacionaron con la fermentación entérica siendo el 70% para los corderos lechales, el 65,5% para los corderos de cebo y el 72% para la lana (**Imagen 3b**).

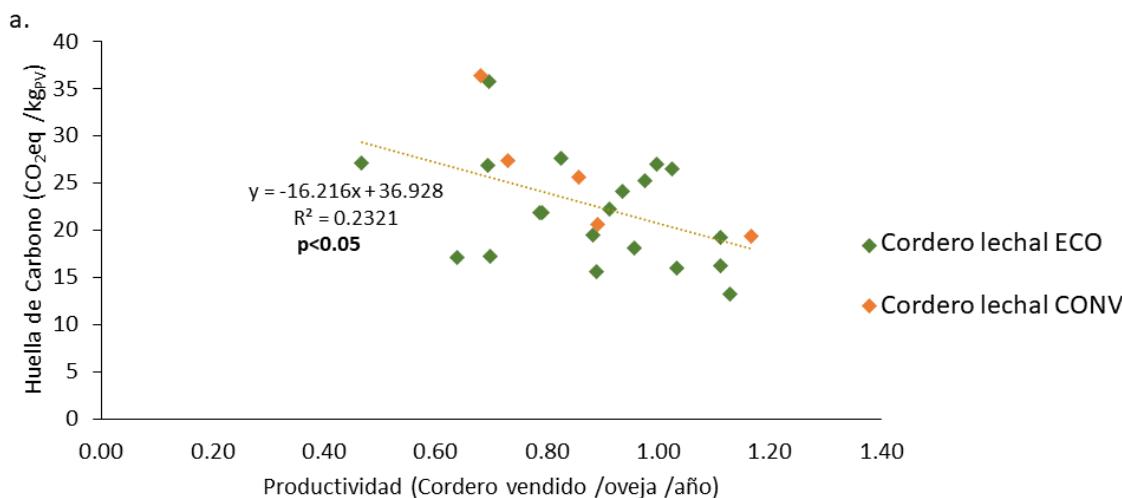
Al comparar según el tipo de manejo (ECO vs. CONV), las fincas presentan una HdC media de:  $21,9 \pm 5,6 \text{ kg CO}_2\text{eq/kg}_{\text{PV}}$  para los corderos lechales ECO;  $25,9 \pm 6,8 \text{ kg CO}_2\text{eq/kg}_{\text{PV}}$  para los corderos lechales CONV;  $16,1 \pm 6,2 \text{ kg CO}_2\text{eq/kg}_{\text{PV}}$  para los corderos de cebo ECO;  $18,8 \pm 3,0 \text{ kg CO}_2\text{eq/kg}_{\text{PV}}$  para los corderos de cebo CONV;  $2,2 \pm 0,7 \text{ kg CO}_2\text{eq/kg de lana ECO}$ ; y  $2,3 \pm 0,4 \text{ kg CO}_2\text{eq/kg de lana CONV}$  (**Imagen 3a**). No se han encontrado diferencias significativas entre el manejo ECO y CONV, aunque se muestra una tendencia a que el manejo ecológico tenga menor HdC (**Tabla 8**).

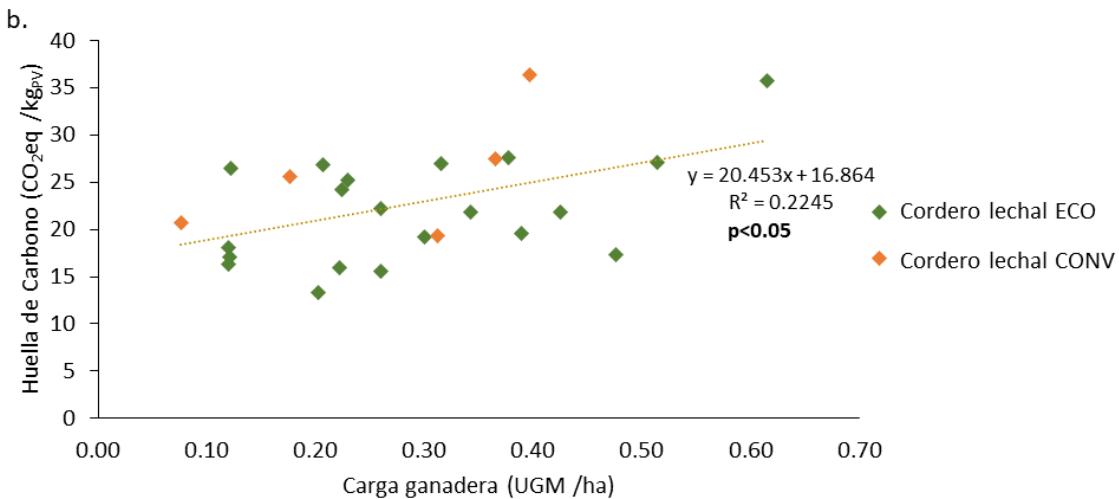




**Imagen 3. Huella de Carbono (kg CO<sub>2</sub>eq/kgUF) de los diferentes productos del ovino Lojeño estudiados, mostrando las diferentes fuentes de emisión diferenciando manejo ECO y CONV. a. Valores absolutos; b. Valores relativos (en porcentaje) (UF: unidad funcional; kg de peso vivo de cordero lechal, kg de peso vivo de un cordero de cebo, kg de lana; ECO: ecológico; CONV: convencional).**

Se ha identificado una relación inversa ( $p<0,05$ ) entre HdC y productividad y una relación directa ( $p<0,05$ ) entre HdC y carga ganadera (**Imagen 4**). Sin embargo, estas relaciones no son significativas cuando se analizan por separado las fincas ECO y CONV.





**Imagen 4. Relacion entre huella de Carbono (HdC) de los corderos lechales y a. Productividad; b. Carga ganadera (PV: peso vivo; UGM: unidad de ganado mayor; ECO: ecológico; CONV: convencional)**

Atendiendo a la agrupación de las explotaciones según su HdC, se encontraron diferencias significativas para el tamaño del rebaño, siendo menor la carga ganadera y mayores la tasa de fertilidad y la prolificidad en el grupo del 25% de fincas con menor HdC (**Tabla 9**).

Tabla 8. Huella de Carbono (kg CO<sub>2</sub>eq /kg<sub>UF</sub>) de los diferentes productos del ovino Lojeño diferenciando los diferentes tipos de emisión y el manejo (ecológico y convencional)

	Cordero lechal (n=25)				Cordero de cebo (n=7)				Lana (n=27)			
	ECOLÓGICO (N=20)		CONVENCIONAL (n=5)		ECOLÓGICO (n=3)		CONVENCIONAL (n=4)		ECOLÓGICO (n=21)		CONVENCIONAL (n=7)	
	MEDIA	SD	MEDIA	SD	MEDIA	SD	MEDIA	SD	MEDIA	SD	MEDIA	SD
CH <sub>4</sub> entérico	15,30	3,55	18,03	4,34	10,36	3,44	12,48	3,05	1,57	0,52	1,70	0,36
N <sub>2</sub> O de deposición en pastoreo	0,54	0,15	0,55	0,18	0,34	0,14	0,37	0,16	0,06	0,02	0,06	0,02
N <sub>2</sub> O de manejo de estiércol	0,53	0,12	0,55	0,05	0,40	0,23	0,40	0,12	0,05	0,02	0,05	0,01
Alimentación	2,95	2,66	3,15	1,97	4,04	3,56	3,65	2,38	0,26	0,23	0,23	0,17
Uso de maquinaria	2,00	1,89	3,03	3,00	0,55	0,56	1,34	1,42	0,17	0,16	0,22	0,24
Otra	0,63	0,30	0,62	0,24	0,38	0,17	0,57	0,22	0,06	0,03	0,06	0,03
<b>TOTAL</b>	<b>21,94</b>	<b>5,59</b>	<b>25,93</b>	<b>6,77</b>	<b>16,07</b>	<b>6,23</b>	<b>18,80</b>	<b>2,99</b>	<b>2,17</b>	<b>0,67</b>	<b>2,31</b>	<b>0,40</b>

SD: Desviación estándar

Tabla 9. Comparación de los datos de los grupos ordenados por huella de Carbono (kg CO<sub>2</sub>eq/kg<sub>PV</sub>).

Variable	Unidad	Finca produciendo corderos lechales ordenadas por huella de Carbono (n=25)					
		25% inferior (n=6)		Resto de granjas (n=13)		25% superior (n=6)	
		MEDIA	SD	MEDIA	SD	MEDIA	SD
Información general	Reproductoras	Animales	*	543 <sup>a</sup>	298	916 <sup>ab</sup>	489
	Reposición	Animales		83	50	116	73
	Machos	Animales		19	14	34	29
	Ovejas/Macho	Animales		39	19	30	8
	Carga ganadera	UGM/ha	*	0,23 <sup>a</sup>	0,13	0,24 <sup>a</sup>	0,11
						0,43 <sup>b</sup>	0,11
Información reproductiva	Fertilidad	% ovejas paridas/año	*	0,95 <sup>a</sup>	0,04	0,92 <sup>a</sup>	0,05
		Partos/oveja/año		1,02	0,18	1,01	0,13
	Prolificidad	Corderos nacidos/oveja/año	*	1,15 <sup>a</sup>	0,20	1,10 <sup>a</sup>	0,14
		Corderos vendidos/oveja/año		0,92	0,21	0,92	0,13
Alimentación	Pastoreo	% MS ingerida		66	22	66	21
Huella de Carbono		kg CO <sub>2</sub> eq/kg <sub>PV</sub>	*	15,9 <sup>a</sup>	1,5	22,4 <sup>b</sup>	3,0
						30,2 <sup>c</sup>	4,5

<sup>a-c</sup> los números con superíndices diferentes muestran diferencias significativas entre grupos.

\* indica diferencias estadísticas (p<0,05) entre grupos.

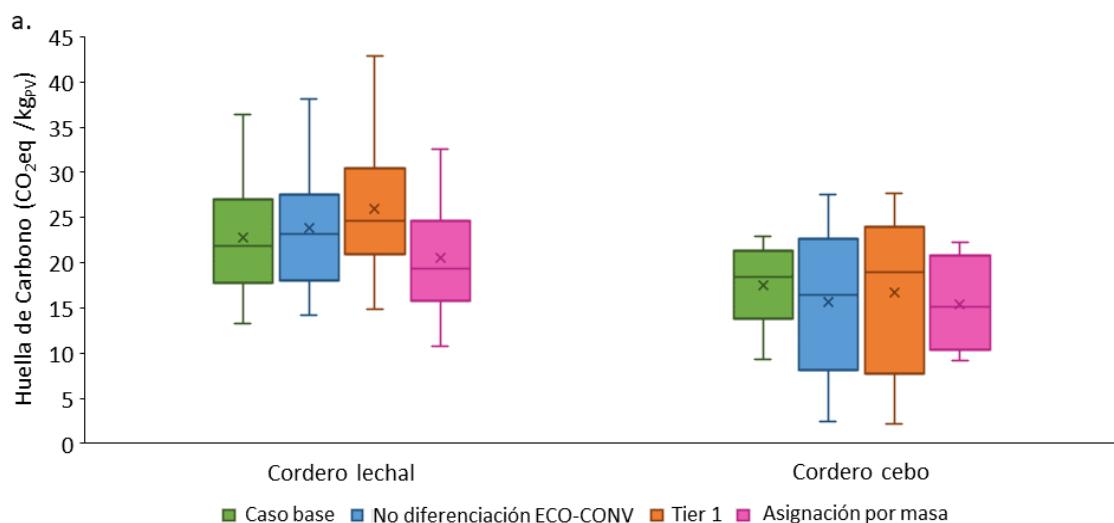
SD: Desviación estándar; UGM: unidad de Ganado mayor

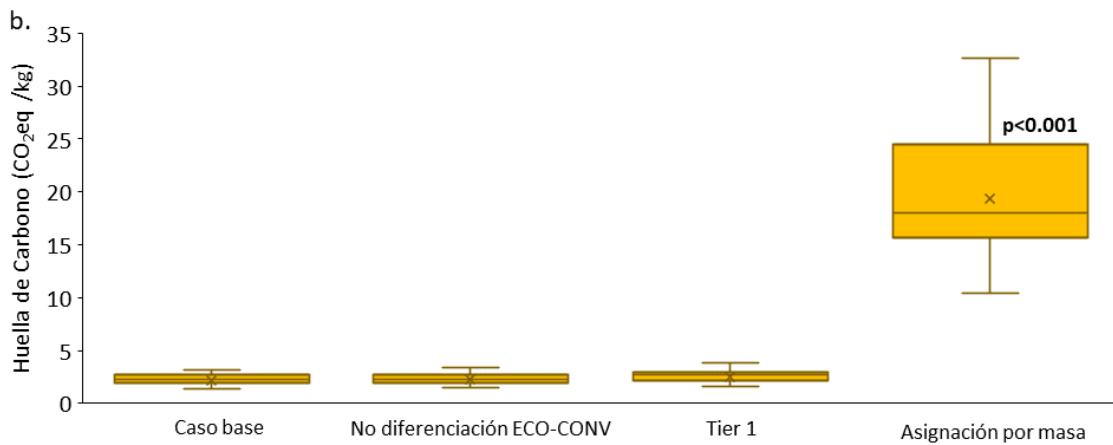
### 3.3. Análisis de sensibilidad

Se probaron algunos supuestos clave para comparar las diferencias en la HdC. Por ejemplo, la decisión de no utilizar diferentes factores de emisión para materias de alimentación ecológicas y convencionales aumenta ligeramente la HdC final conjunta de los corderos lechales y de la lana en las explotaciones estudiadas, pero en el caso de los corderos de cebo las emisiones se reducen ligeramente. (**Imagen 5**).

Otra posibilidad considerada fue el factor de emisión de Tier 1 para las ovejas, en lugar de los cálculos según las ecuaciones de Tier 2 del IPCC. La falta de presencia de datos específicos podría dar lugar a algunas diferencias en el cálculo de las emisiones del ganado como se muestra en la **Imagen 5**. Por ejemplo, los datos aplicados en este estudio dan como resultado una HdC un 12% menor que las emisiones obtenidas aplicando los valores por defecto (Tier 1) para corderos lechales.

La última posibilidad considerada fue la asignación de emisiones en base a la masa, que reduce ligeramente la HdC de los productos de cordero; aunque en el caso de la lana se aumentan las emisiones de forma significativa ( $p<0,01$ ).





**Imagen 5. Comparación de los efectos de los diferentes escenarios de cálculo de la huella de carbono de los productos de las explotaciones ovinas de Lojeña (Caso base: cálculos explicados en este trabajo; No diferenciación ECO-CONV: no se han diferenciado factores de emisión para los inputs ecológicos y convencionales; Tier 1: uso de factores por defecto; Asignación por masa: distribución de las emisiones en base a la masa).** a. **Productos del cordero;** b. **lana (PV: peso vivo)** Los bigotes representan el cero (percentil 0%) y el cuarto cuartil (percentil 100%), el cuadro está representado entre el primer (percentil 25%) y el tercer cuartil (percentil 75%), la barra horizontal en el cuadro representa la mediana (50% percentil) y la X representa la media.

## 4. Discusión

### 4.1. Emisiones de Gases de efecto invernadero

En consonancia con otros estudios de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) sobre la producción de cordero (Bhatt & Abbassi, 2021), las emisiones de metano ( $\text{CH}_4$ ) de la fermentación entérica fue la mayor fuente de emisiones de GEI, independientemente de que los productos fueran corderos lechales o de cebo. Esas emisiones dependen de la digestibilidad de la dieta (Ripoll-Bosch et al., 2013). Por tanto, las emisiones de  $\text{CH}_4$  disminuyen cuando los animales se mantienen en sistemas intensivos y comen piensos compuestos (como en la fase de engorde), porque esa dieta tiene más digestibilidad que el pasto. Sin embargo, las emisiones relacionadas con la producción y el transporte de piensos compuestos aumentan en esos sistemas. En este punto es necesario señalar que los rumiantes pueden producir proteínas de alta calidad a partir de alimentos fibrosos que no son comestibles para el ser humano y al mismo tiempo previenen los incendios forestales; por lo que, aunque sólo fuera por esto, su beneficio para la sociedad es doble. Además, habría que tener en cuenta otros beneficios ambientales (por ejemplo, biodiversidad y mitigación de cambio climático) que no se tienen en cuenta en un ACV.

El hecho de que las explotaciones estudiadas con una menor HdC tengan un tamaño de rebaño menor, aproximadamente la mitad, se asocia con su mayor extensividad o menor carga ganadera. En este sentido, los pastos de la Sierra de Loja se sitúan en terrenos muy escarpados y

rocosos, poco aptos para una producción extensiva con grandes rebaños, que requerirían de mayores suplementos forrajeros, por lo que con la dimensión aumenta la HdC.

En una revisión reciente del ACV de la producción ovina, el rango de emisiones identificado para la carne de cordero fue de entre 3,6 y 25,9 kg CO<sub>2</sub>eq/kg<sub>PV</sub> y de entre 2 y 5 kg CO<sub>2</sub>eq/kg lana (Bhatt & Abbassi, 2021). Esos amplios rangos mostrados por estudios previos, son similares a los mostrados en este estudio, y están relacionados con los diferentes sistemas productivos y de manejo identificados en la producción ovina (Bhatt & Abbassi, 2021).

Considerando la amplia variabilidad en la HdC de las diferentes fincas (ver **anexo**), el resultado promedio para los corderos de cebo de este estudio está en consonancia con resultados anteriores. Ripoll-Bosch et al. (2013) obtuvieron una HdC de 13,9; 17,7 y 19,9 kg CO<sub>2</sub>eq/kg<sub>PV</sub> para corderos de 22 kg<sub>PV</sub> en sistemas de pastoreo, mixto e intensivo respectivamente, en el Norte de España; y Eldesouky et al. (2018) mostraron 14,06 kg CO<sub>2</sub>eq/kg<sub>PV</sub> durante 90 días de corderos vivos en ganaderías extensivas en la dehesa, lo que resultó en 11,48 kg CO<sub>2</sub>eq/kg<sub>PV</sub> cuando se incluyó el secuestro de carbono.

Las comparaciones entre estudios de ACV son difíciles debido a diferencias metodológicas como la unidad funcional analizada (Colley et al., 2020; Wiedemann et al., 2019) el método de asignación (Cottle & Cowie, 2016; Ripoll-Bosch et al., 2013) o incluso el factor potencial de calentamiento global de los diferentes gases (O'Brien et al., 2016; Ripoll-Bosch et al., 2013).

Además, por diferentes motivos metodológicos, no siempre es posible incluir el secuestro de carbono (C) en los estudios de ACV (Aguilera et al., 2021), lo que puede dar lugar a un sesgo de los resultados a favor de los sistemas intensivos (Knudsen et al., 2019). Sin embargo, en los últimos años existe una tendencia a considerar el secuestro de C dentro de los estudios de HdC (Escribano et al., 2022; Horrillo et al., 2020), con lo que se pueden obtener resultados que muestran cómo, en algunos casos, el secuestro de C puede incluso superar a las emisiones totales del sistema (Reyes-Palomo et al., 2022, 2023); por lo que la ganadería extensiva se prueba como una producción animal que, al tiempo que gestiona el territorio, contribuye a la mitigación del cambio climático.

#### 4.2. El caso de la lana

Además de corderos, estas explotaciones producen lana, que hoy en día es un producto de baja rentabilidad y, en la mayoría de las granjas, acaba considerándose un subproducto que no

se puede vender. Lamentablemente, en España actualmente no existe una estructura comercial que apoye la producción de lana (Herrero, 2020). Sin embargo, en este escenario y considerando que la sostenibilidad es una exigencia para muchos sectores, incluido el textil (Wiedemann et al., 2019), y que este producto tiene un relativo bajo impacto ambiental, la lana podría consolidarse como materia prima de interés para este sector. Esto es particularmente relevante dado que los textiles sintéticos han sido identificados como la principal fuente de contaminación por microplásticos (Xu et al., 2020), y este tipo de contaminación no se produce con la lana y otros textiles orgánicos (Periyasamy & Tehrani-Bagha, 2022). En cuanto a la HdC de la lana, la mayor parte de los estudios de ACV sobre ésta utilizaron datos de granjas en Oceanía (Bhatt & Abbassi, 2021), donde es un producto más rentable que en Europa. Las emisiones promedio cuando se utiliza el método de asignación económica son superiores a las cifras obtenidas en el presente estudio. Por ejemplo, Cottle and Cowie (2016) trabajaron con granjas de Merino en Australia y dieron un resultado de 35,8 kg CO<sub>2</sub>eq/kg lana cuando se utilizó la asignación económica y 8,5 kg CO<sub>2</sub>eq/kg lana cuando se utilizó la asignación por masa.

Evidentemente, en el complejo mercado mundial de la lana, la raza Lojeña es totalmente insignificante; incluso dentro del mercado lanero español a la hora de competir con la lana de Merino. Sin embargo, si los productores de lana españoles pretenden ser competitivos en el mercado internacional, se debería mejorar la calidad y la producción de la lana, así como las estructuras comerciales (Valera et al., 2009); lo cual sería un gran desafío para una raza local marginal como lo es la raza ovina Lojeña.

#### 4.3. La baja productividad de la producción del ovino Lojeño

La relación entre productividad y HdC ha sido identificada previamente (Reyes-Palomo et al., 2022). Esta relación muestra que el aumento de la eficiencia en los rebaños extensivos no tiene por qué estar relacionado con la intensificación, como se ha propuesto tradicionalmente (Bhatt & Abbassi, 2021), sino con el aumento de la eficiencia productiva y un mejor control reproductivo (Ripoll-Bosch et al., 2013)

La oveja Lojeña es una raza criada de forma muy tradicional, y los índices productivos son bajos en comparación con otras razas en sistemas de pastoreo mediterráneos. Esto supone un hándicap para los cálculos de la HdC de la raza Lojeña. Por ejemplo, la oveja Segureña, otra raza autóctona española que se cría en sistemas extensivos y de bajos insumos en zonas montañosas, ya tenía una prolificidad de 1,3 corderos por oveja hace 20 años (Delgado et al., 2004), y presumiblemente esta podría haberse incrementado en los últimos años; lo que hace que la raza

Segureña sea una raza más eficiente que la Lojeña. Sin embargo, la raza Lojeña es la mejor adaptada al pastoreo en la agreste y rocosa Sierra de Loja.

Los sistemas extensivos de pequeños rumiantes, como el de la Lojeña, brindan enormes servicios socioecológicos en áreas marginales y áreas naturales de alto valor medioambiental (Garmendia et al., 2022). El pastoreo de ovejas mantiene la diversidad del paisaje y los pastos, controla los matorrales y contribuye a reducir el riesgo de incendios forestales (Fernández-García & Calvo, 2023; Barba et al., 2016; Gaona et al., 2014), por lo que se considera necesario para el equilibrio de la Sierra de Loja (Mena et al., 2014). Si bien la baja productividad de las ganaderías estudiadas conduce a que los resultados de HdC de este sistema sean ligeramente superiores a los de otros sistemas y/o razas más eficientes, el mantenimiento de la raza Lojeña en la Sierra de Loja contribuye no sólo a los servicios ecosistémicos mencionados anteriormente, sino también a disminuir la despoblación rural (Ruiz et al., 2016).

Según Díaz-Gaona et al. (2021) la sostenibilidad global de las explotaciones ecológicas, y de las muy extensivas, se vería reforzada si se mejorara su productividad, lo que se podría conseguir si se modificaran las condiciones y criterios para obtener las subvenciones de la PAC a favor de la conservación del medio ambiente, siguiendo los objetivos de los ecoesquemas pero con cargas ganaderas ajustadas a la realidad de cada territorio. Sin embargo, con la incertidumbre actual sobre las subvenciones de la PAC, el objetivo de las explotaciones estudiadas debería ser el aprovechamiento óptimo de los recursos forrajeros y la diferenciación en el mercado de sus corderos ecológicos.

## 5. Conclusiones

Los sistemas extensivos de cría de ganado ovino tienen un impacto ambiental muy variable dependiendo de las diferentes decisiones de gestión. Hasta donde sabemos, es la primera vez que se estudia un porcentaje tan alto de explotaciones productoras de una raza autóctona y en peligro de extinción (93%) en todo su territorio de origen. Los resultados de este trabajo son similares a los encontrado en otros estudios llevados a cabo en sistemas de producción de ovino en pastoreo; pero hay que tener en cuenta que para comparar sistemas es fundamental considerar el método seguido para la asignación de emisiones a los productos ganaderos.

Las conclusiones de este estudio son las siguientes:

- El tamaño del rebaño influye en la HdC; de modo que cuanto mayor sea el tamaño, mayor será la huella.
- Las fincas con manejo ecológico presentan menor Huella de C que las fincas manejadas en convencional, principalmente debido al menor impacto de la alimentación.
- Se ha identificado una relación indirecta entre nivel de emisiones y productividad (cordero vendido/oveja/año). A mayor productividad menor nivel de emisiones.
- Se ha identificado una relación directa entre menores emisiones y menor carga ganadera (UGM /ha)
- El método utilizado para la asignación de emisiones tiene un impacto significativo en el resultado final de los subproductos de la explotación (lana).
- Para mejorar los resultados de la HdC se propone: (I) reducir tamaño del rebaño, (II) convertir las explotaciones a manejo ecológico, (III) reducir la carga ganadera, y (IV) mejorar la eficiencia reproductiva.

Futuros estudios deberían incluir el secuestro de carbono en los cálculos para obtener un resultado más completo de la HdC de estos sistemas extensivos. Previsiblemente este resultado sería menor, lo que contribuiría a mejorar la imagen y el valor añadido de sus productos. De esta forma se podría contribuir en mayor medida a la conservación de estos sistemas tradicionales tan necesarios para el equilibrio del territorio.

## Agradecimientos

Los autores agradecen su apoyo a la Asociación de Ganaderos Criadores de la Raza Ovina Lojeña del Poniente Granadino y a cada uno de los ganaderos que han proporcionado datos para este estudio, especialmente a su presidente, Juan Antonio Moreno Cobo.

## Referencias

Agronomia. (2020). *Los precios de la miel a granel se recuperan en esta campaña - Agrónoma.* <https://sevilla.abc.es/agronoma/noticias/ganaderia/apicola/precios-miel-granel/?ref=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F>

Aguilera, E., Diaz-Gaona, C., Garcia-Laureano, R., Reyes-Palomo, C., Guzman, G. I., Ortolani, L., Sanchez-Rodriguez, M., & Rodriguez-Estevez, V. (2020). Agroecology for adaptation to climate change and resource depletion in the Mediterranean region. A review. *Agricultural Systems*, 181, 21. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102809>

Aguilera, E., Guzmán, G., & Alonso, A. (2015). Greenhouse gas emissions from conventional and organic cropping systems in Spain. I. Herbaceous crops. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(2), 713–724. <https://doi.org/10.1007/S13593-014-0267-9/FIGURES/3>

Aguilera, E., Reyes-Palomo, C., Díaz-Gaona, C., Sanz-Cobena, A., Smith, P., García-Laureano, R., & Rodríguez-Estevez, V. (2021). Greenhouse gas emissions from Mediterranean agriculture: Evidence of unbalanced research efforts and knowledge gaps. *Global Environmental Change*, 69, 102319. <https://doi.org/10.1016/J.GLOENVCHA.2021.102319>

Arca, P., Vagnoni, E., Duce, P., & Franca, A. (2021). How does soil carbon sequestration affect greenhouse gas emissions from a sheep farming system? Results of a life cycle assessment case study. *Italian Journal of Agronomy*, 16(3). <https://doi.org/10.4081/IJA.2021.1789>

ASICAZA. (2020). *Lonja.* [https://asiccaza.org/index.php/lonja-carne-decaza?component=com\\_asiccaza&view=lonjas&accion=detalle&idProducto=181](https://asiccaza.org/index.php/lonja-carne-decaza?component=com_asiccaza&view=lonjas&accion=detalle&idProducto=181)

Barba, C., Fernández-Tomillo, L., Jiménez, R., Guzmán, J. R., & García, A. (2016). Valor ecológico ambiental y conservación de razas ovinas. *Archivos de Zootecnia*, 65(251), 445–448. <https://doi.org/10.21071/AZ.V65I251.713>

Bhatt, A., & Abbassi, B. (2021). Review of environmental performance of sheep farming using life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 293, 126192. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.126192>

BSI. (2011). *PAS 2050:2011 Specification for the Assessment of the Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Goods and Services.* Carbon Trust.

Cambra-López, M., García Rebollar, P., Estellés, F., & Torres, A. (2008). Estimación de las emisiones de los rumiantes en España: el factor de conversión de metano. *Arch. Zootec.*, 57, 89–101.

Colley, T. A., Olsen, S. I., Birkved, M., & Hauschild, M. Z. (2020). Delta Life Cycle Assessment of Regenerative Agriculture in a Sheep Farming System. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 16(2), 282–290. <https://doi.org/10.1002/IEAM.4238>

Consejería de Agricultura Ganadería Pesca y Desarrollo Sostenible. (2019). *Síntesis de campaña: Ovino de sacrificio. Campaña 2018. Observatorio de Precios y Mercados. Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural. Junta de Andalucía.* <https://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/observatorio/servlet/FrontController?action=RecordContent&table=11030&element=2633462&subsector=140&>

Cottle, D. J., & Cowie, A. L. (2016). Allocation of greenhouse gas production between wool and meat in the life cycle assessment of Australian sheep production. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 21(6), 820–830. <https://doi.org/10.1007/S11367-016-1054-4/TABLES/9>

de Vries, M., & de Boer, I. J. M. (2010). Comparing environmental impacts for livestock products: A review of life cycle assessments. *Livestock Science*, 128(1–3), 1–11. <https://doi.org/10.1016/J.LIVSCI.2009.11.007>

Delgado, J. V., Rodríguez, J. V., León, J. M., Puntas, J., Benavente, M., García, G., & Barba, C. (2004). Selection Scheme of the Segureña Breed of Sheep. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*,

12(4s1), 59–62. <http://www.bioline.org.br/request?la04029>

Díaz-Gaona, C., Sánchez-Rodríguez, M., Gómez-Castro, G., & Rodríguez-Estévez, V. (2014). La ganadería ecológica en la gestión de los espacios naturales protegidos: Andalucía como modelo. *Uco.Es*, 63(241), 25–54. <https://www.uco.es/servicios/ucopress/az/index.php/az/article/view/589>

Díaz-Gaona, C., Sánchez-Rodríguez, M., & Rodríguez-Estévez, V. (2021). Assessment of the sustainability of extensive livestock farms on the common grasslands of the natural park sierra de grazalema. *Sustainability (Switzerland)*, 13(4), 1–19. <https://doi.org/10.3390/su13041818>

Díaz Gaona, C., Rodríguez, V., Sánchez, M., Ruz, J. M., Hervás, C., & Mata, C. (2014). Estudio de los pastos en Andalucía y Castilla-La Mancha. *Asociación Valor Ecológico-Ecovalia, Ed.*

Duncan, J., Rivera-Ferre, M., & Claeys, P. (2020). *The importance of Food Sovereignty for the Farm to Fork strategy and the New Green Deal. Insights and limits of the SAM and SAPEA reports 1.* <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.18384.53761>

Durlinger, B., Koukouna, E., Broekema, R., Van Paassen, M., & Scholten, J. (2017). Agri-footprint 4.0-Part 1: Methodology and basic principles. *Agri-Footprint: Gouda, The Netherlands.*

El desouky, A., Mesias, F. J., Elghannam, A., & Escribano, M. (2018). Can extensification compensate livestock greenhouse gas emissions? A study of the carbon footprint in Spanish agroforestry systems. *Journal of Cleaner Production*, 200, 28–38. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.279>

Escribano, M., Horrillo, A., & Mesías, F. J. (2022). Greenhouse gas emissions and carbon sequestration in organic dehesa livestock farms. Does technical-economic management matters? *Journal of Cleaner Production*, 372, 133779. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2022.133779>

FAOSTAT. (2023). *FAOSTAT database*. <http://www.fao.org/faostat/en/#data>

FEDNA. (2016). *Tablas FEDNA de valor nutritivo de forrajes y subproductos húmedos 2ª edición*. <http://www.fundacionfedna.org/sites/default/files/TABLAS-WEB-FORRAJES-SUBPHUMEDOS.pdf>

FEDNA. (2019). Tablas FEDNA 2019, 4ta edición. In *Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición (FEDNA)Animal*. (p. 604). <http://fundacionfedna.org/ingredientes-para-pienso>

Feedipedia. (2022). *Feedipedia: An on-line encyclopedia of animal feeds / Feedipedia*. <https://www.feedipedia.org/>

Fernández-García, V., & Calvo, I. (2023). Landscape Implications of Contemporary Abandonment of Extensive Sheep Grazing in a Globally Important Agricultural Heritage System. *Land 2023, Vol. 12, Page 780*, 12(4), 780. <https://doi.org/10.3390/LAND12040780>

Forster, P., Storelvmo, T., Armour, K., Collins, W., Dufresne, J.-L., Frame, D., Lunt, D., Mauritsen, T., Palmer, M., Watanabe, M., Wild, M., & Zhang, H. (2021). The Earth's Energy Budget, Climate Feedbacks and Climate Sensitivity. In V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, & B. Zhou (Eds.), *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 923–1054). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.009>.

Gaona, C. D., Rodríguez, M. S., Castro, G. G., & Estévez, V. R. (2014). La ganadería ecológica en la gestión de los espacios naturales protegidos: Andalucía como modelo. *Archivos de Zootecnia*, 63(241), 25–54. <https://doi.org/10.21071/AZ.V63I241.589>

Garmendia, E., Aldezabal, A., Galan, E., Andonegi, A., del Prado, A., Gamboa, G., Garcia, O., Pardo, G., Aldai, N., & Barron, L. J. R. (2022). Mountain sheep grazing systems provide multiple ecological, socio-economic, and food quality benefits. *Agronomy for Sustainable Development*, 42(3), 1–13. <https://doi.org/10.1007/S13593-021-00751-7/TABLES/3>

Garraín, D., Fazio, S., De la Rua, C., Recchioni, M., Lechón, Y., & Mathieu, F. (2015). Background

qualitative analysis of the European reference life cycle database (ELCD) energy datasets—part II: electricity datasets. *Springerplus*, 4(1), 30.

González, A., Herrera, M., & Rodero, E. (2008). *La raza lojeña I: estado actual*. Feagas. <https://helvia.uco.es/bitstream/handle/10396/6508/feagas34-2008.2-3.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Herrero, M. T. (2020). *Women and wool in Dehesas: Gender overview of the wool supply chain in Spain Cultural landscapes and biodiversity in the Mediterranean Basin* Marta Torres Herrero CULTURAL LANDSCAPES AND BIODIVERSITY IN THE MEDITERRANEAN BASIN (pp. 1–62). IUCN. [www.iucn.org/resources/publications](http://www.iucn.org/resources/publications)

Horrillo, A., Gaspar, P., & Escribano, M. (2020). Organic Farming as a Strategy to Reduce Carbon Footprint in Dehesa Agroecosystems: A Case Study Comparing Different Livestock Products. *Animals* 2020, Vol. 10, Page 162, 10(1), 162. <https://doi.org/10.3390/ANI10010162>

INE. (2020). *INEbase*. *Censo* *Agrario*. [https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica\\_C&cid=1254736176851&menu=resultados&idp=1254735727106#!tabs-1254736195761](https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176851&menu=resultados&idp=1254735727106#!tabs-1254736195761)

IPCC. (2019). *2019 refinement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories*.

Knudsen, M. T., Dorca-Preda, T., Djomo, S. N., Peña, N., Padel, S., Smith, L. G., Zollitsch, W., Hörtenhuber, S., & Hermansen, J. E. (2019). The importance of including soil carbon changes, ecotoxicity and biodiversity impacts in environmental life cycle assessments of organic and conventional milk in Western Europe. *Journal of Cleaner Production*, 215, 433–443. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2018.12.273>

MAPA. (2019). *Real Decreto 45/2019, de 8 de febrero, por el que se establecen las normas zootécnicas aplicables a los animales reproductores de raza pura, porcinos reproductores híbridos y su material reproductivo, se actualiza el Programa nacional de conservación, mej* (pp. 19716–19748). <https://www.boe.es/boe/dias/2019/03/01/pdfs/BOE-A-2019-2859.pdf>

MARM. (2010). *Real Decreto 1131/2010, de 10 de septiembre, por el que se establecen los criterios para el establecimiento de las zonas remotas a efectos de eliminación de ciertos subproductos animales no destinados a consumo humano generados en las explotaciones ganaderas*. [https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2010-15123](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2010-15123)

Mena, Y., Ruiz, F. A., Gutierrez, R., Vázquez, M., & Castel, J. M. (2014). La función de la ganadería en el mantenimiento y el aprovechamiento de los montes mediterráneos. *Ambienta*, 108, 52–67. <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/43582/ganaderia.pdf?sequence=1>

Muñoz-Ulecia, E., Bernués, A., Briones-Hidrovo, A., Casasús, I., & Martín-Collado, D. (2023). Dependence on the socio-economic system impairs the sustainability of pasture-based animal agriculture. *Scientific Reports* 2023 13:1, 13(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-41524-4>

O'Brien, D., Bohan, A., McHugh, N., & Shalloo, L. (2016). A life cycle assessment of the effect of intensification on the environmental impacts and resource use of grass-based sheep farming. *Agricultural Systems*, 148, 95–104. <https://doi.org/10.1016/J.AGSY.2016.07.004>

Periyasamy, A. P., & Tehrani-Bagha, A. (2022). A review on microplastic emission from textile materials and its reduction techniques. *Polymer Degradation and Stability*, 199, 109901. <https://doi.org/10.1016/J.POLYMDEGRADSTAB.2022.109901>

Reyes-Palomo, C., Aguilera, E., Llorente, M., Díaz-Gaona, C., Moreno, G., & Rodríguez-Estévez, V. (2022). Carbon sequestration offsets a large share of GHG emissions in dehesa cattle production. *Journal of Cleaner Production*, 358, 131918. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2022.131918>

Reyes-Palomo, C., Aguilera, E., Llorente, M., Díaz-Gaona, C., Moreno, G., & Rodríguez-Estévez, V. (2023). Free-range acorn feeding results in negative carbon footprint of Iberian pig production in the dehesa agro-forestry system. *Journal of Cleaner Production*, 418, 138170. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2023.138170>

Riedel, J. L., Casasús, I., & Bernués, A. (2007). Sheep farming intensification and utilization of natural resources in a Mediterranean pastoral agro-ecosystem. *Livestock Science*, 111(1–2), 153–163. <https://doi.org/10.1016/J.LIVSCI.2006.12.013>

Ripoll-Bosch, R., de Boer, I. J. M., Bernués, A., & Vellinga, T. V. (2013). Accounting for multi-functionality of sheep farming in the carbon footprint of lamb: A comparison of three contrasting Mediterranean systems. *Agricultural Systems*, 116, 60–68. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2012.11.002>

Ruiz, F. A., Lara, C., Mena, Y., & Gutiérrez, R. (2014). Actions to increase sustainability in sheep production systems in disadvantaged areas of Mediterranean: Lojeña sheep breed. *Libro de Actas 11th European IFSA Symposium, Berlin (Alemania)*.

Ruiz, F. A., Lara, C., Mena, Y., & Moreno, J. A. (2016). *Caracterización de los sistemas de producción de la raza ovina lojeña* (pp. 72–76). <https://core.ac.uk/download/pdf/190376105.pdf>

SETACOR. (2019). *Consulta el precio de las setas en 2023 - Champyacademy*. <https://www.champyacademy.com/precios-de-las-setas/>

UNFCCC. (2022). *Spain. 2022 Common Reporting Format (CRF) Table | UNFCCC*. <https://unfccc.int/documents/461783>

Valera, M., Arrebola, F., Juárez, M., Molina, A., Valera, M., Arrebola, F., Juárez, M., & Molina, A. (2009). Genetic improvement of wool production in Spanish Merino sheep: genetic parameters and simulation of selection strategies. *Animal Production Science*, 49(1), 43–47. <https://doi.org/10.1071/EA07061>

Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E., & Weidema, B. (2016). The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 21(9), 1218–1230. <https://doi.org/10.1007/S11367-016-1087-8/FIGURES/7>

Wiedemann, S. G., Simmons, A., Watson, K. J. L., & Biggs, L. (2019). Effect of methodological choice on the estimated impacts of wool production and the significance for LCA-based rating systems. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 24(5), 848–855. <https://doi.org/10.1007/S11367-018-1538-5/TABLES/2>

Xu, C., Zhang, B., Gu, C., Shen, C., Yin, S., Aamir, M., & Li, F. (2020). Are we underestimating the sources of microplastic pollution in terrestrial environment? *Journal of Hazardous Materials*, 400, 123228. <https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2020.123228>

## ANEXO I

Se han calculado los diferentes impactos de la producción de ovino lojeño en la Sierra de Loja siguiendo la metodología del análisis de ciclo de vida. Para ello se ha utilizado el software Simapró (version 9.0.0.49 PhD, PRé Consultants), utilizando el método ReCiPe 2016 Midpoint.

Se ha utilizado una muestra de 27 fincas localizadas en la Sierra. Los resultados se presentan en la Tabla, donde se da la media y la desviación típica para cada uno de los impactos para las producciones de cordero y lana.

Los impactos calculados han sido:

- **Depleción del ozono estratosférico:** calcula el impacto sobre la capa de ozono ( $O_3$ ) que actúa como filtro absorbiendo la radiación UV.
- **Radiación ionizante:** el impacto de la radiación UV sobre los óxidos de N, que reaccionan con compuestos orgánicos volátiles para producir  $O_3$ .
- **Formación de partículas finas:** calcula el impacto sobre la formación de partículas finas (menos de 2.5  $\mu m$ ).
- **Formación de ozono, ecosistema terrestre:** formación de  $O_3$  por la disociación de moléculas de  $O_2$  por la acción de la radiación UV.
- **Acidificación terrestre:** consiste en la deposición de ácidos resultantes de la liberación de los óxidos e N y S en la atmósfera, suelo y agua.
- **Eutrofización del agua:** se incluyen los impactos debido a un alto nivel de P. El aumento de este compuesto lleva a una disminución de contenido de  $O_2$ , lo que puede terminar ocasionando reacciones anaerobias que liberarán gases como el  $CH_4$ ,  $H_2S$  y  $NH_3$ .
- **Eutrofización del agua marina:** se incluyen los impactos debido a un alto nivel de N. El aumento de este compuesto lleva a una disminución de contenido de  $O_2$ , lo que puede terminar ocasionando reacciones anaerobias que liberarán gases como el  $CH_4$ ,  $H_2S$  y  $NH_3$ .
- **Ecotoxicidad terrestre:** contempla los efectos sobre los ecosistemas terrestres.
- **Ecotoxicidad del agua:** contempla los efectos sobre los ecosistemas acuáticos.
- **Toxicidad carcinogénica humana:** contempla los efectos sobre la salud humana.
- **Toxicidad no carcinogénica humana:** contempla los efectos sobre la salud humana.
- **Uso de tierra:** superficie que se utiliza.
- **Depleción de recursos minerales:** impacto de reducción de las reservas de los recursos minerales.
- **Depleción de recursos fósiles:** impacto de reducción de las reservas de los recursos fósiles.

- **Consumo de agua:** impacto de reducción de las reservas de los recursos acuáticos.
- **Consumo de energía:** impacto por el uso de energía.

Tabla 1. Impactos calculados para la producción de ovino lojeño en la sierra de Loja

Impacto	Unidad	Cordero		Lana	
		Media	Desviación típica	Media	Desviación típica
Depleción del ozono estratosférico	kg CFC- 11eq/kg	1.71E-04	4.83E-04	1.49E-05	3.86E-05
Radiación ionizante	kBq Co-60eq/kg	1.50E-01	1.17E-01	1.59E-02	1.25E-02
Formación de partículas finas	kg PM <sub>2,5</sub> eq/kg	1.43E+01	4.29E+01	1.25E+00	3.62E+00
Formación de ozono, ecosistema terrestre	kg NOx eq/kg	1.24E-01	1.29E-01	1.34E-02	1.36E-02
Acidificación terrestre	kg SO <sub>2</sub> eq/kg	4.01E-02	2.59E-02	4.09E-03	2.61E-03
Eutrofización del agua	kg Peq/kg	1.78E-03	1.18E-03	1.83E-04	1.24E-04
Eutrofización del agua marina	kg Neq/kg	1.60E-02	1.37E-02	1.65E-03	1.49E-03
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DCB/kg	1.16E+01	9.85E+00	1.23E+00	1.08E+00
Ecotoxicidad del agua	kg 1,4-DCB/kg	3.49E-01	2.86E-01	3.66E-02	3.14E-02
Toxicidad carcinogénica humana	kg 1,4-DCB/kg	1.65E-01	1.61E-01	1.78E-02	1.73E-02
Toxicidad no carcinogénica humana	kg 1,4-DCB/kg	1.18E+01	1.03E+01	1.18E+00	1.01E+00
Uso de tierra	m <sup>2</sup> a crop eq/kg	1.19E+01	9.13E+00	1.18E+00	8.61E-01
Depleción de recursos minerales	kg Cu eq/kg	2.43E-02	2.10E-02	2.60E-03	2.26E-03
Depleción de recursos fósiles	kg oil eq/kg	1.03E+00	7.65E-01	1.09E-01	8.12E-02
Consumo de agua	m <sup>3</sup> /kg	3.70E-01	4.86E-01	3.56E-02	3.82E-02
Consumo de energía	MJ/kg	7.61E+01	8.10E+01	8.05E+00	8.97E+00



## ANEXO II

En este anexo se presentan los resultados individuales por ganaderías.

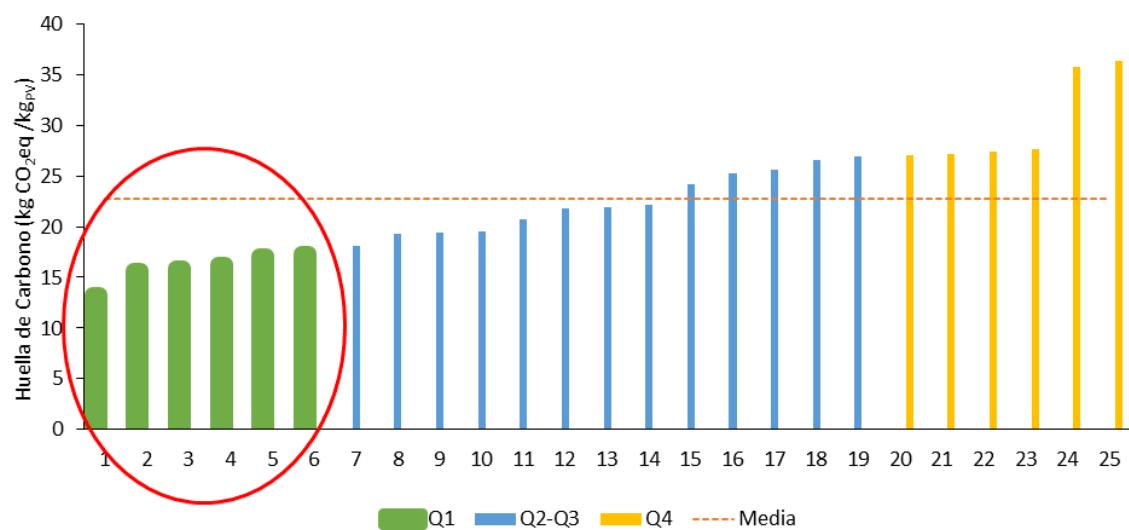
Para mantener la confidencialidad de los resultados, las características de la finca y su ganadería ovina se dan por rangos o intervalos:

- La superficie se da en rangos de 100 hectáreas (ha), desde menos de 200 ha a más de 800 ha
- El censo de ovejas reproductoras se da en rangos de 200 reproductoras, desde menos de 300 a más de 900 reproductoras.
- La carga ganadera se da en rangos de 0,1 UGM/ha, desde menos de 0,2 UGM/ha a más de 0,6 UGM/ha

Además, las ganaderías se han agrupado en 4 grupos de emisiones o huella de carbono (HdC); siendo Q1 el grupo con el 25% de las ganaderías con menor HdC, seguidas de Q2, Q3 y Q4, siendo el último el grupo en el que está el 25% de las ganaderías con mayor HdC. Aquí es conveniente recordar que no se ha estudiado la capacidad de secuestro de los suelos de las fincas, que compensaría en buena parte las emisiones de la producción ganadera (por eso se habla de ganaderías y no de fincas).



## Grupo de granjas con menor huella de carbono

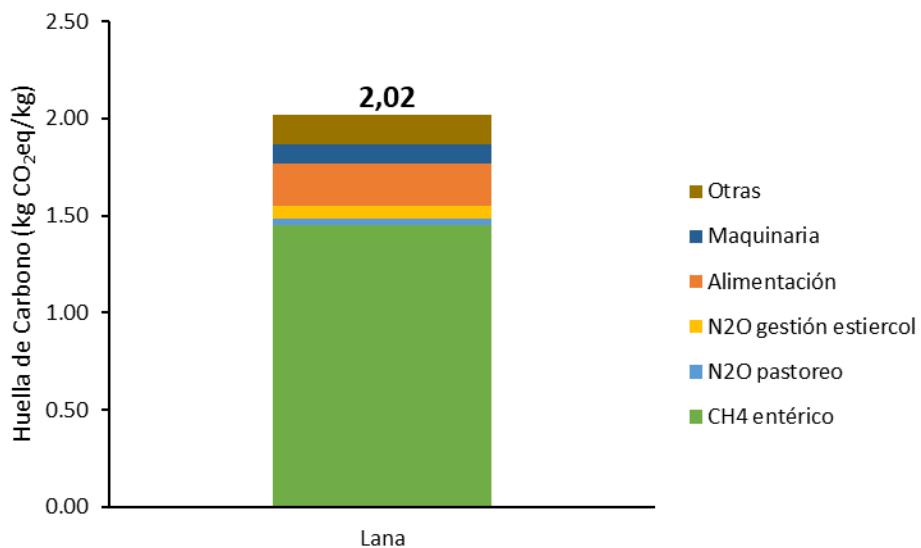
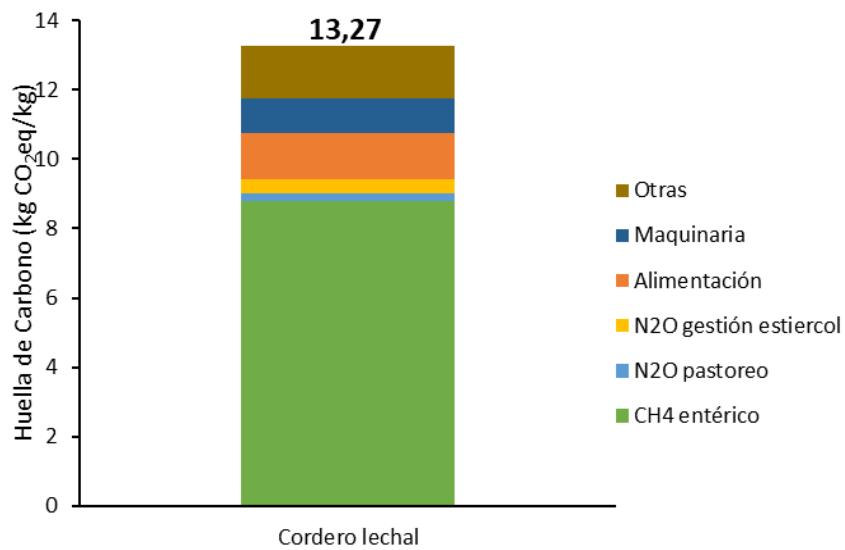




## Ganadería 1

Características	Unidades	
Superficie	ha	200-300
Carga ganadera	UGM/ha	0,2-0,3
Reproductoras	n de animales	<300
Cuartil ordenadas por HdC		Q1

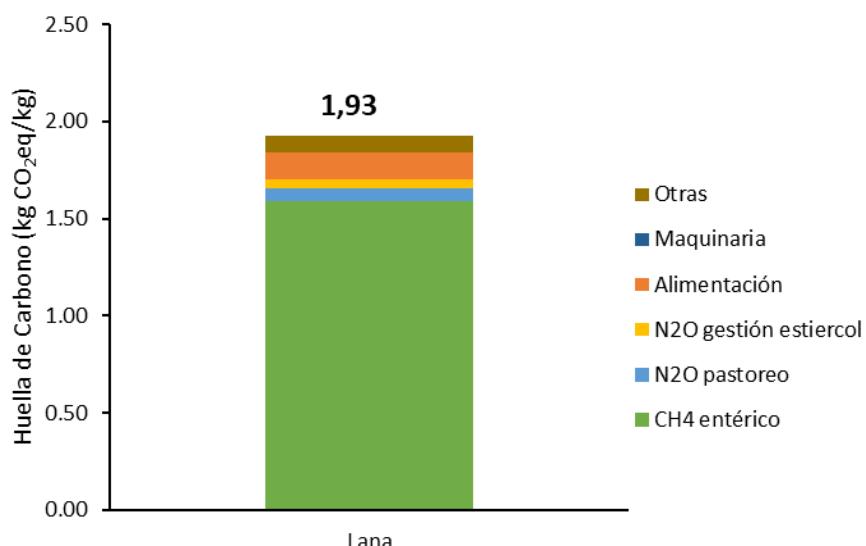
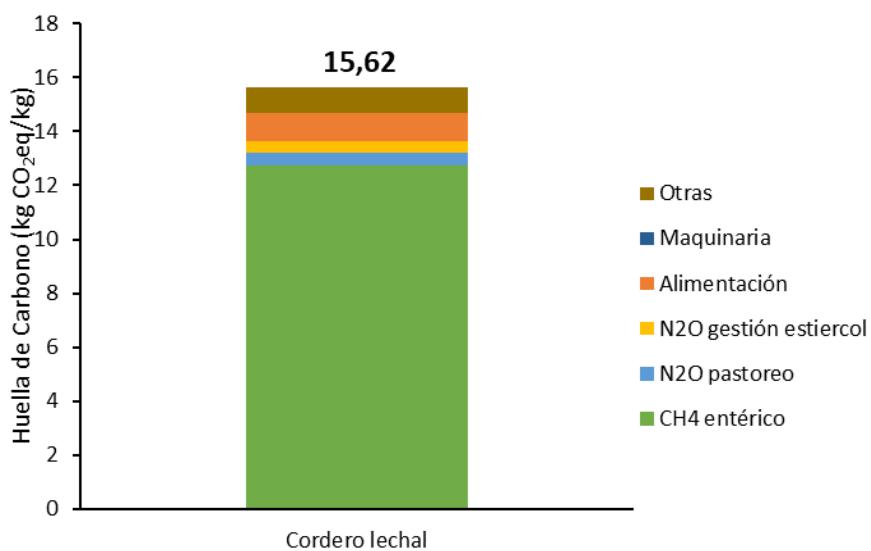
Producción	Características	Unidades	
Cordero lechal	Peso medio	Kg/cordero	15
	Edad media	días de vida	75



## Ganadería 2

Características	Unidades	
Superficie	ha	<200
Carga ganadera	UGM/ha	0,2-0,3
Reproductoras	n de animales	<300
Cuartil ordenadas por HdC		Q1

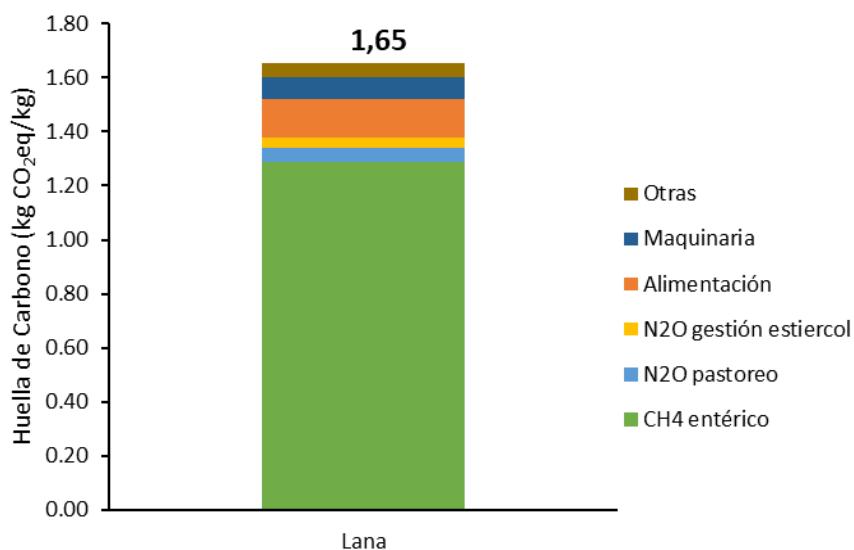
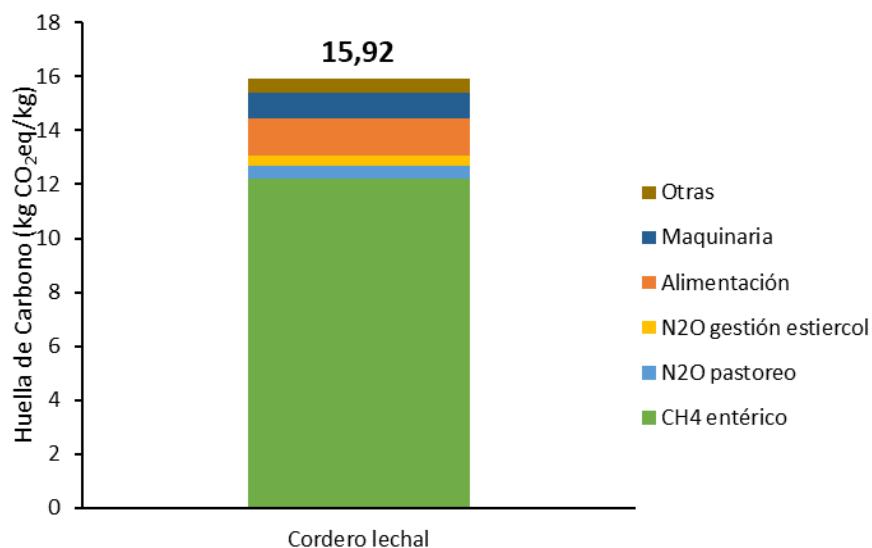
Producción	Características	Unidades	
Cordero lechal	Peso medio	Kg/cordero	12,5
	Edad media	días de vida	60



## Ganadería 3

Características	Unidades
Superficie	ha
Carga ganadera	UGM/ha
Reproductoras	n de animales
Cuartil ordenadas por HdC	Q1

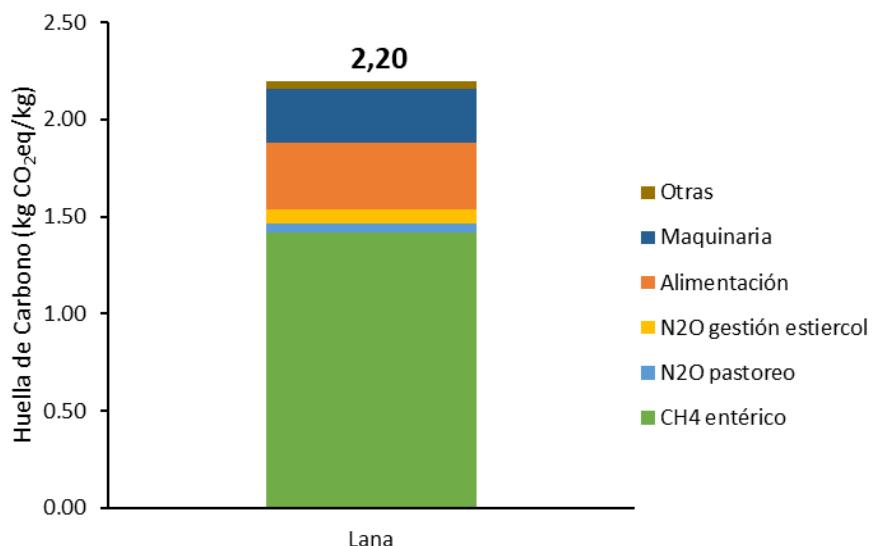
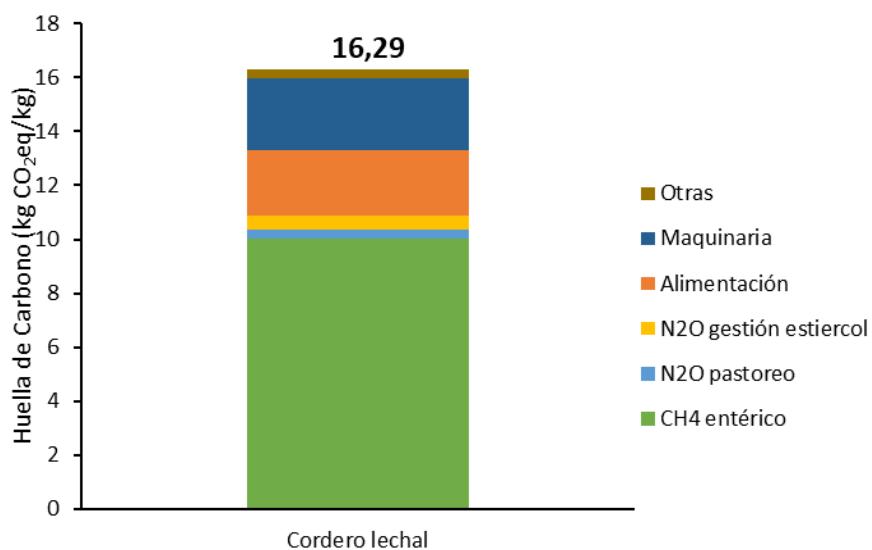
Producción	Características	Unidades	
Cordero lechal	Peso medio	Kg/cordero	14
	Edad media	días de vida	50



## Ganadería 4

Características	Unidades
Superficie	ha
Carga ganadera	UGM/ha
Reproductoras	n de animales
Cuartil ordenadas por HdC	Q1

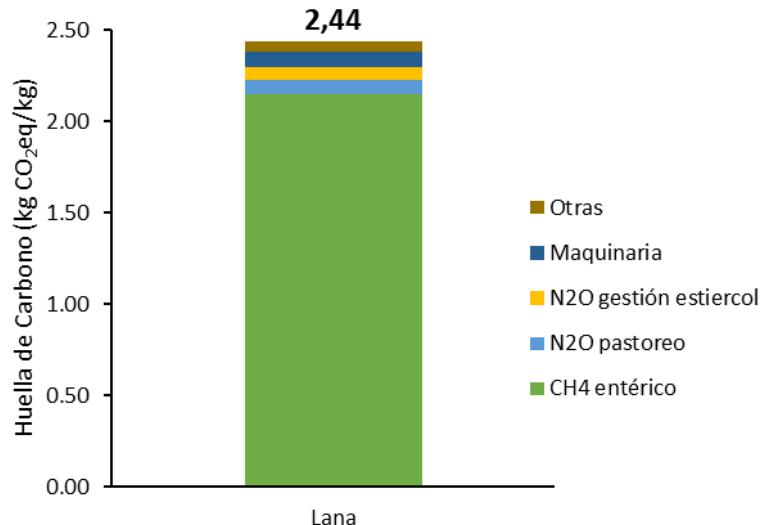
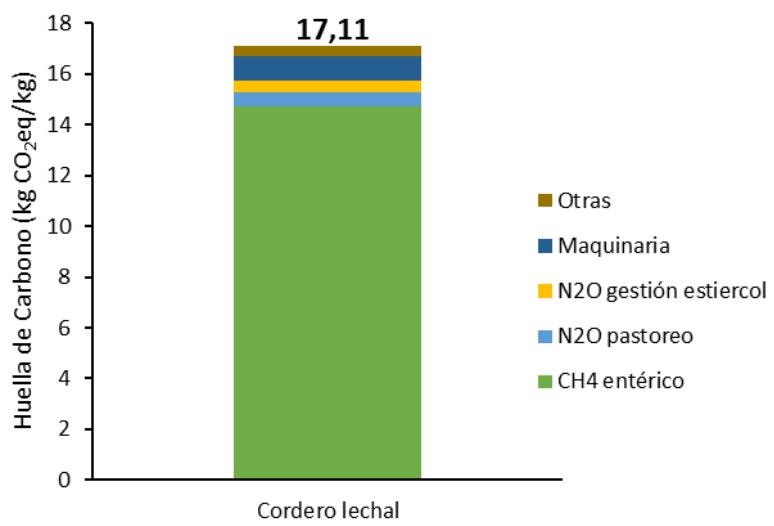
Producción	Características	Unidades	
Cordero lechal	Peso medio	Kg/cordero	16,5
	Edad media	días de vida	90



## Ganadería 5

Características	Unidades
Superficie	ha
Carga ganadera	UGM/ha
Reproductoras	n de animales
Cuartil ordenadas por HdC	Q1

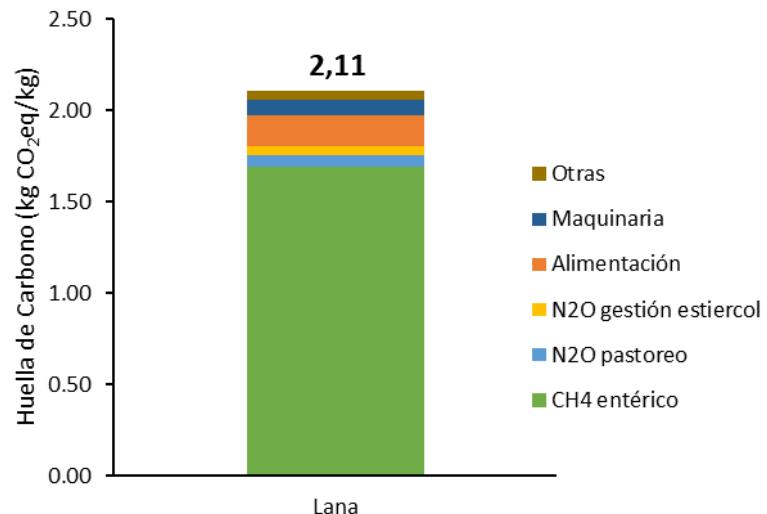
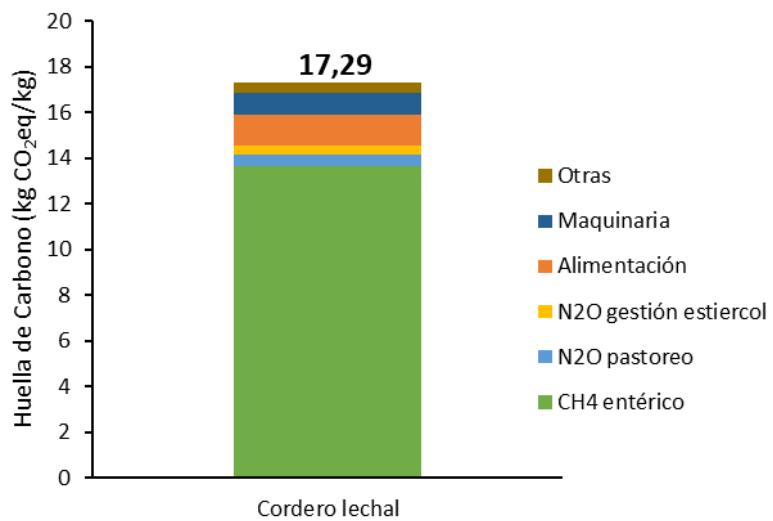
Producción	Características	Unidades
Cordero lechal	Peso medio	Kg/cordero
	Edad media	días de vida



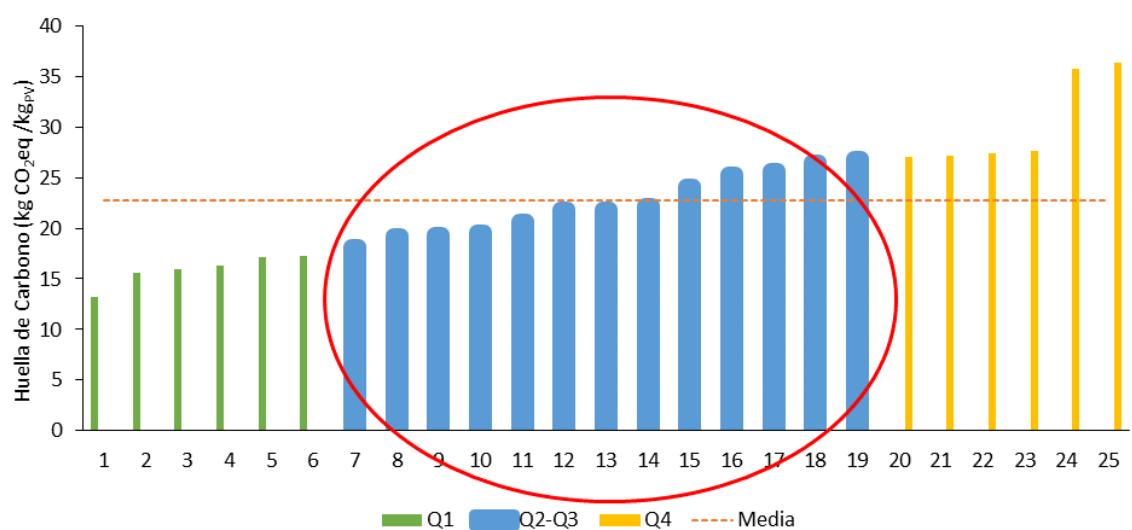
## Ganadería 6

Características	Unidades	
Superficie	ha	200-300
Carga ganadera	UGM/ha	0,4-0,5
Reproductoras	n de animales	>900
Cuartil ordenadas por HdC		Q1

Producción	Características	Unidades	
Cordero lechal	Peso medio	Kg/cordero	16,5
	Edad media	días de vida	70



## Grupo de granjas con una huella de carbono intermedia

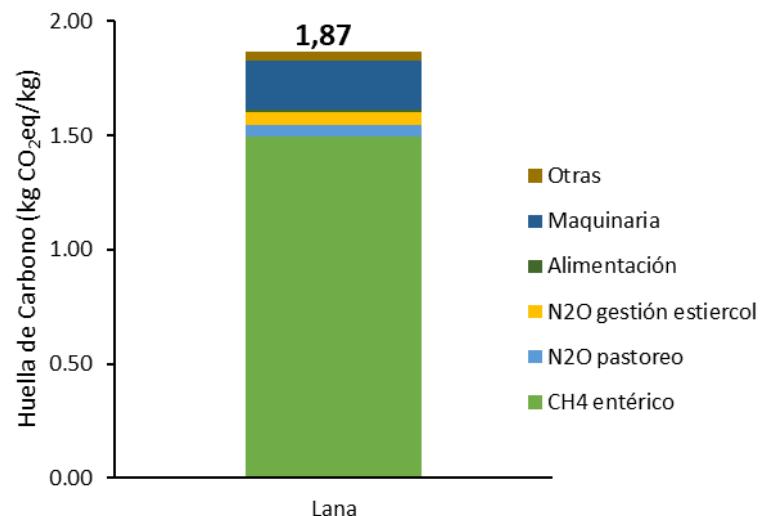
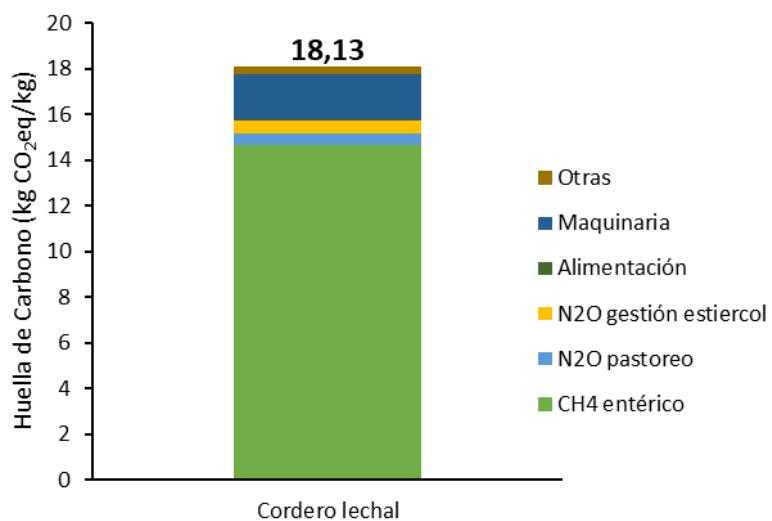




## Ganadería 7

Características	Unidades	
Superficie	ha	>800
Carga ganadera	UGM/ha	<0,2
Reproductoras	n de animales	>900
Cuartil ordenadas por HdC		Q2

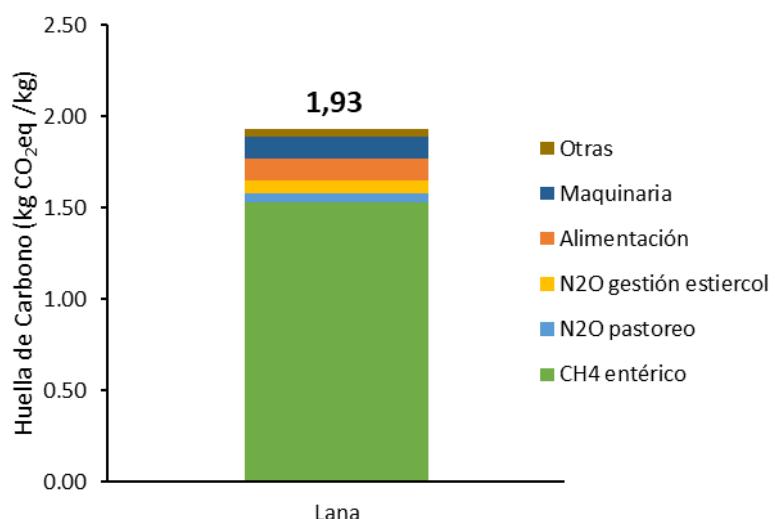
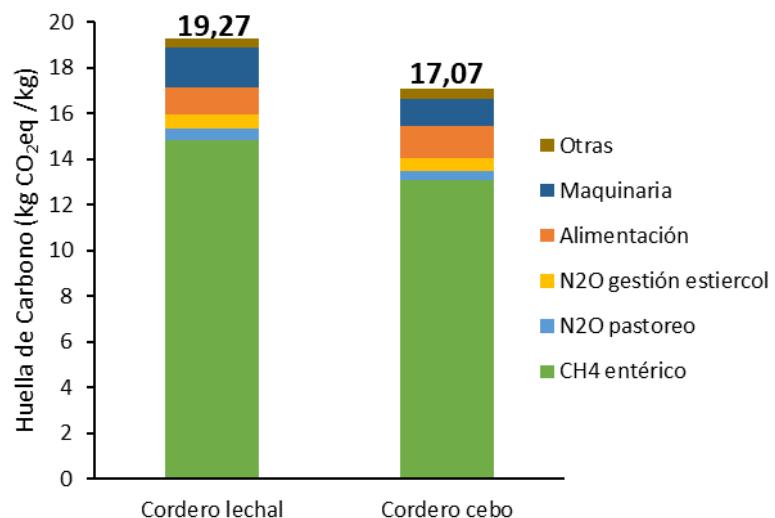
Producción	Características	Unidades	
Cordero lechal	Peso medio	Kg/cordero	16
	Edad media	días de vida	75



## Ganadería 8

Características	Unidades
Superficie	ha
Carga ganadera	UGM/ha
Reproductoras	n de animales
Cuartil ordenadas por HdC	Q2

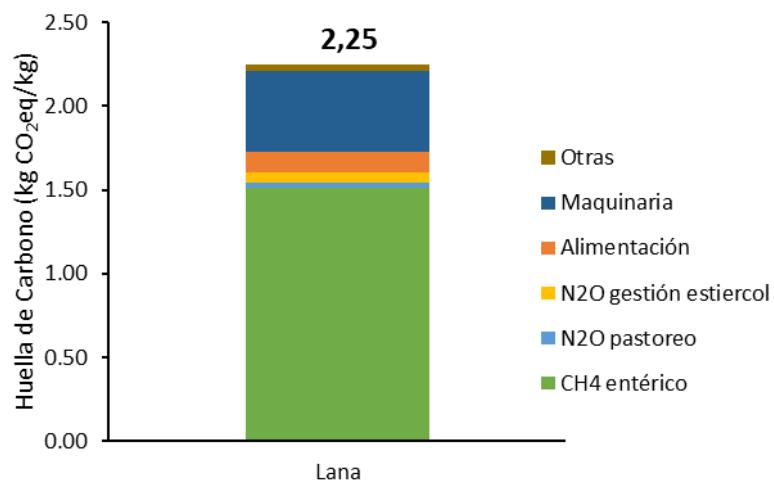
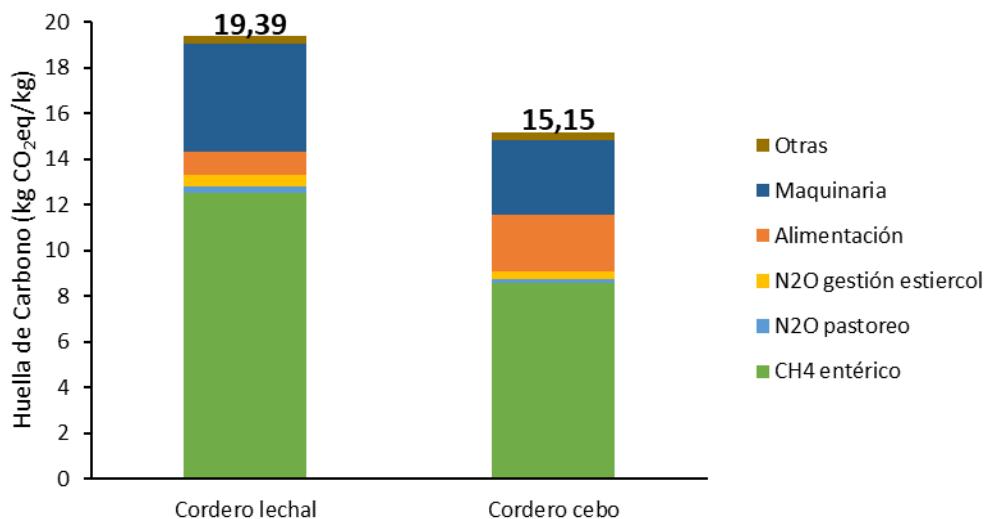
Producción	Características	Unidades	
Cordero lechal	Peso medio	Kg/cordero	12
	Edad media	días de vida	70
Cordero cebado	Peso medio	Kg/cordero	14
	Edad media	meses de vida	3



## Ganadería 9

Características	Unidades
Superficie	ha
Carga ganadera	UGM/ha
Reproductoras	n de animales
Cuartil ordenadas por HdC	Q2

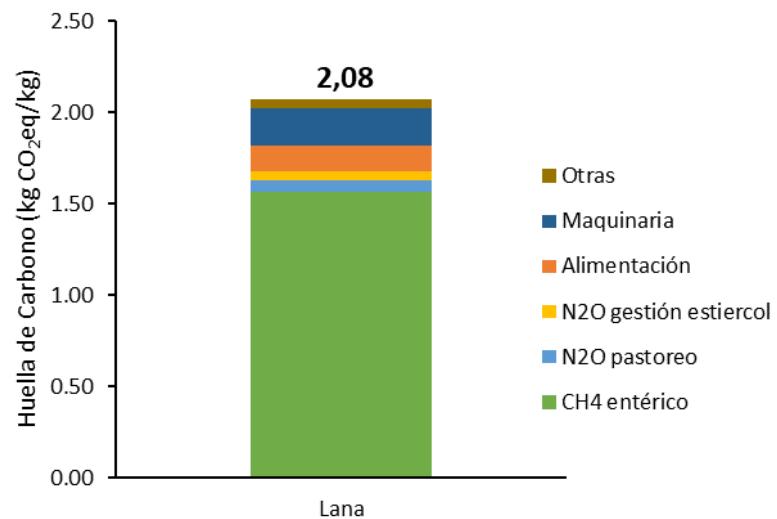
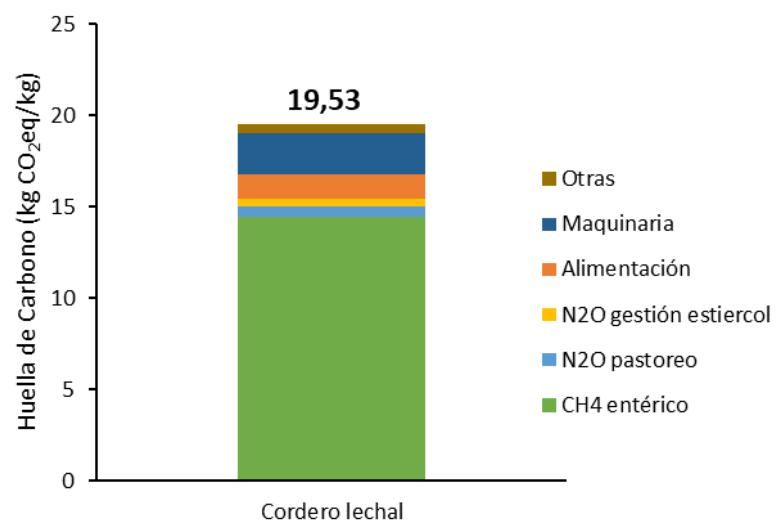
Producción	Características	Unidades
Cordero lechal	Peso medio	Kg/cordero
	Edad media	días de vida
Cordero cebado	Peso medio	Kg/cordero
	Edad media	meses de vida



## Ganadería 10

Características	Unidades
Superficie	ha
Carga ganadera	UGM/ha
Reproductoras	n de animales
Cuartil ordenadas por HdC	Q2

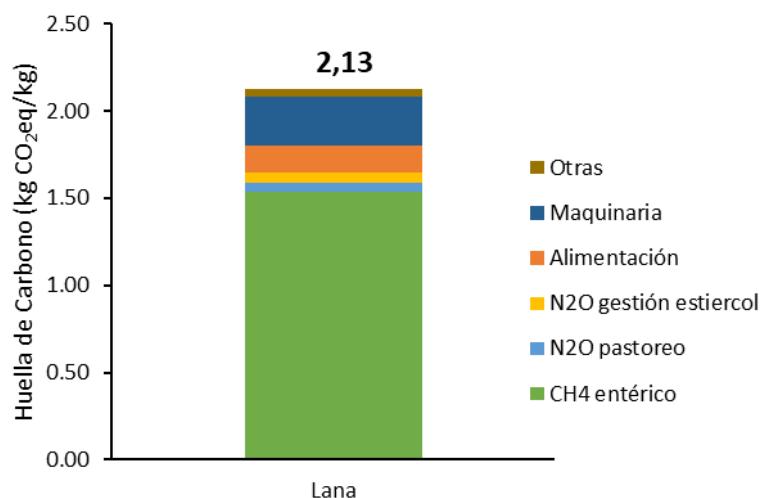
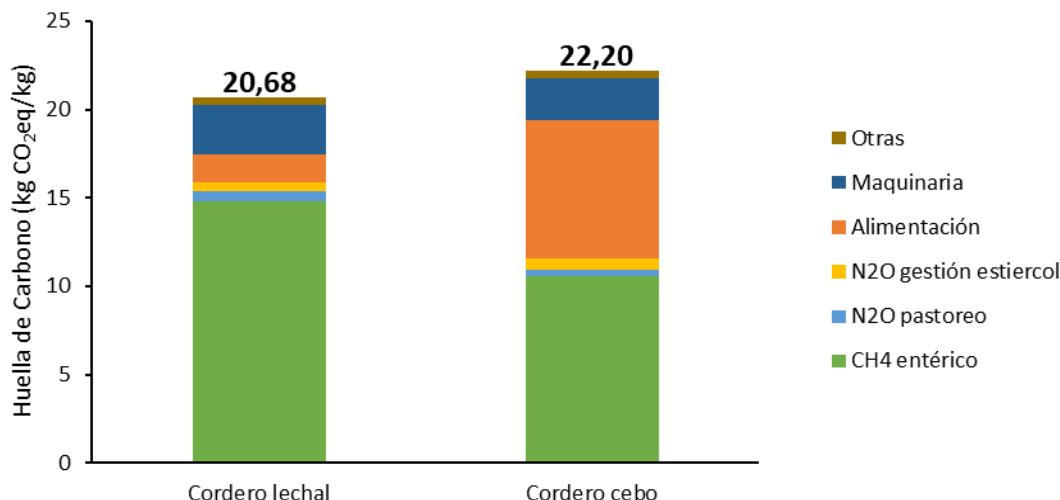
Producción	Características	Unidades
Cordero lechal	Peso medio	Kg/cordero
	Edad media	días de vida



## Ganadería 11

Características	Unidades
Superficie	ha >800
Carga ganadera	UGM/ha <0,2
Reproductoras	n de animales 500-700
Cuartil ordenadas por HdC	Q2

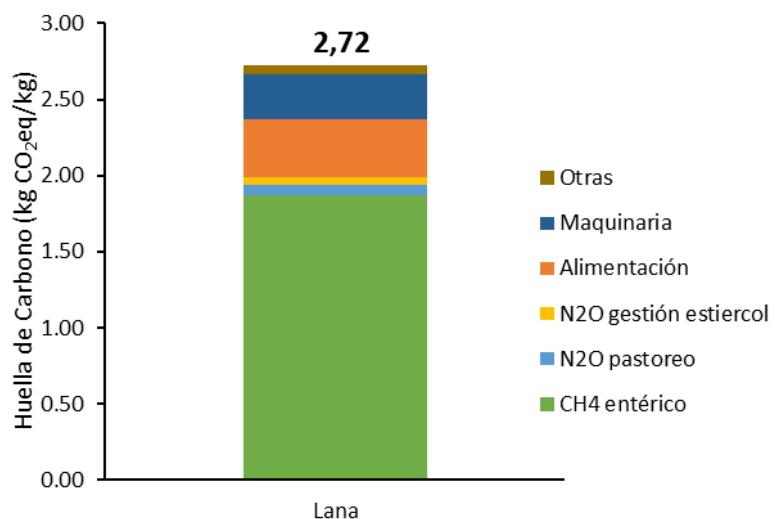
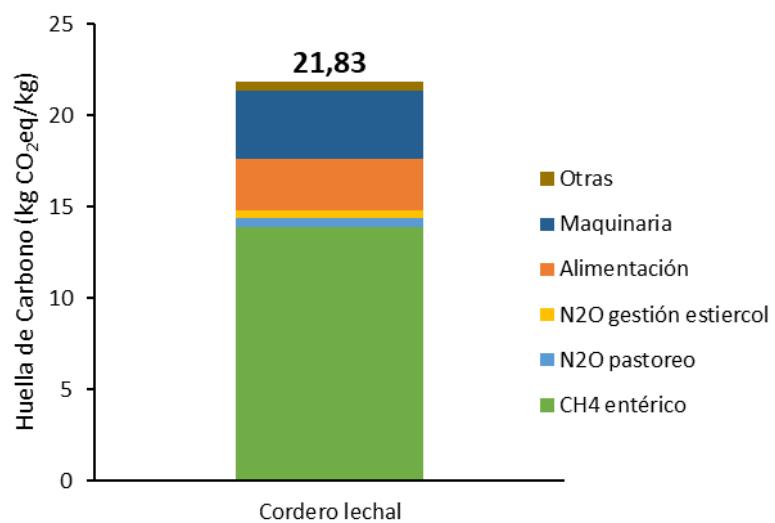
Producción	Características	Unidades
Cordero lechal	Peso medio	Kg/cordero 17
	Edad media	días de vida 75
Cordero cebado	Peso medio	Kg/cordero 25
	Edad media	meses de vida 4



## Ganadería 12

Características	Unidades	
Superficie	ha	300-400
Carga ganadera	UGM/ha	0,4-0,5
Reproductoras	n de animales	700-900
Cuartil ordenadas por HdC		Q2

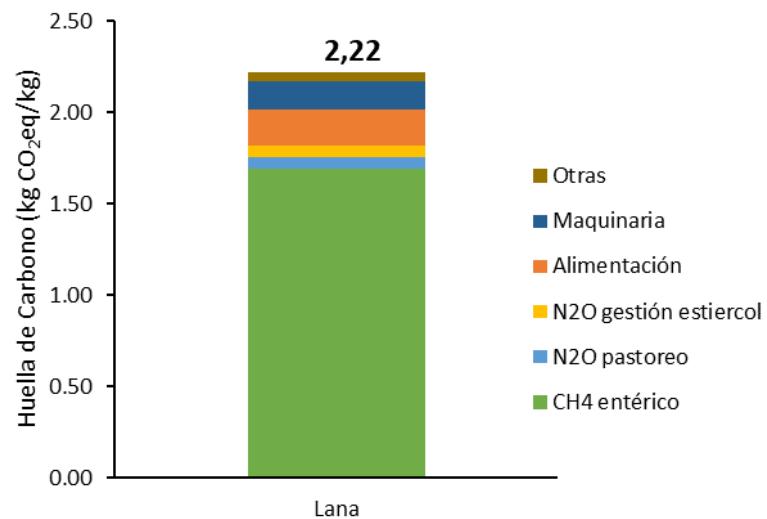
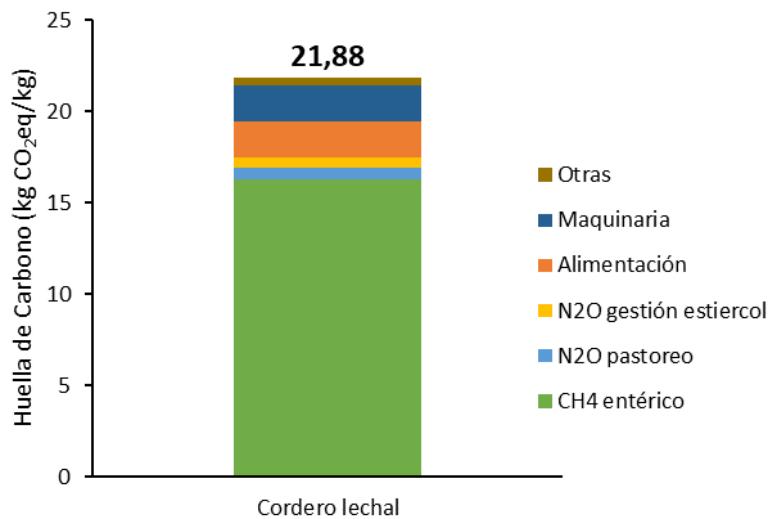
Producción	Características	Unidades	
Cordero lechal	Peso medio	Kg/cordero	12
	Edad media	días de vida	60



## Ganadería 13

Características	Unidades	
Superficie	ha	700-800
Carga ganadera	UGM/ha	0,3-0,4
Reproductoras	n de animales	>900
Cuartil ordenadas por HdC		Q2

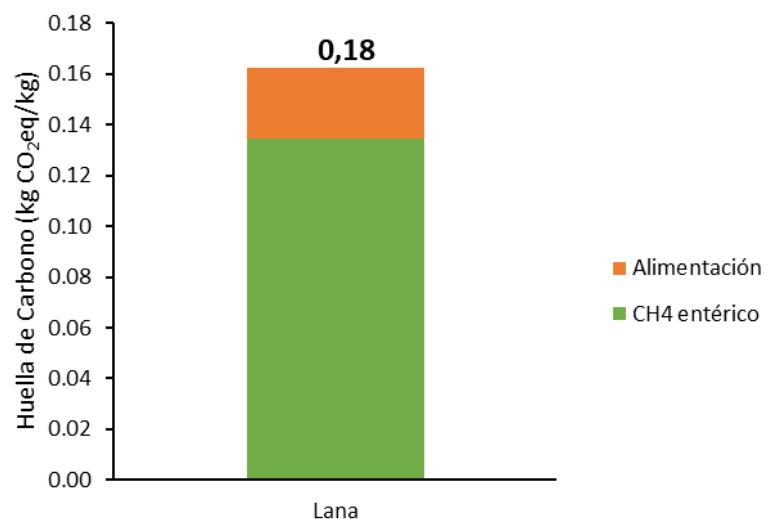
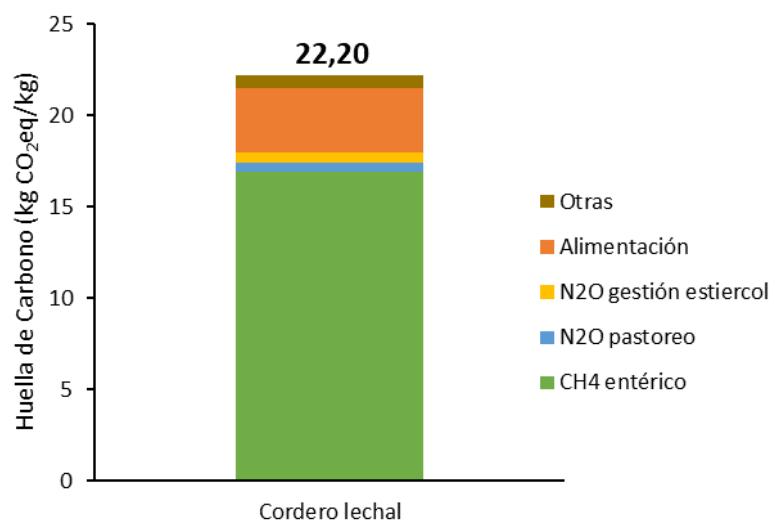
Producción	Características	Unidades	
Cordero lechal	Peso medio	Kg/cordero	12
	Edad media	días de vida	70



## Ganadería 14

Características	Unidades	
Superficie	ha	700-800
Carga ganadera	UGM/ha	0,2-0,3
Reproductoras	n de animales	>900
Cuartil ordenadas por HdC		Q3

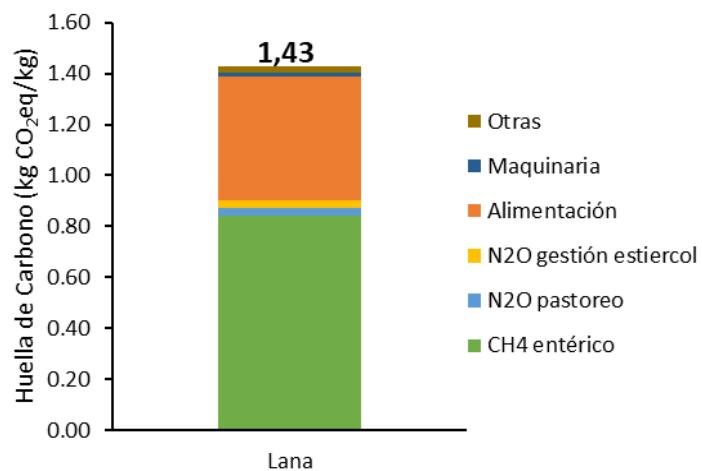
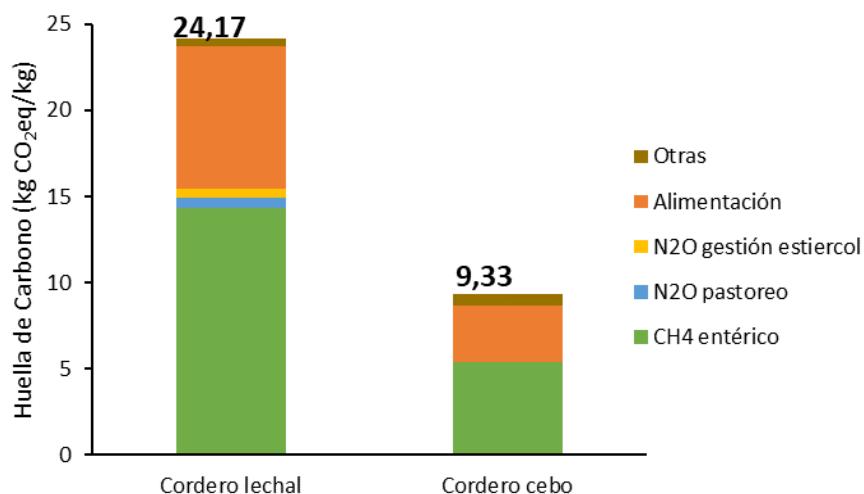
Producción	Características	Unidades	
Cordero lechal	Peso medio	Kg/cordero	13
	Edad media	días de vida	45



## Ganadería 15

Características	Unidades	
Superficie	ha	>800
Carga ganadera	UGM/ha	0,2-0,3
Reproductoras	n de animales	>900
Cuartil ordenadas por HdC		Q3

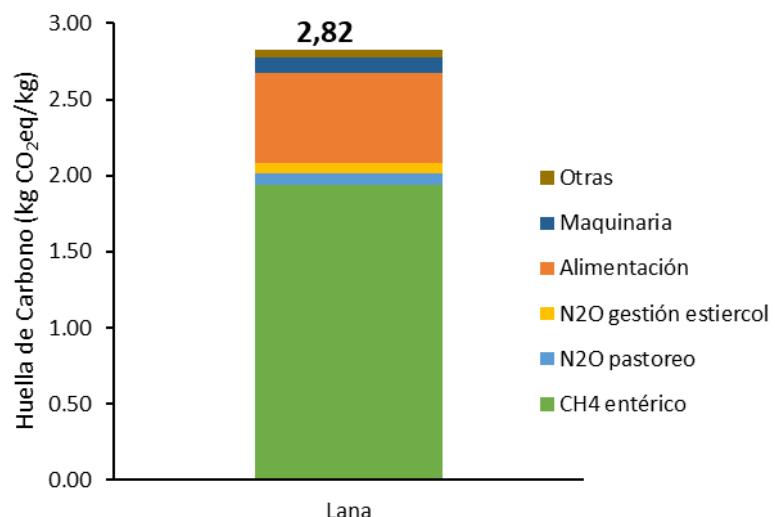
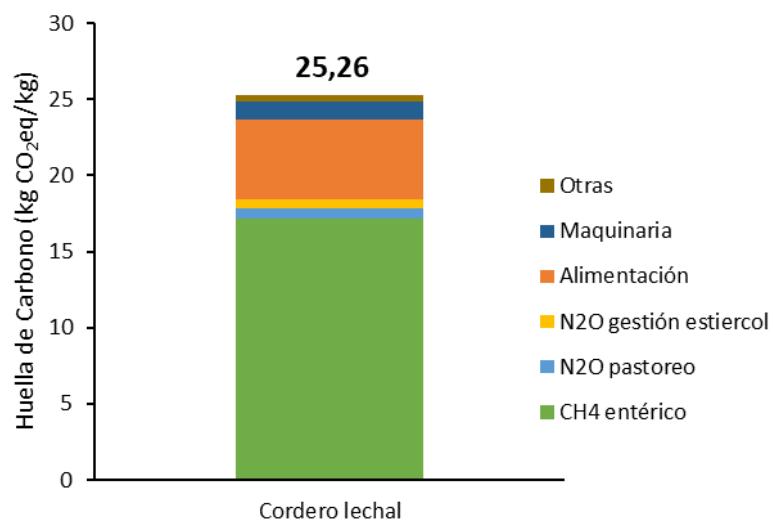
Producción	Características	Unidades	
Cordero lechal	Peso medio	Kg/cordero	9
	Edad media	días de vida	75
Cordero cebado	Peso medio	Kg/cordero	43
	Edad media	meses de vida	6



## Ganadería 16

Características	Unidades	
Superficie	ha	500-600
Carga ganadera	UGM/ha	0,2-0,3
Reproductoras	n de animales	700-900
Cuartil ordenadas por HdC		Q3

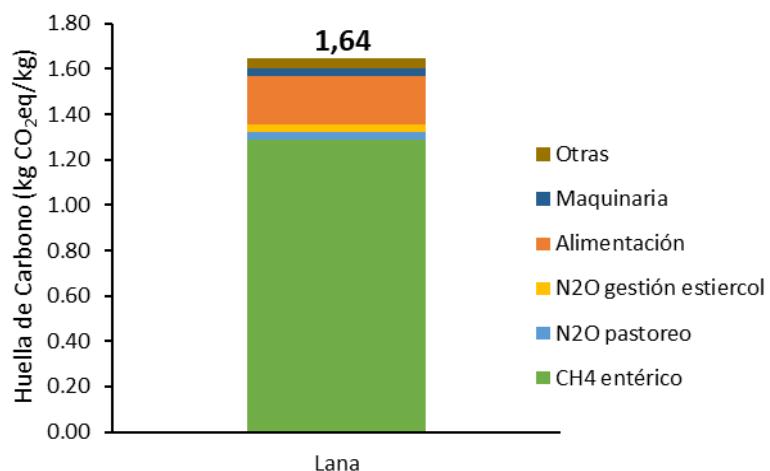
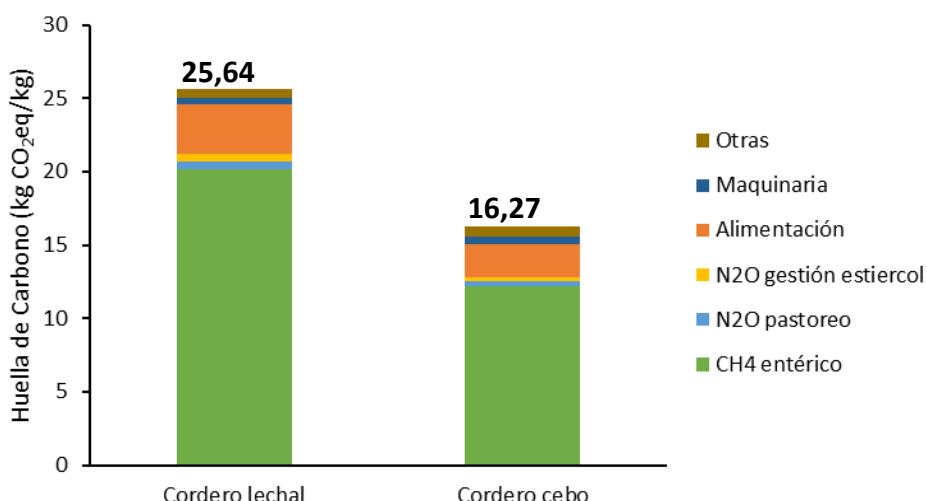
Producción	Características	Unidades	
Cordero lechal	Peso medio	Kg/cordero	13
	Edad media	días de vida	60



## Ganadería 17

Características	Unidades	
Superficie	ha	400-500
Carga ganadera	UGM/ha	<0,2
Reproductoras	n de animales	300-500
Cuartil ordenadas por HdC		Q3

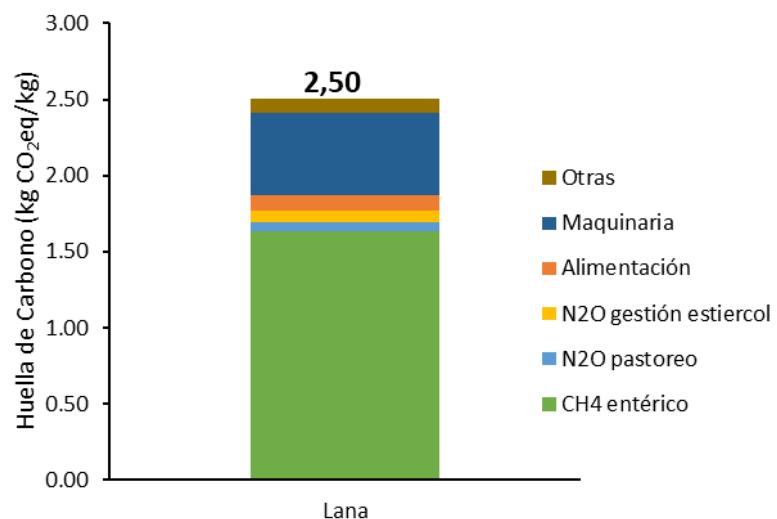
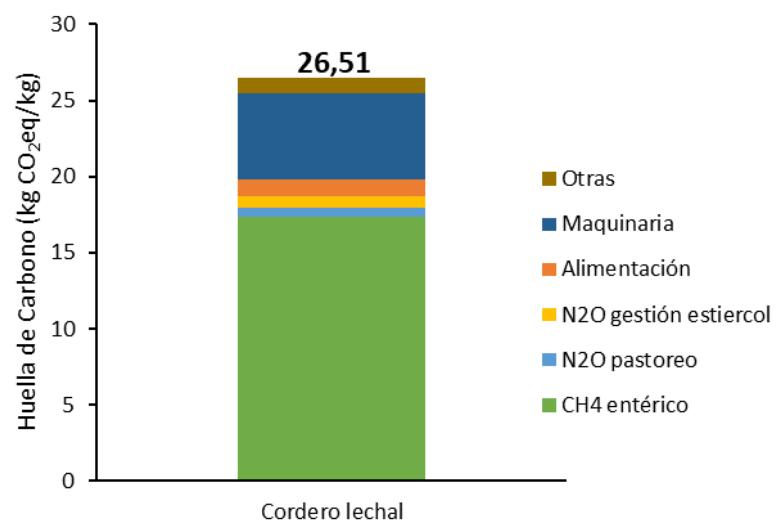
Producción	Características	Unidades	
Cordero lechal	Peso medio	Kg/cordero	15
	Edad media	días de vida	70
Cordero cebado	Peso medio	Kg/cordero	30
	Edad media	meses de vida	7



## Ganadería 18

Características	Unidades
Superficie	ha
Carga ganadera	UGM/ha
Reproductoras	n de animales
Cuartil ordenadas por HdC	Q3

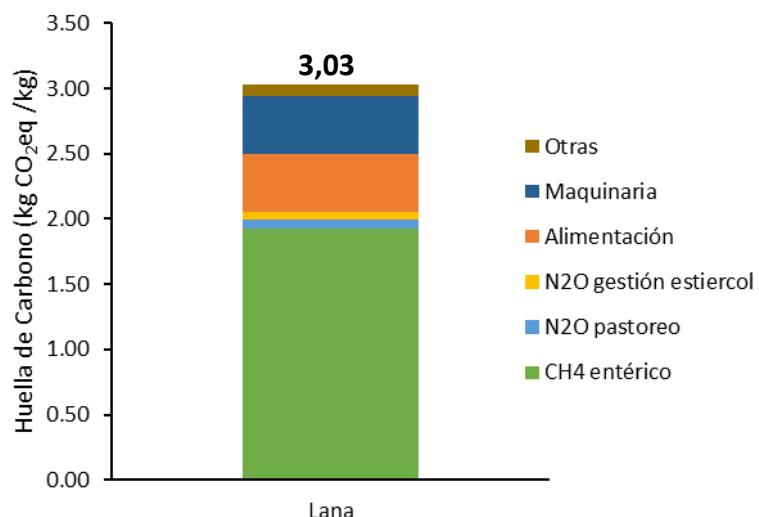
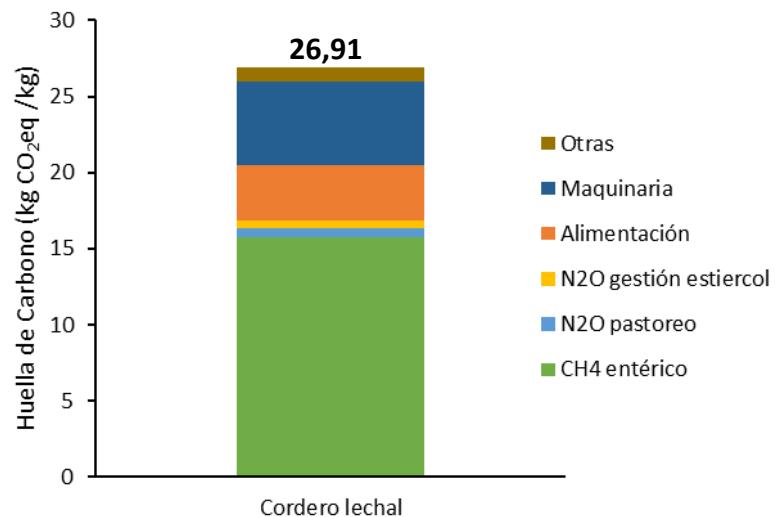
Producción	Características	Unidades	
Cordero lechal	Peso medio	Kg/cordero	13,5
	Edad media	días de vida	75



## Ganadería 19

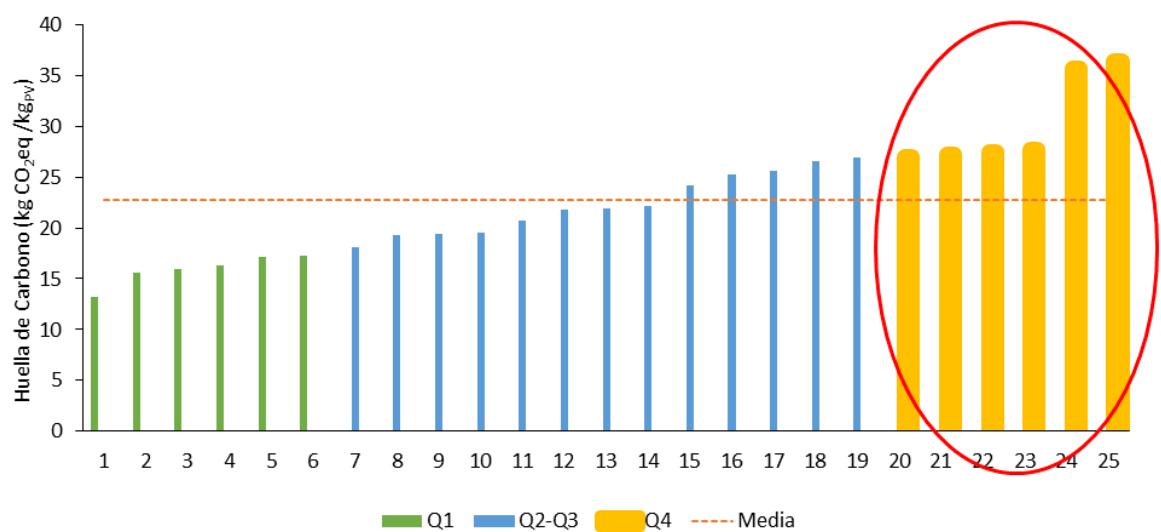
Características	Unidades	
Superficie	ha	500-600
Carga ganadera	UGM/ha	0.2-0.3
Reproductoras	n de animales	700-900
Cuartil ordenadas por HdC		Q3

Producción	Características	Unidades	
Cordero lechal	Peso medio	Kg/cordero	15
	Edad media	días de vida	75





## Grupo de granjas con mayor huella de carbono

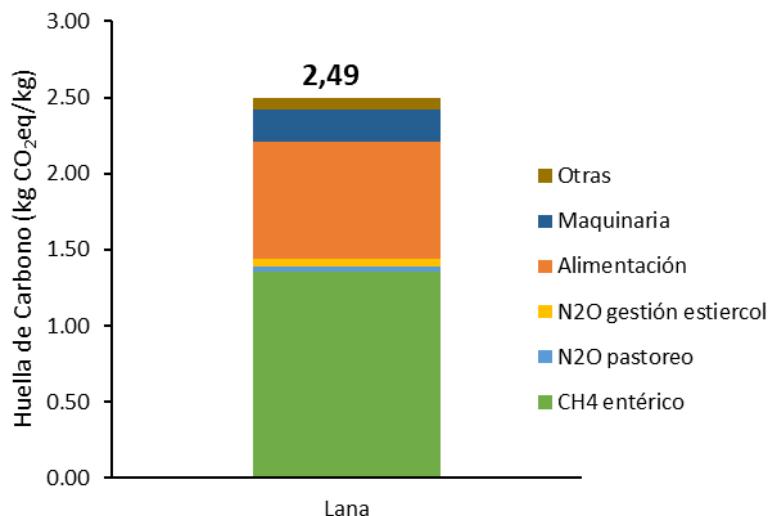
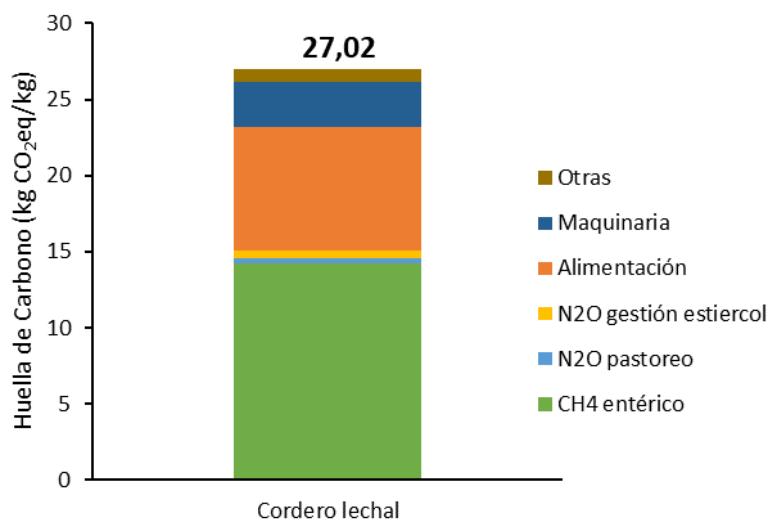




## Ganadería 20

Características	Unidades
Superficie	ha >800
Carga ganadera	UGM/ha 0,3-0,4
Reproductoras	n de animales >900
Cuartil ordenadas por HdC	Q4

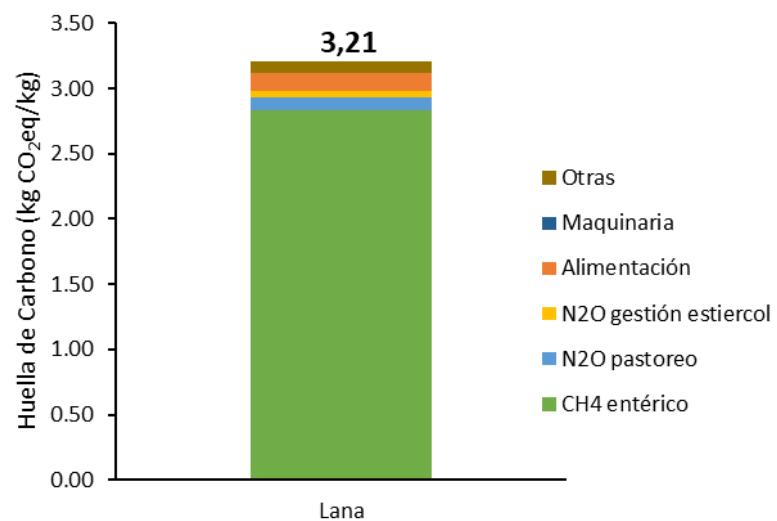
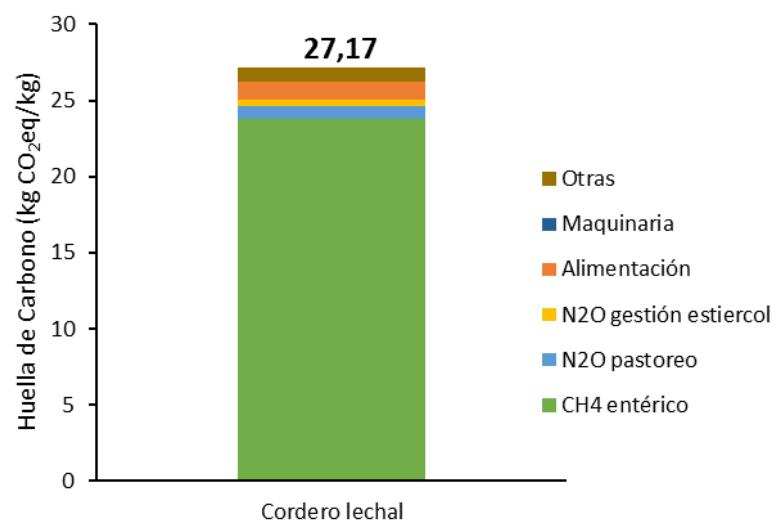
Producción	Características	Unidades
Cordero lechal	Peso medio	Kg/cordero 12
	Edad media	días de vida 60



## Ganadería 21

Características	Unidades
Superficie	ha
Carga ganadera	UGM/ha
Reproductoras	n de animales
Cuartil ordenadas por HdC	Q4

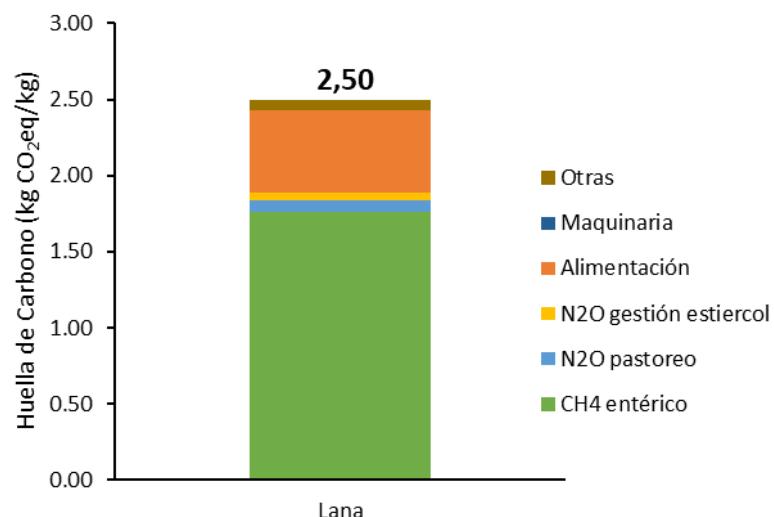
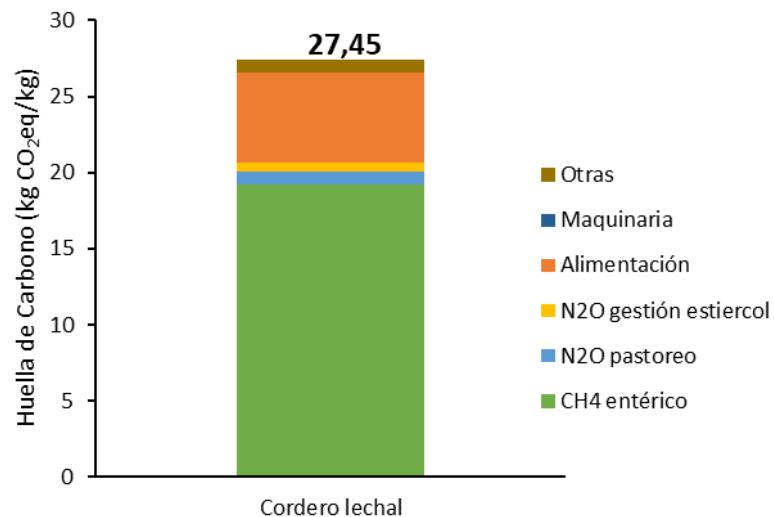
Producción	Características	Unidades
Cordero lechal	Peso medio	Kg/cordero
	Edad media	días de vida



## Ganadería 22

Características	Unidades	
Superficie	ha	400-500
Carga ganadera	UGM/ha	0,3-0,4
Reproductoras	n de animales	>900
Cuartil ordenadas por HdC		Q4

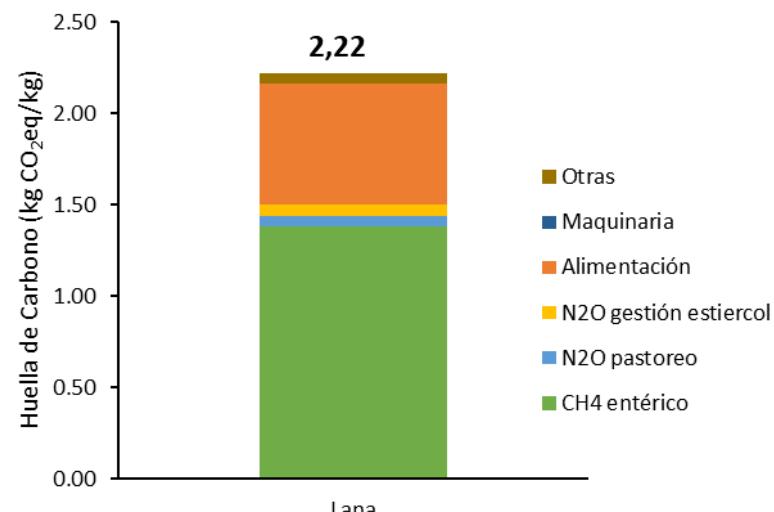
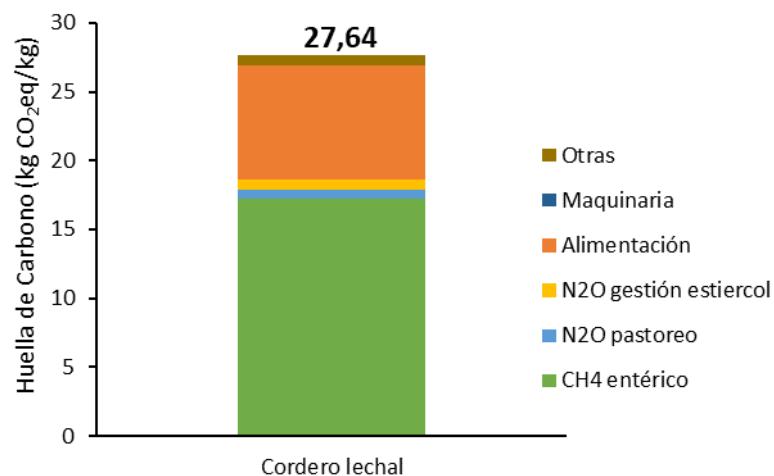
Producción	Características	Unidades	
Cordero lechal	Peso medio	Kg/cordero	12
	Edad media	días de vida	90



## Ganadería 23

Características	Unidades
Superficie	ha
Carga ganadera	UGM/ha
Reproductoras	n de animales
Cuartil ordenadas por HdC	Q4

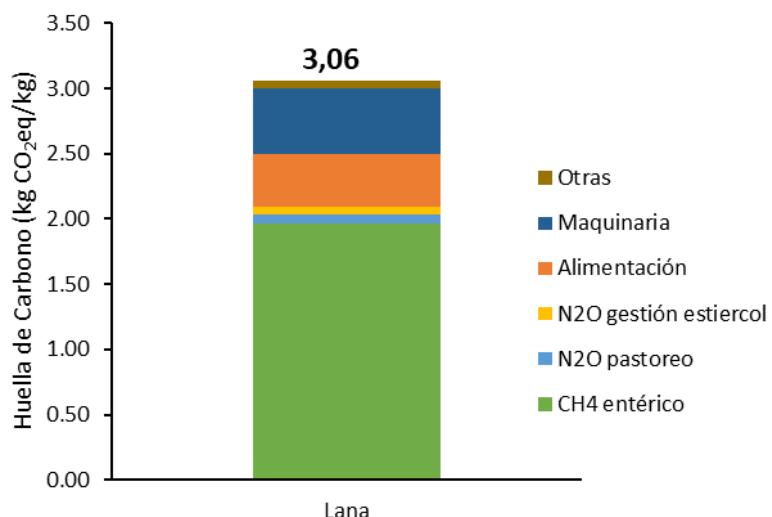
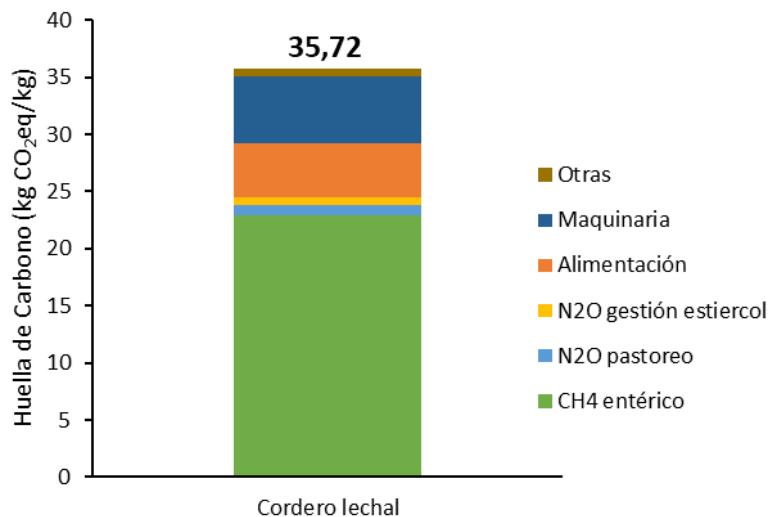
Producción	Características	Unidades	
Cordero lechal	Peso medio	Kg/cordero	13,5
	Edad media	días de vida	75
Cordero cebado	Peso medio	Kg/cordero	
	Edad media	meses de vida	



## Ganadería 24

Características	Unidades	
Superficie	ha	200-300
Carga ganadera	UGM/ha	>0,6
Reproductoras	n de animales	700-900
Cuartil ordenadas por HdC		Q4

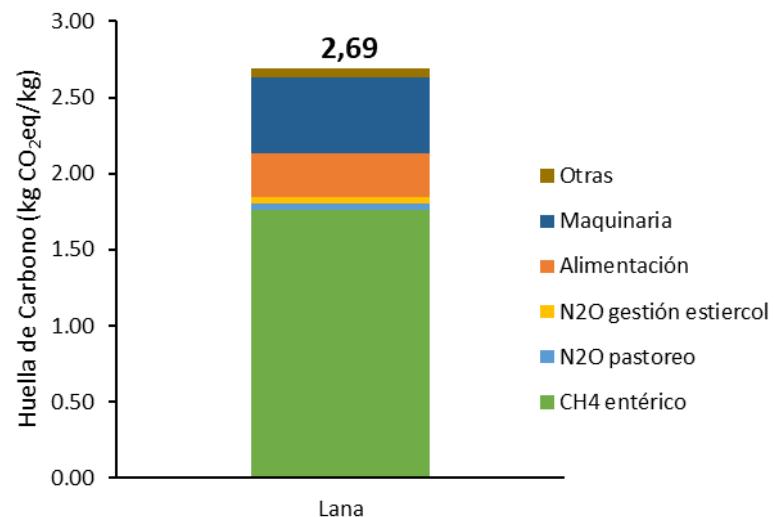
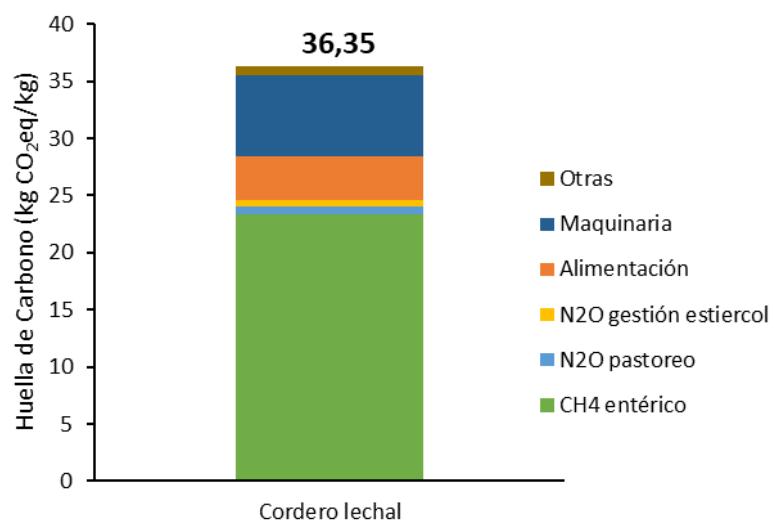
Producción	Características	Unidades	
Cordero lechal	Peso medio	Kg/cordero	15
	Edad media	días de vida	75



## Ganadería 25

Características	Unidades	
Superficie	ha	200-300
Carga ganadera	UGM/ha	0,3-0,4
Reproductoras	n de animales	700-900
Cuartil ordenadas por HdC		Q4

Producción	Características	Unidades	
Cordero lechal	Peso medio	Kg/cordero	13
	Edad media	días de vida	75



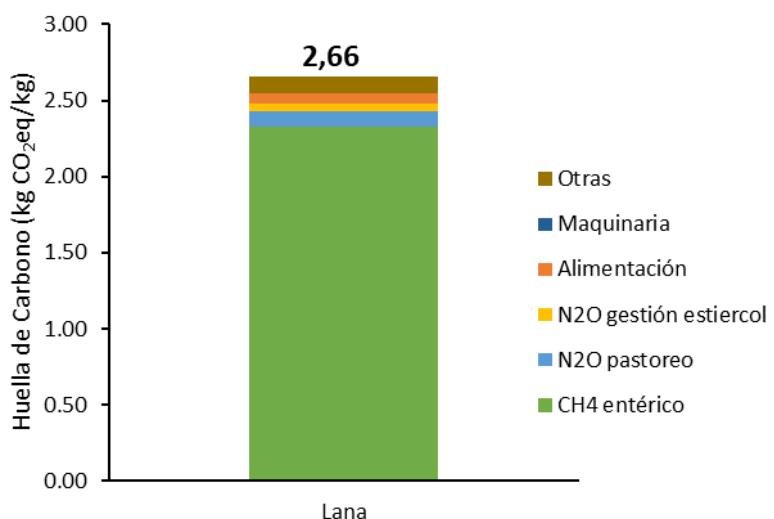
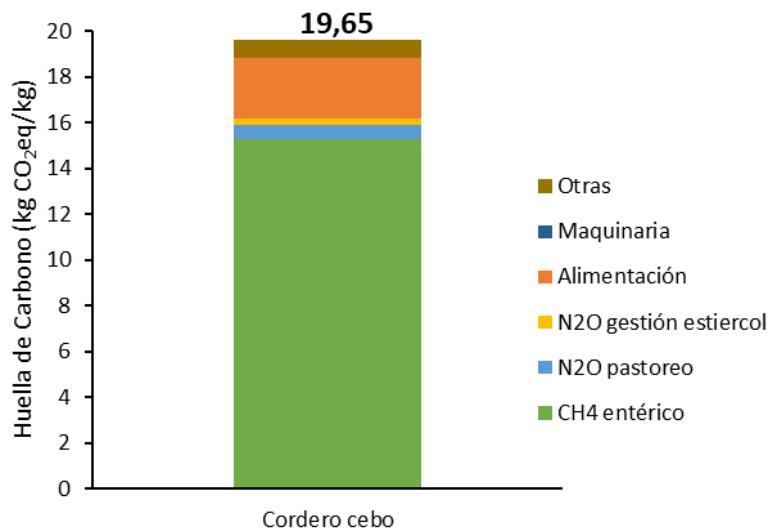
Grupo de granjas que solo producen  
corderos de cebo



## Ganadería 26

Características	Unidades
Superficie	ha
Carga ganadera	UGM/ha
Reproductoras	n de animales

Producción	Características	Unidades
Cordero cebado	Peso medio	Kg/cordero
	Edad media	meses de vida



## Ganadería 27

Características	Unidades
Superficie	ha
Carga ganadera	UGM/ha
Reproductoras	n de animales
	<300

Producción	Características	Unidades
Cordero cebado	Peso medio	Kg/cordero
	Edad media	meses de vida

