

## Trabajo Fin de Grado

Mejoras zootécnicas orientadas al suministro y rentabilización de la utilización de corderos de razas lecheras en el mercado cárnico

Zootechnical improvements aimed at the supply and profitabilization of the use of dairy-breed lambs in the meat market

Autor

Jesús Pedro Val Aguasca

Directores

Pablo Martín Ramos  
Francisco Javier García Ramos



*A mi familia*



Deseo expresar mi agradecimiento a:

Al Prof. Francisco Javier García Ramos, por aceptar la tutoría del presente Proyecto Fin de Grado y dirigir su realización. Su ofrecimiento a participar en sus líneas de investigación ha hecho posible la realización del presente TFG.

Al Prof. Pablo Martín Ramos, co-director del Proyecto, que inició mi formación científica. Su permanente apoyo ha significado un estímulo y ayuda en la realización de esta memoria.

A los Profesores Luis Pardos Castillo, Pilar Santolaria Blasco y Jesús Yániz Pérez de Albéniz por sus orientaciones y consejos.

A Dña. Esperanza Horcas, veterinaria responsable de los cebaderos de la cooperativa OVIARAGÓN, por su constante ayuda durante los ensayos en granja y su enseñanza personalizada de los detalles del manejo de los animales en la explotación.

A los trabajadores del cebadero de Ejea de los Caballeros (Albeiro, Jorge y Jesús), por su colaboración durante los meses de ensayos.

A mis compañeros, con los que he compartido la vida diaria, las clases y los apuntes.

A mis amigos, que siempre han estado ahí para todo lo que he necesitado.

A mi familia, que ha soportado el cansancio, los días malos, los nervios, los exámenes, los disgustos y ha celebrado cada paso adelante durante estos años.



## TABLA DE CONTENIDO

Tabla de contenido.....	I
Índice de figuras.....	III
Índice de tablas .....	V
Índice de gráficas.....	VII
Resumen.....	IX
<i>Abstract</i> .....	XI
Objetivos.....	XIII
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1. ANTECEDENTES.....	1
1.2. ESTADO DE CONOCIMIENTO.....	2
1.2.1. <i>Evaluación de parámetros ambientales y de manejo del alojamiento sobre el desarrollo de los corderos durante el periodo de lactancia artificial</i> .....	2
<b>2. MATERIAL Y MÉTODOS .....</b>	<b>11</b>
2.1. INSTALACIONES.....	11
2.2. MANEJO DE LOS ALOJAMIENTOS .....	14
2.2.1. <i>Tipo de suelo</i> .....	14
2.2.2. <i>Sistemas de calefacción</i> .....	16
2.3. EVALUACIÓN DE LOS PARAMETROS AMBIENTALES.....	17
2.3.1. <i>Humedad y temperatura</i> .....	18
2.3.2. <i>Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y amoníaco (NH<sub>3</sub>)</i> .....	19
2.3.3. <i>Alimentación de los corderos</i> .....	22
2.4. ANÁLISIS TERMOGRÁFICO.....	24
2.5. RECOGIDA DE DATOS .....	25
2.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS .....	26
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>27</b>
3.1. EFECTO DEL MANEJO SOBRE LAS CONDICIONES AMBIENTALES.....	27
3.1.1. <i>Corroboración de la bondad del sistema con lámpara IR</i> .....	30
3.2. EFECTO DE LA ÉPOCA DEL AÑO SOBRE LAS CONDICIONES AMBIENTALES.....	31
3.2.1. <i>Comparativa de la influencia relativa del periodo estacional y del tipo de suelo</i> .....	35
3.3. EFECTO CONJUNTO DEL MANEJO, CONDICIONES AMBIENTALES Y LACTOREEMPLAZANTE SOBRE LAS VARIABLES PRODUCTIVAS.....	37

3.3.1. <i>Análisis del efecto del periodo estacional sobre el peso de entrada</i> .....	38
3.3.2. <i>Análisis del efecto del sistema de manejo sobre el peso de entrada</i> .....	39
3.3.3. <i>Análisis del efecto del periodo estacional sobre la GMD</i> .....	40
3.3.4. <i>Análisis del efecto del lactoreemplazante sobre la GMD</i> .....	41
3.3.5. <i>Análisis del efecto del sistema de manejo sobre la GMD</i> .....	41
3.3.6. <i>Análisis de bajas respecto al peso de entrada</i> .....	42
3.3.7. <i>Análisis del efecto de la época del año (y lactoreemplazante) sobre las bajas</i> .....	45
3.3.8. <i>Análisis del efecto del sistema de manejo sobre las bajas</i> .....	47
3.4. ANÁLISIS DE LA RELACIÓN PESO DE ENTRADA – SUPERVIVENCIA....	48
3.5. ANÁLISIS ECONÓMICO EN FUNCIÓN DEL PORCENTAJE DE MORTALIDAD .....	51
<b>4. CONCLUSIONES</b> .....	<b>55</b>
<b>5. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>57</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Nave utilizada para el ensayo. Fuente: SigPac.....	11
<b>Figura 2.</b>	Situación inicial de la nave de ensayo.....	12
<b>Figura 3.</b>	Nave acoplada con el suelo de slat.....	12
<b>Figura 4.</b>	Esquema en planta de la nave de ensayo (cotas en m).....	13
<b>Figura 5.</b>	Slat plástico catálogo comercial Rotecna. Wean to finish. Dimensiones: 600 x 500 mm.....	14
<b>Figura 6.</b>	Diseño Sistema de poleas para la limpieza de las deyecciones.....	15
<b>Figura 7.</b>	Slat con lámparas infrarrojas y con placas calefactoras.....	15
<b>Figura 8.</b>	Paja con lámpara infrarroja.....	16
<b>Figura 9.</b>	Lámpara infrarroja tipo de las del ensayo.....	16
<b>Figura 10.</b>	Placas calefactadas eléctricas. Catálogo comercial Rotecna. 1200x500 mm....	17
<b>Figura 11.</b>	Distribución de los sensores interiores y exteriores durante el ensayo....	18
<b>Figura 12.</b>	Software Hoboware Pro y Puerto USB óptico. Sonda de temperatura y humedad (Hobo Pro v2),.....	19
<b>Figura 13.</b>	Módulo de gases Dräger PIR 7200.....	20
<b>Figura 14.</b>	Sensor Dräger Sensor NH3LC_68 09680 (izq.); Modulo Dräger Polytron 7000 (dcha.).....	21
<b>Figura 15.</b>	Unidad de Control Dräger QuadGard.....	21
<b>Figura 16.</b>	Datalogger Madgetech OctProcess.....	22
<b>Figura 17.</b>	Nodrizas amamantadora automática (dcha.); Corderos alimentándose mediante las tetinas (izqda.).....	23
<b>Figura 18.</b>	Comederos utilizados para la harina.....	23
<b>Figura 19.</b>	Cámara de infrarrojos Fluke Ti200.....	24
<b>Figura 20.</b>	Imágenes obtenidas con la cama Fluke Ti200 para slat y paja.....	31
<b>Figura 21.</b>	Evolución temporal de la temperatura media exterior (en azul) y de la temperatura media interior para los tres sistemas de manejo (slat + placa en verde, slat + lámpara IR en rojo y paja + lámpara IR en morado).....	34
<b>Figura 22.</b>	Evolución temporal de la HR media exterior (en azul) y de la HR media interior para los tres sistemas de manejo (slat + placa en verde, slat + lámpara IR en rojo y paja + lámpara IR en morado).....	34

<b>Figura 23.</b>	Evolución temporal de la HR media exterior (en azul) y de la HR media interior para los tres sistemas de manejo (slat + placa en verde, slat + lámpara IR en rojo y paja + lámpara IR en morado).....	35
<b>Figura 24.</b>	Relación pesos de entrada de corderos muertos y vivos. ....	48
<b>Figura 25.</b>	Curva ROC (izquierda); sensibilidad y especificidad (derecha).....	49
<b>Figura 26.</b>	Función de probabilidad de supervivencia del cordero en función del peso de entrada. ....	50
<b>Figura 27.</b>	Costes desglosados por cordero durante la producción. Fuente: OVIARAGON.....	52
<b>Figura 28.</b>	Evolución gráfica precio de compra con % bajas y peso de entrada.....	53
<b>Figura 29.</b>	Representación gráfica beneficio vs precio de venta. ....	54

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	Valores medios y desviación típica de todas las variables analizadas.....	27
<b>Tabla 2.</b>	Resultados del ANOVA para cada variable ambiental en función del sistema de manejo seleccionado. Para el caso slat + lámpara IR no se dispone de datos de concentraciones de gases nocivos. ....	28
<b>Tabla 3.</b>	Valores medios de las Temperaturas obtenidos con la cámara Fluke respecto al sensor HOBO de temperatura.....	31
<b>Tabla 4.</b>	Variabes y nomenclatura utilizada en los análisis estadísticos y descriptivos de las mismas.....	32
<b>Tabla 5.</b>	Resultados del ANOVA para cada variable ambiental en función del periodo de estudio.....	32
<b>Tabla 6.</b>	Variabes y nomenclatura utilizada en los análisis estadísticos y descriptivos de las mismas.....	37
<b>Tabla 7.</b>	Resultados del ANOVA para los pesos de entrada de los corderos en función del periodo de estudio.....	39
<b>Tabla 8.</b>	Resultados del ANOVA para los pesos de entrada de los corderos en función del tipo de manejo.....	39
<b>Tabla 9.</b>	Resultados del ANOVA para la GMD de los corderos en función del periodo estacional de estudio. ....	40
<b>Tabla 10.</b>	Resultados del ANOVA para la GMD de los corderos en función del tipo de manejo.....	42
<b>Tabla 11.</b>	Resultados del ANOVA para las bajas de los corderos en función del peso de entrada. ....	43
<b>Tabla 12.</b>	Resultados del ANOVA para el periodo de baja de los corderos en función del peso de entrada.....	44
<b>Tabla 13.</b>	Resultados del ANOVA para el porcentaje de bajas respecto del periodo estacional.....	45
<b>Tabla 14.</b>	Resultados del ANOVA para el peso de entrada para los diferentes tipos de manejo en el periodo 1.....	46
<b>Tabla 15.</b>	Resultados del ANOVA para el porcentaje de bajas respecto a los diferentes tipos de manejo.....	47
<b>Tabla 16.</b>	Relación peso de entrada con precio máximo de compra. ....	52
<b>Tabla 17.</b>	Evolución beneficios en función del precio de compra.....	53



## ÍNDICE DE GRÁFICAS

<b>Gráfica 1.</b>	Peso de entrada en cada periodo estacional de estudio. La numeración de los suelos corresponde a 1 (paja + lámpara IR), 2 (slat + placa) y 3 (slat + lámpara IR).....	38
<b>Gráfica 2.</b>	Peso de entrada para cada tipo de suelo (1 (paja + lámpara IR), 2 (slat + placa) y 3 (slat + lámpara IR)). .....	39
<b>Gráfica 3.</b>	GMD media para cada periodo estacional de estudio. La numeración de los suelos corresponde a 1 (paja + lámpara IR), 2 (slat + placa) y 3 (slat + lámpara IR).....	40
<b>Gráfica 4.</b>	GMD media de los corderos para cada tipo de manejo. La numeración de los suelos corresponde a 1 (paja + lámpara IR), 2 (slat + placa) y 3 (slat + lámpara IR).....	41
<b>Gráfica 5.</b>	Relación peso de entrada de los corderos con la baja. (1 muerto, 2 vivo).....	43
<b>Gráfica 6.</b>	Relación peso de entrada de los corderos con el periodo de baja, donde 1 corresponde a los primeros 15 días y 2 corresponde a los días 15-30.....	44
<b>Gráfica 7.</b>	Relación del porcentaje de bajas en función del periodo estacional. La numeración de los suelos corresponde a 1 (paja + lámpara IR), 2 (slat + placa) y 3 (slat + lámpara IR). .....	45
<b>Gráfica 8.</b>	Relación del peso de entrada para cada tipo de suelo durante el periodo 1. La numeración de los suelos corresponde a 1 (paja + lámpara IR), 2 (slat + placa) y 3 (slat + lámpara IR).....	46
<b>Gráfica 9.</b>	Relación del porcentaje de bajas en función del sistema de manejo utilizado. La numeración de los suelos corresponde a 1 (paja + lámpara IR), 2 (slat + placa) y 3 (slat + lámpara IR).....	47



## RESUMEN

Dada la difícil situación que está atravesando el sector ovino de carne, se buscan alternativas para solventar esta situación. Una posible solución sería introducir en el mercado cárnico corderos procedentes de ovejas lecheras. El objetivo general de este Trabajo Fin de Grado ha sido desarrollar un nuevo sistema de explotación de corderos de razas lecheras separados de las madres en el nacimiento que permita reducir la mortalidad de los mismos durante la lactancia artificial y su crecimiento hasta pesos elevados, sin engrasar, para orientarlos hacia la exportación.

Para conseguir los objetivos anteriores, se ha realizado un estudio piloto en un cebadero de Ejea de los Caballeros (Zaragoza) con 763 corderos, divididos en seis periodos, desde septiembre de 2016 a abril de 2017. Se han empleado tres sistemas de manejo diferentes (*slat*+placa calefactora, *slat*+lámpara IR y paja+lámpara IR) y se ha evaluado el efecto de los parámetros ambientales del alojamiento ganadero sobre el desarrollo de los corderos en el periodo de lactación artificial. Lo anterior ha requerido una monitorización en continuo de los parámetros ambientales ( $T^a$ , %HR,  $CO_2$  y  $NH_3$ ) y un seguimiento de los parámetros productivos (peso de entrada de cada cordero, peso al cabo de 15 días y al cabo un mes, ganancia media diaria, y bajas para cada tipo de manejo en cada periodo). También se han ensayado tres tipos de lactoreemplazantes con diferentes composiciones para ver su efecto.

Los resultados obtenidos sugieren que el sistema de manejo basado en suelo de paja con calefacción con lámpara infrarroja es la opción más deseable, tanto desde un punto de vista ambiental como por su influencia positiva en los factores productivos. Del estudio de la relación del peso de entrada con las bajas, se ha obtenido una curva de predicción de las mismas, de utilidad para la determinación del precio máximo a pagar por cordero en función de su peso de entrada que garantice la rentabilidad del proceso.

**Palabras clave:** aptitud lechera; cordero lactante; parámetros ambientales; parámetros productivos; sistemas de calefacción; suelo.



## ***ABSTRACT***

Given the difficult situation that the sheep meat sector is going through, alternatives are being sought to address this situation. A possible solution would be to introduce lambs from dairy sheep into the meat market. The general objective of this Dissertation has been to develop a new system of exploitation of lambs of dairy breeds separated from the mothers at birth that allows to reduce their mortality during artificial lactation and their growth up to high weights, without greasing, with a view to their exportation.

In order to achieve aforementioned objectives, a pilot study has been carried out in Ejea de los Caballeros (Zaragoza, Spain) with 763 lambs, divided into six periods, from September 2016 to April 2017. Three different management systems have been assessed (*slat* + hotplate, *slat* + IR lamp and litter (straw) + IR lamp) and the effect of the environmental parameters of the livestock housing on the development of the lambs in the period of artificial lactation has been evaluated. This has required a continuous monitoring of environmental parameters ( $T^a$ , %RH, CO<sub>2</sub> and NH<sub>3</sub>) and a monitoring of the productive parameters (weight of each lamb upon arrival, weight after 15 days and after a month, average daily gain, and deaths for each type of management system in each period). Three types of milk substitutes with different compositions have also been tested to see their effect.

The results obtained suggest that the management system based on litter with IR lamp heating would be the most desirable option, both from an environmental point of view and due to its positive influence on production factors. From the study of the weight upon arrival *vs.* deaths relationship, a prediction curve has been obtained, which is useful for the determination of the maximum price to be paid per lamb as a function of its weight in order to guarantee the profitability of the process.

**Keywords:** dairy sheep; environmental parameters; floor system; heating system; productive parameters; suckler lamb.



## **OBJETIVOS**

El objetivo principal del presente TFG ha sido desarrollar un nuevo sistema de explotación de corderos de razas lecheras que permita:

1. Reducir la mortalidad de los mismos durante la lactancia artificial.
2. Conseguir un crecimiento hasta pesos elevados sin engrasar.

Adicionalmente, se han planteado objetivos más específicos, como el análisis del efecto de los siguientes parámetros relacionados con las características de alojamiento sobre el desarrollo de los corderos lactantes durante el periodo de lactación artificial sin presencia de las madres:

- Tipo de cama a utilizar en los corrales y manejo de la misma.
- Necesidad de calefacción y sistema de calefacción más adecuado.



## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. ANTECEDENTES

El sector productor de ovino de carne español atraviesa por una crisis profunda que lleva años arrastrándose. Últimamente, la situación ha empeorado debido a diversas causas, como la subida de los precios de los piensos, la falta de pastos y el descenso del precio del cordero. De estas causas, la relativa al descenso del consumo de carne del cordero, observada tanto en España como en el resto de Europa, ha venido siendo determinada por la tendencia de la población a consumir otro tipo de carnes, como pueden ser las de pollo y cerdo principalmente.

Respecto al censo, ha experimentado una disminución, según *EUROSTAT*, en la que se ha pasado de 12708.383 cabezas en 2006 a 8243.484 en 2015. En cuanto al número de explotaciones de ovino, según el *SITRAN*, se ha pasado de 122694 explotaciones en 2007 a 116296 explotaciones en 2016. Estas disminuciones se han visto acompañadas de un descenso de la producción de carne de ovino de 124424 toneladas en 2009 a 116499 toneladas en 2016. Tal descenso de producción de carne de ovino se ha visto agravado por la menor demanda de este tipo de carne en favor de las de origen aviar y porcino. Según un estudio del *MAPAMA* se ha pasado de un consumo per cápita en 2006 de 2.67 kg a 1.62 kg en 2015.

Un estudio del *MAPAMA* ha concluido que el margen neto medio por explotación es negativo, con lo que las subvenciones de la PAC resultan ahora fundamentales para que el sector pueda ser rentable.

La situación desfavorable que experimenta el sector ovino de carne, en la que concurren, como se ha indicado, la continua disminución del censo ovino, la disminución del consumo y la baja rentabilidad de las explotaciones, se ha convertido en un problema de difícil abordaje. Si atendemos a la disminución de la demanda interior de carne de cordero, una propuesta de solución podría ser la exportación de la carne de cordero a países donde la demanda es alta, pero la aplicación de tal decisión de comercialización se ve dificultada por el descenso significativo que ha experimentado la producción de carne de cordero. Otras propuestas, más viables, serían la de introducir en el mercado cárnico la carne de cordero de ovino lechero, fundamentalmente en las épocas donde el consumo de cordero es más alto, y la de favorecer las exportaciones en épocas donde la producción sea superior a la demanda. Tales estrategias pueden contribuir a estabilizar los precios anuales y comenzar a producir otros formatos de cordero a nivel nacional, lo que abriría mercados internacionales que prefieren tipos de formatos distintos al nacional.

En el ovino lechero, la principal fuente de ingresos es la leche, siendo el cordero un subproducto de este sector. En la actividad económica que nos ocupa, las hembras se utilizan para la reposición, mientras que los machos, en la mayor parte de los casos, son objeto de un destete artificial, es decir, se realiza un reemplazo completo del amamantamiento por la cría artificial con lactoreemplazantes, LR, o por alimentos sólidos (Weary *et al.*, 2008). Generalmente, el ganadero vende sus corderos con menos de una semana de vida, factor asociado a un porcentaje elevado de mortalidad (que puede superar el 20% en los primeros días de vida), que hace que el precio de mercado de estos corderos sea bajo y que, subsiguientemente, los ingresos por la venta de estos corderos no sean elevados.

El destete se realiza tempranamente (0-2 días) en los sistemas de producción de leche para utilizar la máxima leche posible para la fabricación de productos lácteos (Napolitano *et al.*, 2008). El destete provoca cambios fisiológicos, como un aumento rápido en la concentración de cortisol (Pérez-León *et al.*, 2006). Es uno de los principales indicadores endocrinos de la respuesta de estrés en ovinos (Bush & Ferguson, 1953) (Möstl & Palme, 2002). En diversos estudios, se ha concluido que el destete artificial en los rumiantes afecta negativamente a la función inmune. (Blecha *et al.*, 1983) (Lynch *et al.*, 2010) (Ungerfeld *et al.*, 2011). También afecta negativamente al crecimiento de los corderos, se ha observado que cuanto menor es la edad al destete más se afecta la tasa de crecimiento, lo que probablemente sea debido a una adaptación más lenta al consumo de leches artificiales o alimentos sólidos (Langlands & Donald, 1975).

El cordero lechal, el característico en las explotaciones de ovino de leche, es aquel que se sacrifica con menos de 45 días de vida, que ha sido alimentado fundamentalmente con leche y que exhibe un peso aproximado de 12 kg en vivo. En diversos estudios, se ha observado que los corderos de razas lecheras tienen un engrasamiento precoz. Si se consiguiera lograr pesos más elevados sin engrasar, la comercialización de estos animales podría enfocarse a otro tipo de mercados internacionales, favoreciendo así las exportaciones.

## **1.2. ESTADO DE CONOCIMIENTO**

### **1.2.1. Evaluación de parámetros ambientales y de manejo del alojamiento sobre el desarrollo de los corderos durante el periodo de lactancia artificial**

Tanto el bienestar animal como los índices productivos están directamente relacionados con las condiciones ambientales de los alojamientos ganaderos. Una de las consecuencias de unas inapropiadas condiciones ambientales es la mortalidad de corderos, que pueden condicionar en las explotaciones su rentabilidad además de suponer un indicativo del bienestar animal (Gonzalez, 2015). Los principales parámetros que condicionan el bienestar animal dentro de un alojamiento de ganado

ovino son la concentración de gases nocivos, la temperatura, la humedad ambiental y la densidad ganadera. (Caroprese, 2008).

Los alojamientos ganaderos de cebo de corderos existentes se centran en el manejo de razas cárnicas donde los corderos se destetan de la madre a los 30-45 días de vida, por lo cual los efectos negativos del estrés se minimizan respecto al destete temprano que se hace en las razas lecheras, en el que los corderos permanecen 2 días como máximo con la madre.

#### 1.2.1.1. *CONCENTRACIÓN DE GASES NOCIVOS*

Como consecuencia de la actividad pecuaria, en el interior de una instalación ganadera se puede llegar a concentrar gran cantidad de amoníaco y de dióxido de carbono. El primero es producido, fundamentalmente, por emisiones de excretas sobre el estiércol y el segundo, por la respiración de los animales y la descomposición del estiércol.

##### Amoníaco

La emisión de amoníaco en las operaciones ganaderas se ha convertido en una seria preocupación debido a sus impactos negativos sobre el medio ambiente, la industria animal, la salud y seguridad de las personas que trabajan en instalaciones ganaderas. (Fowler *et al.*, 2005).

El amoníaco es un gas incoloro de olor fuerte y soluble en agua, que proviene principalmente de la degradación de la urea presente en la orina y en las heces. Esta degradación comienza inmediatamente con la presencia de aire. Los factores que regulan la volatilización del amoníaco son: el manejo del estiércol, la temperatura ambiente, la velocidad del viento, la composición y el pH del estiércol. (Ni, 1999) (Hristov *et al.*, 2010). Al ser más ligero que el aire, se acumula en las zonas altas. (García-Ramos *et al.*, 2007).

En alojamientos ovinos con una concentración superior de 34 mg/m<sup>3</sup> de amoníaco, se observan efectos adversos para el bienestar animal, se observó una inflamación pulmonar, disminución de la ingesta de alimento y como consecuencia una disminución en la ganancia de peso corporal. (Phillips *et al.*, 2012). Un límite orientativo en una nave de cebo de corderos es de una concentración máxima de 10-15 ppm. (García-Ramos *et al.*, 2007).

##### Dióxido de carbono

El dióxido de carbono es un gas inodoro y más pesado que el aire por lo que se acumula en las proximidades del suelo. Al igual que el amoníaco, cuando su concentración sobrepasa un cierto nivel, el rendimiento de los animales disminuye, pero no es tan peligroso como el amoníaco. Para el caso del ovino no existen unos límites establecidos de manera categórica, pero para este caso, se puede considerar como límite un contenido en el aire de 3500ppm. (García-Ramos *et al.*, 2007)

### 1.2.1.2. VENTILACIÓN

Ante la situación de restricción de medicamentos en el cebo de corderos, minimizar el estrés en los animales pasa por optimizar su bienestar, y para ello el control de las condiciones ambientales es fundamental (Rodríguez & Fernández, 2015). Teniendo en cuenta que las condiciones climáticas pueden provocar estrés térmico en los corderos de cebo tanto por exceso como por defecto (Lowe *et al.*, 2002). Por lo tanto, la ventilación juega un papel fundamental en el mantenimiento del bienestar animal, afectando a los cambios de temperatura entre la superficie de cuerpo del animal y el entorno, evitando un aumento excesivo de la humedad relativa, y manteniendo unos niveles de gases nocivos y partículas aerotransportadas no perjudiciales en el aire (Sevi, 2005).

El objetivo de la ventilación en granjas es diferente dependiendo de la época del año. En invierno, el principal objetivo de la ventilación es eliminar el exceso de humedad producido por los animales, en cambio, en verano, el objetivo prioritario es extraer el calor generado por el ganado para que la temperatura no aumente. (García-Ramos *et al.*, 2007).

Existen dos tipos de ventilación, la ventilación estática o natural aprovecha la formación de corrientes naturales de aire, bien por diferencias de temperatura, de presión o ambas. Una opción es la ventilación estática horizontal con aberturas en las paredes del edificio para que el aire fluya horizontalmente. Otra opción es la ventilación estática vertical donde el aire caliente y viciado que está en contacto con los animales se hace más ligero y sube a la parte posterior de la nave por donde saldrá por la chimenea, siendo sustituido por otro aire más frío procedente del exterior que suele introducirse en la nave por aberturas situadas en la fachada. Considerando que en España el clima es caluroso, la ventilación estática suele ser insuficiente, por lo que se recurre a la ventilación dinámica. La ventilación dinámica o forzada crea diferencias de presión entre el interior del edificio y exterior mediante la utilización de ventiladores o extractores en determinados puntos del edificio.

En un estudio de Sevi *et al.* (2002), con 36 ovejas de raza comisana, durante 6 semanas en el verano de 2001, se obtuvo unos resultados que muestran que el régimen de ventilación tuvo un impacto moderado en el comportamiento de la oveja, fisiología y rendimiento de producción. Además, este experimento sugiere que la duración de los ciclos de ventilación y la velocidad del aire, junto con la tasa de ventilación, son fundamentales para regímenes de ventilación eficientes.

Los caudales de ventilación necesarios son variables en función de la época del año, limpieza de la explotación y número de animales (García-Ramos *et al.*, 2007). En un estudio de Albenzio *et al.* (2005), un ritmo de ventilación en verano de menos de 40 m<sup>3</sup>/h por cabeza produce respuestas inmunes y endocrinas anormales y aproximadamente un descenso de un 10% en producciones de leche en oveja. Un ritmo de ventilación medio de 66 m<sup>3</sup>/h por oveja, permitía unas condiciones de bienestar y

crecimiento optimas en ovejas lactantes criadas en climas mediterráneos durante el verano. (Koluman & Daskiran, 2011). En el caso de corderos de cebo, en general, estos caudales oscilan entre 10 y 50 m<sup>3</sup>/h por cordero, que coinciden con los resultados obtenidos por (Sevi *et al.*, 2009), que recomienda ritmos de ventilación de 35 m<sup>3</sup>/h por cordero en verano y 20 m<sup>3</sup>/h por cordero en invierno.

#### 1.2.1.3. TEMPERATURA

De las condiciones ambientales comentadas hasta el momento, cabe destacar la temperatura, por su influencia sobre la producción, la ingestión e índice de conversión de los alimentos.

Las ovejas pueden tolerar un cierto grado de escasez de agua y alimento en los veranos, pero con respecto a la temperatura, todavía tiene un efecto considerable en el aumento de peso corporal y en el rendimiento de producción de los animales (Shinde & Sejian, 2013). La zona de confort térmico para ovejas varía de 15 a 30 °C y la temperatura crítica superior está por encima de 35° C (Pereira *et al.*, 2014). Para el caso de corderos de cebo la zona de neutralidad térmica es de 15-20 °C en la primera fase y de 10-18 °C en la segunda fase, mientras que para el cordero lechal varía de 17-20°C (Buxadé, 1998).

La presencia de altas temperaturas en el interior de los alojamientos influye negativamente sobre el crecimiento de los corderos, reducen el apetito y velocidad de crecimiento, incrementándose el consumo total de pienso debido a la producción de elevados ritmos de respiración y estrés térmico. Se ha estudiado los cambios de comportamiento básicos en respuesta a un ambiente con altas temperaturas, las conclusiones que se obtuvieron tuvieron la misma tendencia que lo comentado anteriormente. La alta temperatura ambiente tuvo un efecto significativo sobre el tiempo dedicado a la alimentación, este fue menor, también se observó que los animales pasaban más tiempo en inactividad de pie con altas temperaturas, aunque el tiempo pasado en reposo no difirió significativamente con las altas temperaturas (Kalyan *et al.*, 2017).

Las bajas temperaturas también influyen en la correcta evolución de los corderos, sobre todo en las primeras semanas de vida, ya que estos animales no son capaces de mantener su temperatura corporal frente a bajas temperaturas externas, o tras la ingesta de leche si esta se encuentra fría (Johns, 2006). Buxadé (1998) recomendaba como temperatura optima tras el parto de 25 °C, disminuyéndose hasta los 18°C tras los 5 primeros días. Para evitar estos problemas se pueden utilizar sistemas de calefacción.

La temperatura corporal de los animales es un índice directo del estrés térmico que sufren y puede ser evaluado mediante diferentes sistemas como termómetros de contacto, termómetros infrarrojos o cámaras termográficas (Paim *et al.*, 2013). La termografía infrarroja es una técnica moderna, no invasiva y segura que se utiliza para

medir la temperatura superficial del cuerpo de los animales (Montanholi *et al.*, 2008) que se ha demostrado estar relacionada con varios procesos fisiológicos asociados con la tolerancia al calor (Paim *et al.*, 2013, 2014).

Por otro lado, los niveles de temperatura están correlacionados con la emisión de amoníaco, por lo que el control de esta variable junto a una adecuada ventilación puede garantizar que estos niveles de amoníaco estén por debajo de los valores peligrosos.

El aumento de la temperatura (de 5 a 35 °C) aumentó significativamente las emisiones de NH<sub>3</sub> de ganado lechero depositadas en pisos de hormigón. Los resultados sugieren que las emisiones potenciales de NH<sub>3</sub> de los pisos de hormigón para ganado podrían ser particularmente importantes en áreas climáticas más cálidas, como la región mediterránea (Pereira *et al.*, 2012). A mayor temperatura, la contribución de la actividad microbiana a la volatilización de NH<sub>3</sub> es mucho mayor, por ejemplo, tratamientos de 35 °C están cerca de la temperatura de crecimiento óptima de bacterias, 37°C, y la volatilización de NH<sub>3</sub> será mayor por la exposición al oxígeno (Van der Stelt *et al.*, 2007) (Pereira *et al.*, 2012). El hecho de que al aumentar la temperatura aumenten las emisiones de NH<sub>3</sub>, se justifica principalmente porque la producción de amoníaco a partir de la hidrólisis de urea es más rápida con temperaturas elevadas. (Monteny & Erisman, 1998).

En un ensayo de cinco años de duración en un alojamiento de vacuno lechero ventilado mecánicamente, se observó cómo aumentaba la concentración de amoníaco a temperaturas elevadas, y la importante influencia que ejercen los ritmos de ventilación sobre la emisión de amoníaco. De esta forma, las emisiones fueron menores a menor temperatura. (Samer *et al.*, 2011). En un ensayo realizado en una granja de vacuno lechero con ventilación natural, se obtuvieron conclusiones similares en cuanto a la relación amoníaco-temperatura. (Schrade *et al.*, 2012).

#### 1.2.1.4. HUMEDAD RELATIVA

La humedad relativa (HR), junto con la temperatura, la ventilación y la concentración de gases nocivos es otro factor ambiental para tener en cuenta en las instalaciones de ganado. En distintos ensayos, la humedad relativa y la temperatura se toman como un único parámetro, es el llamado índice de temperatura-humedad (THI). El THI mide el confort térmico y evalúa el riesgo de estrés por calor sobre la producción y la mortalidad. Santolaria *et al.* (2013), en un ensayo con ovejas de raza aragonesa, utilizó los siguientes rangos: THI < 72 puntos, los animales no presentan estrés por calor; (72-78) supone alerta; (78-82) animal en peligro; y un THI > 90 supone riesgo muy grave.

La humedad relativa recomendada en corderos de cebo es variable. Buxadé (1998) recomienda una humedad relativa del 60-80%. García-Ramos, *et al.* (2007) en otro ensayo realizado en los meses de verano, para conseguir una relación óptima,

recomienda unos datos de Humedad relativa que oscilaban entre 65-75%. Paim *et al.* (2014), por su parte, obtuvieron unos resultados de humedad relativa que variaban entre 55 y 88%.

En el ensayo de Bello *et al.* (2016), se analiza la relación entre parámetros ambientales y la mortalidad de corderos en un cebadero comercial en dos épocas del año. En invierno, los datos climáticos registrados durante este periodo no presentaban valores extremos, ya que solo la humedad mínima está por debajo del valor recomendado en corderos (70-80%), siendo la humedad mínima el parámetro ambiental más correlacionado con la mortalidad. Mientras que, en verano, la mortalidad estaba relacionado con la temperatura, punto de rocío y THI.

#### 1.2.1.5. INFLUENCIA DE LA CAMA

La elección de la cama es muy importante, ya que las condiciones de bienestar e higiene están muy relacionadas con las características del suelo de los alojamientos. En alojamientos de cebo de corderos es común utilizar una solera de hormigón. Existen distintas posibilidades para la cama, que son: solera de hormigón sobre la cual añadimos “camas” temporales diferentes, como paja u otros materiales absorbentes, otra opción es un pavimento hormigonado sin cama, en el que las pendientes y regueras colectoras son esenciales para facilitar la evacuación de las deyecciones y aguas residuales. Aunque existe otra opción que es el sistema de listones, de madera, hormigón y plástico (*slat*), que forman un “enrejillado” o “emparrillado” sobre la fosa receptora de las deyecciones. La principal preocupación con respecto a los sistemas de pisos de listones es la pérdida de calor en el piso a bajas temperaturas cuando se está acostado, la comodidad y la falta de capacidad para agregar material de cama. Estudios anteriores han demostrado que tanto las cabras (Andersen & Bøe, 2007) como las ovejas (Bøe *et al.*, 2006) prefieren un área con suelo sólido.

Faarevik *et al.* (2005), en su estudio concluyó, que en ovejas con lana no hay diferencia entre alternativas de piso de listones y los suelos sólidos para descansar a bajas temperaturas, pero cuando las ovejas están esquiladas, se prefirió la madera maciza o la paja sobre el suelo metálico expandido. Además, se prefirió la paja sobre la madera maciza. Posteriormente Jørgensen *et al.*, (2017), realizó un estudio de la preferencia en ovejas esquiladas para diferentes tipos de pisos de listones a bajas temperaturas, los resultados fueron similares al de Faarevik *et al.*, (2005), pero además se concluyó que no hubo efecto en las combinaciones de suelo en los comportamientos generales, pero se observó que las ovejas mostraron preferencias claras para descansar sobre los pisos sólidos en lugar de los suelos de listones. (Bøe *et al.*, 2006) (Jørgensen & Bøe, 2009) coinciden en sus experimentos con suelo sólido en el área de descanso. Curiosamente no hubo diferencias significativas en la preferencia por descansar sobre los diferentes tipos de pisos de listones. (Jørgensen *et al.*, 2017).

También se han introducido suelos de listones hechos de materiales de fibra compuesta y plástico para pequeños rumiantes. Se afirma que estos tipos de pisos

obtienen baja conductividad térmica y, por lo tanto, “mejor” para las ovejas, pero la preferencia real en ovejas no se ha probado (Stefanowska *et al.*, 2002). Posteriormente se ha demostrado que la caída de temperatura total fue similar entre la alternativa de piso de rejilla, y ninguno de ellos difirió significativamente en las pruebas estadísticas realizadas. Por lo tanto, no se confirman las propiedades térmicas favorables declaradas de suelos de listones de plástico y compuestos de fibras (Jørgensen *et al.*, 2017). Los experimentos previos que usaron el mismo método para probar la conductividad térmica desgraciadamente no compararon los mismos tipos de materiales de piso (Boe, 1985). Los resultados actuales sugieren que debe haber otras propiedades del suelo aparte de la conductividad térmica que influya en la preferencia de las ovejas. La prueba de la conductividad térmica demostró, sin lugar a duda, que la temperatura bajo más rápidamente en madera maciza y alfombras de goma, pero agregar una capa delgada de serrín redujo considerablemente la pérdida de calor. Como era de esperar, la pérdida de calor fue menor en la paja y en realidad bastante alta en listones de plástico. Aun así, estas diferencias no fueron suficientes para cambiar el comportamiento de las ovejas (Jørgensen *et al.*, 2017).

Por otra parte, a diferencia de otros animales, los corderos no tienen una zona específica para efectuar las deyecciones por lo que, en un alojamiento ovino, los corderos descansan en la misma zona en la que defecan y orinan. Esto apoya la utilización de materiales absorbentes como la paja en solera (Faerevik *et al.*, 2005). Teixeira *et al.*, (2015) utilizó distintos materiales, como serrín, o cáscaras de arroz. Como resultado obtuvo menor estrés en los animales, pero sin embargo no obtuvo ningún efecto sobre el rendimiento de los corderos.

Muñoz-Osorio *et al.*, (2016) realizó un ensayo en sistemas de engorde de corderos machos en intensivo, donde comparaba un sistema de *slat* de plástico o metal (a una altura de 80 cm del suelo), con un suelo de hormigón. El sistema *slat*, se propuso con el fin de evitar el contacto de los animales con sus deyecciones y proporcionar una ventilación adecuada reduciendo así la humedad en corrales. Los resultados obtenidos, mostraron mayores rendimientos productivos de los corderos que se encontraban en el *slat*. Pese a los resultados obtenidos, se concluyó que estos dependían de muchos factores (alimentación, condiciones climáticas, medidas de prevención y bioseguridad, etc.) aparte del factor económico, muy importante toda vez que la instalación de *slat* requiere una mayor inversión en infraestructuras.

#### 1.2.1.6. DENSIDAD GANADERA

La densidad ganadera es un aspecto importante a tener en cuenta en alojamientos ganaderos. Se considera la densidad óptima aquella que es mayor de 0.4 m<sup>2</sup>/cordero (Capdeville & Tillie, 1995). Estos datos son corroborados en otros estudios, donde recomiendan para corderos de cebo una densidad ganadera de 0.5 m<sup>2</sup>/cabeza.

Se analizó el efecto de la densidad (<0.4 m<sup>2</sup>/cordero y >0.4 m<sup>2</sup>/cordero) sobre la muerte de corderos (%) durante el invierno, de forma que se observaron un 85% más

de bajas en los días en que la densidad de animales fue mayor ( $<0.4 \text{ m}^2/\text{cordero}$ ) con un 0.076porcentaje de bajas frente a 0.041% cuando el cordero disponía de  $>0.4 \text{ m}^2/\text{cordero}$  (Bello *et al.*, 2016). Existen otros estudios, donde se determina la densidad ganadera dependiendo del peso del animal. Para corderos de peso 15-25 Kg se recomienda  $0.6 \text{ m}^2/\text{cabeza}$ , en cambio para corderos de 25-40 Kg se recomienda  $1 \text{ m}^2/\text{cabeza}$ . (Sevi *et al.*, 2009).

Otros ensayos relacionan la densidad ganadera con la cantidad de microorganismos. Sevi *et al.*, (1999) encontraron una disminución significativa en el aire de concentraciones de microorganismos en un alojamiento con densidades de  $2 \text{ m}^2/\text{cabeza}$  y  $1.5-1 \text{ m}^2/\text{cabeza}$ .

En relación de la densidad ganadera con sus efectos sobre los índices productivos, existen estudios contradictorios. Leme *et al.*, (2013) obtuvieron mayores índices de ganancia media diaria para el caso de corrales con 2 corderos frente a corrales con 10 corderos. Van *et al.*, (2007) por el contrario, comparando corrales con uno, dos, tres, cuatro y cinco corderos obtuvieron diferencias significativas en la ingesta de agua, pero no en los índices productivos.

#### 1.2.1.7. ANÁLISIS MEDIANTE TERMOGRAFIA

La termografía es una técnica no destructiva que permite medir, a través de una cámara termográfica, la temperatura de una superficie y localizar con precisión las pérdidas y demandas de energía. Extiende la visión humana al espectro infrarrojo y permite la obtención a distancia de “imágenes térmicas” o termogramas de la superficie de los objetos examinados para su posterior análisis.

Diversos estudios, han demostrado que la termografía infrarroja puede ser una herramienta útil para evaluar el estrés térmico y el bienestar animal (Stewart *et al.*, 2005; Moura *et al.*, 2011) y existen especulaciones sobre su aplicación en el área de salud y producción animal. (Berry *et al.*, 2003).

La termografía infrarroja es una alternativa, ya que es una técnica de visualización moderna, segura y no invasiva del perfil térmico (Knížková *et al.*, 2007)

Esta técnica ha sido estudiada en corderos, con el fin de caracterizar la respuesta de los corderos a las condiciones ambientales y correlacionar las temperaturas obtenidas con los diferentes rasgos fenotípicos de los animales que puedan afectar a su tolerancia térmica. En este estudio, se midió tanto la temperatura de los animales (ovejas con sus corderos) como la temperatura del suelo de los alojamientos. (Paim, *et al.*, 2013). También se ha estudiado en vacas lecheras, el objetivo era determinar si la termografía infrarroja podría usarse en el reconocimiento de vacas lecheras estresadas por calor, así como también determinar la mejor área animal que se puede usar para este reconocimiento. ( dos Santos Daltro *et al.*, 2017).



## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1. INSTALACIONES

La realización del presente proyecto se ha llevado a cabo en una instalación del grupo Oviaragón el cual colabora con la realización de dicho proyecto. Todos los ensayos se han llevado a cabo en una nave (Figura 1) que forma parte de un cebadero de corderos del grupo Oviaragón en el término municipal de Ejea de los Caballeros (Zaragoza).



*Figura 1. Nave utilizada para el ensayo. Fuente: SigPac.*

Para poder llevar a cabo la investigación, fue necesaria la adecuación de las instalaciones, ya que como vemos en la Figura 2 se trata de una nave antigua sin las condiciones necesarias de electricidad y fontanería.



*Figura 2. Situación inicial de la nave de ensayo.*

Posteriormente, se realizó una adecuación de la nave a utilizar para el ensayo, poniéndose a punto tanto la instalación de electricidad y fontanería, como los sistemas de calefacción (sistema por placas sobre el suelo y sistema de lámparas infrarrojas) y el suelo de la misma (*slat* y cama de paja), quedando así la nave perfectamente equipada para poder llevar a cabo la realización del proyecto correctamente durante la duración de este (Figura 3).



*Figura 3. Nave acoplada con el suelo de slat.*

El diseño final de la nave quedó de la siguiente manera:

- Cuadra 42: suelo de *slat* + sistema de placas calefactoras en el *slat*. Superficie: 15.35 m<sup>2</sup>.
- Cuadra 41: suelo de *slat* + sistema de lámparas infrarrojas. Superficie: 15.35 m<sup>2</sup>.

- Cuadra 97: suelo de cama de paja + sistema de lámparas infrarrojas. Superficie: 18.67 m<sup>2</sup>.
- Cuadra 98: suelo de cama de paja + sistema de lámparas infrarrojas. Superficie: 20.15 m<sup>2</sup>.
- Cuadra 99: suelo de cama de paja + sistema de lámparas infrarrojas. Superficie: 29.80 m<sup>2</sup>.

Además de las anteriores cuadras, para realizar los diferentes ensayos realizados en el presente trabajo, se ha habilitado una cuadra auxiliar. Se ha dispuesto de dos amamantadoras, una para las cuadras 41 y 42 y la otra para las cuadras 97,98 y 99. En la Figura 4 se observa el esquema de la nave correctamente acondicionada.

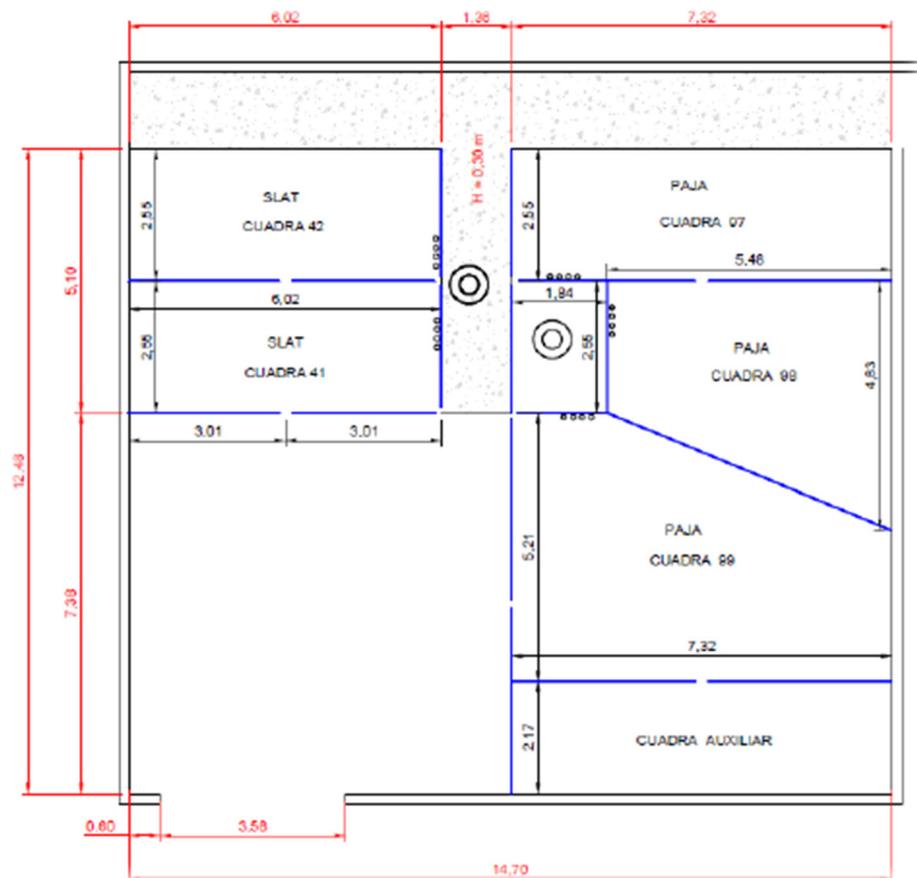


Figura 4. Esquema en planta de la nave de ensayo (cotas en m)

## 2.2. MANEJO DE LOS ALOJAMIENTOS

Los corrales utilizados en los ensayos se diferencian en el tipo de suelo utilizado y en los sistemas de calefacción instalados.

### 2.2.1. Tipo de suelo

#### 2.2.1.1. Slat de plástico

Como se ha comentado anteriormente, los corrales 41 y 42 se han instalado con *slat* de plástico. Se trata de planchas de polipropileno de gran resistencia, durabilidad y flexibilidad, cuyas principales ventajas son la facilidad a la hora de la limpieza y desinfección, y que evitan la transmisión horizontal de enfermedades. Son muy utilizadas en granjas de porcino. En porcino se utilizan diversos formatos en función de la fase en que se encuentre cada animal. De esta forma, hay *slats* preparados para las deyecciones de las madres en las jaulas, para animales de cebo, *slats* ciegos como zona de confort, etc.

Las placas instaladas han sido del tipo “*Wean to finish*”, con rendijas diseñadas para evacuar las deyecciones. Estas rendijas tienen una anchura de 1 cm, que no suponen problema para que las patas de los corderos puedan quedar atrapadas. Las dimensiones de las mismas eran de 600 x 500 mm.

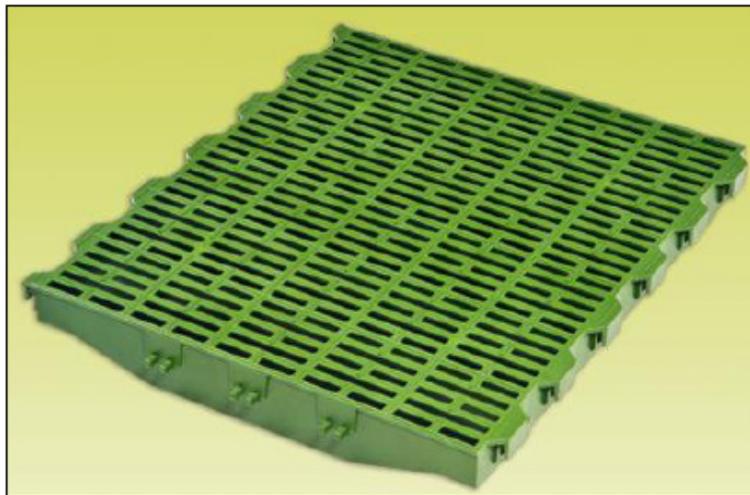
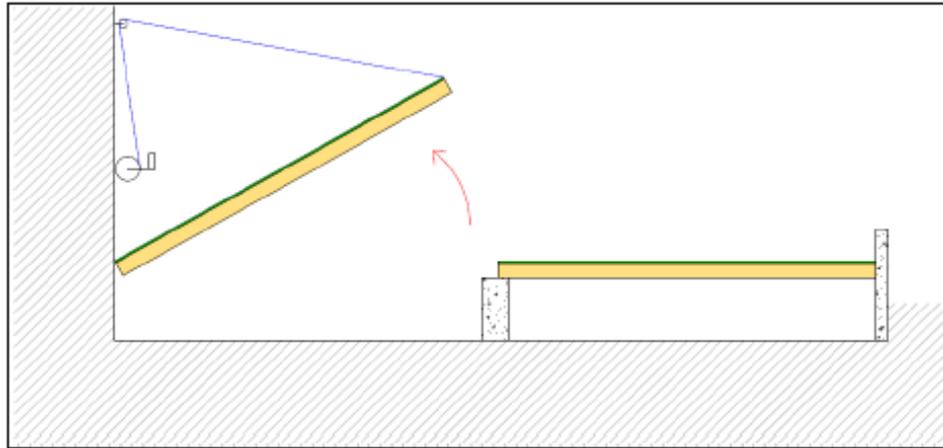


Figura 5. Slat plástico catálogo comercial Rotecna. *Wean to finish*. Dimensiones: 600 x 500 mm

La instalación del *slat* se ha realizado sobre una solera ya construida, la cual no tiene suficiente pendiente para eliminar las deyecciones, por lo que se quedan acumuladas debajo del *slat*. Por ello se decidió añadir paja en la zona inferior del *slat*, con el fin de evitar la acumulación de humedad. Para poder realizar correctamente la limpieza se ha dispuesto de un sistema de poleas, mediante el cual es posible levantar las dos partes del *slat* a efectos de limpieza (Figura 6).



*Figura 6. Diseño Sistema de poleas para la limpieza de las deyecciones.*



*Figura 7. Slat con lámparas infrarrojas y con placas calefactoras.*

#### 2.2.1.2. Cama de paja

En los corrales 97, 98 y 99 se ha utilizado cama de paja, a la que se ha incorporado una arcilla natural (bentonita) para evitar la proliferación de bacterias. La paja ha sido añadida diariamente y la limpieza del corral se ha efectuado aproximadamente cada 15 días.

En todos los corrales se ha dispuesto de vallas de separación de PVC.



*Figura 8. Paja con lámpara infrarroja.*

## **2.2.2. Sistemas de calefacción**

### **2.2.2.1. Lámparas infrarrojas**

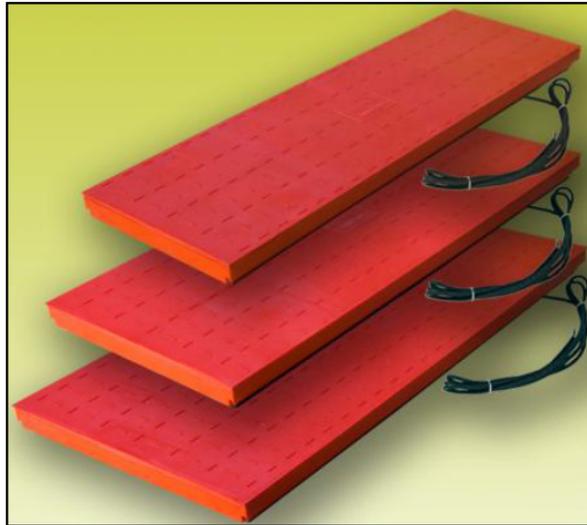
Se han instalado lámparas infrarrojas de 175 W de potencia en los corrales 41, 97, 98 y 99 (Figura 9). Se ha optado por este tipo de calefacción dado que se trata de un sistema cómodo y efectivo que permite mantener la temperatura de la instalación. Previamente a su colocación se realizó un análisis termográfico para determinar la altura de colocación de las lámparas.



*Figura 9. Lámpara infrarroja tipo de las del ensayo.*

### 2.2.2.2. Placas calefactoras

En el corral 42, se decidió colocar unas placas calefactoras en el suelo, con el fin de realizar un ensayo para comprobar el comportamiento del cordero frente a estas placas. Se ha optado por placas de 150 W equipadas con un regulador de potencia HF20C/230V –para variar el calor emitido– e interruptor de 16 A (Figura 10).



*Figura 10. Placas calefactadas eléctricas. Catálogo comercial Rotecna. 1200×500 mm*

## 2.3. EVALUACIÓN DE LOS PARAMETROS AMBIENTALES

En el presente trabajo, se han evaluado 4 parámetros ambientales, dos parámetros independientes de la densidad de animales concentrados en los corrales como son la temperatura y humedad relativa (%HR) y otros dos parámetros ambientales dependientes como son CO<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub>.

Los sensores fueron distribuidos por el interior de la nave por los corrales, pero también se instalaron sensores exteriores para medir la temperatura y humedad relativa del exterior. En la figura 11 se muestra la colocación exacta de los sensores.

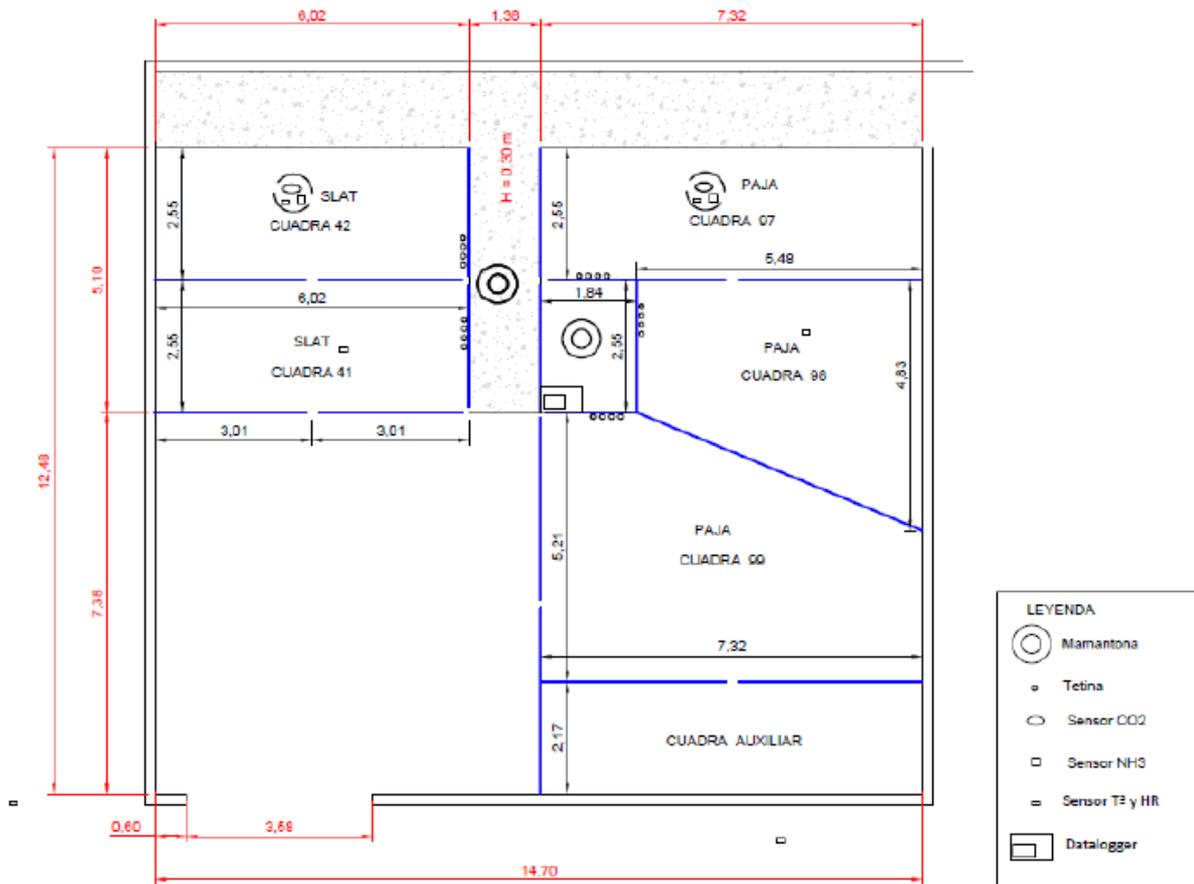


Figura 11. Distribución de los sensores interiores y exteriores durante el ensayo.

### 2.3.1. Humedad y temperatura

Se han medido en continuo ambos parámetros, los datos han sido tomados en un intervalo de 10 minutos. Las sondas estaban situadas en el centro de cada corral, a una altura aproximada de 1.60 m, pero también se colocaron dos sondas en el exterior de la nave para comparar los valores exteriores e interiores. Estos datos, eran recogidos semanalmente y organizados en hojas de cálculo de forma que las medidas tomadas por cada sensor se correlacionaran con su lote y corral correspondiente.

El equipo utilizado para la medición de ambos parámetros fue una sonda *datalogger HOBO Pro v2 Ext Temp/RH*. Se trata de una sonda programable que toma datos de temperatura ambiente y humedad relativa en el intervalo de tiempo deseado por el usuario, se programa y se descargan los datos registrados mediante un puerto USB-óptico a cualquier ordenador que tenga instalado el software *HOBOWare 3.0*.

Características y especificaciones del aparato:

- Puerto USB Óptico para transferir los datos de forma rápida y segura.
- Memoria: 42000 observaciones.
- Intervalo de medida: 1 segundo a 18 horas. Intervalos fijos o múltiples de registro de datos, con hasta 8 intervalos de medida y duraciones definidas por el usuario.
- Vida de la batería: 3 años. Batería de Litio 3.6 Volt 1/2 AA intercambiable.

Temperatura:

- Rango de Medida: -40 a 100°C.
- Precisión:  $\pm 0.2$  °C en el rango de 0 a 50°C.
- Resolución (12-bit): 0.02 °C a 25 °C.

Humedad Relativa:

- Rango de Medida: 0 a 100% HR.
- Precisión:  $\pm 2.5$  porcentaje de 10 a 90%.
- Resolución (12-bit): 0.03% HR.



Figura 12. Software Hoboware Pro y Puerto USB óptico. Sonda de temperatura y humedad (Hobo Pro v2),

### 2.3.2. Dióxido de carbono ( $CO_2$ ) y amoníaco ( $NH_3$ )

La medición del dióxido de carbono se realizó mediante un detector de gases puntual infrarrojo anti deflagrante, que facilita la supervisión continua del dióxido de carbono. Tiene un diseño muy robusto que permite utilizarlo incluso en entornos muy adversos. Cuenta con un sistema óptico de doble compensación muy resistente a polvo,

niebla o insectos. Al no basarse en la recepción de imágenes, la señal de medición no se ve afectada por bloqueos parciales de los haces. El detector se colocó a una altura aproximada de 1 m.

Características y especificaciones del módulo *Dräger PIR 7200*:

- Rango de medición: 4 a 20 mA.
- Rango de temperatura ampliado: de  $-40$  a  $77$  °C.
- Rango de presión: de 700 a 1300 hPa.
- Uso sin restricciones por humedad relativa.
- Tamaño: 160 x Ø 89.
- Peso aproximado: 2.2 Kg.



Figura 13. Módulo de gases *Dräger PIR 7200*.

La medición del amoníaco se realizó mediante un sensor electroquímico, basado en un diseño celular de 3 electrodos, con estabilidad a largo plazo, intervalos entre calibraciones, alta especificidad y capaz de resistir elevadas concentraciones de gas sin sufrir envenenamiento llamado *Dräger Sensor NH3LC\_68 09 680* cuyo rango de medición es de 0 a 100 ppm y el módulo *Dräger Polytron 7000* donde se encuentra el sensor. El sensor se colocó a una altura aproximada de 1 m.

Características y especificaciones del sensor *Dräger Sensor NH3LC\_68 09 680*:

- Precisión de medición:  $< \pm 5$  porcentaje del valor medido.
- Pérdida de sensibilidad por año:  $< 15\%$ .
- Vida útil esperada (en aire ambiente):  $> 24$  meses.
- Rango de temperatura: de  $-40$ °C a  $65$  °C.
- Rango de Humedad Relativa: de 15 a 95%.
- Presión ambiente:  $\pm 3\%$ .

Características y especificaciones del módulo *Dräger Polytron 7000*:

- Rango de mediciones: 4 a 20 mA.
- Rango de temperatura: -40 a 65°C.
- Rango de presión: de 700 a 1300 hPa.
- Uso sin restricciones por Humedad Relativa.
- Tamaño: 166 x 135 x 129 mm.
- Peso aproximado: 900g.



**Figura 14.** Sensor Dräger Sensor NH3LC\_68 09680 (izq.); Módulo Dräger Polytron 7000 (dcha.)

El sensor dentro del módulo conforma la sonda, cuya conexión eléctrica se realiza a una unidad de control de cuatro canales llamada unidad de control *Dräger QuadGard*. La unidad de control procesa los datos, en nuestro caso utilizamos cuatro canales (ya que contamos con dos sensores de NH<sub>3</sub> y otros dos de CO<sub>2</sub>).



**Figura 15.** Unidad de Control Dräger QuadGard.

Los datos se almacenaron en una *datalogger* Madgetech OctProcess DataLogger de 8 posibles canales con su correspondiente *software* llamado Madgetech 2.03.14.



Figura 16. Datalogger Madgetech OctProcess.

### 2.3.3. Alimentación de los corderos

La idea principal era utilizar distintos tipos de lactoreemplazantes para periodos similares, suministrando a todos los lotes el mismo tipo de leche. Esto no se pudo llevar a cabo, puesto que los lotes se desfasaban como mínimo una semana en la mayoría de los casos, con lo cual, se utilizaron los lactoreemplazantes en diferentes periodos.

Los corderos se sometieron a los siguientes regímenes alimenticios:

1. Lactoreemplazante básico (LR1, control), con la siguiente composición química: 47.9 g/kg proteína bruta, 45.1 g/kg grasa, 2.3 g/kg fibra neutro detergente y 12.9 g/kg de cenizas.
2. Lactoreemplazante (LR2) con 63% componentes lácteos sin prebióticos y composición química semejante al LR.
3. Lactoreemplazante (LR3) de composición similar a LR2, pero con prebióticos.

El LR se administró mediante nodrizas amamantadoras automáticas que la calientan a 37 °C antes de alimentar a los corderos.

Por otra parte, se les suministró harina de iniciación, al que se añadían algunos aditivos principalmente contra la diarrea (D3) y la boquera (B1). Además, los primeros días tras su llegada, se les añadía rehidratante en el agua.



*Figura 17. Nodriza amamantadora automática (dcha.); Corderos alimentándose mediante las tetinas (izqda.).*



*Figura 18. Comederos utilizados para la harina.*

## 2.4. ANÁLISIS TERMOGRÁFICO

Se realizó un ensayo con la cámara termográfica que consistió en obtener la temperatura debajo de la lámpara de los dos tipos de suelo (*slat* y paja) para analizar la altura de colocación y el área afectada por la lámpara, ya que este aspecto podría tener un efecto sobre el desarrollo de los animales. La cámara termográfica utilizada en el ensayo fue la *Fluke Ti200*, esta cámara está equipada con el sistema autofocus LaserSharp para obtener imágenes perfectamente enfocadas. Esta cámara utiliza una lente láser para calcular la distancia con respecto al objetivo antes de enfocar.

Características y especificaciones de la cámara *Fluke Ti200*:

- Rango de Temperatura: -20 a 650 °C.
- Sensibilidad térmica:  $\leq 0.075$  °C a 30°C temp. objetivo.
- Cámara de luz visible: 5.0 megapíxeles.
- Duración batería: 2.5 horas.
- Temperatura de trabajo: -10 a 50 °C.
- Humedad relativa: 10-95 % sin condensación.
- Tamaño: 277 x 122 x 167 mm.
- Peso aproximado: 1.04 kg.



Figura 19. Cámara de infrarrojos Fluke Ti200.

## 2.5. RECOGIDA DE DATOS

Los corderos, machos de raza lechera Assaf, procedían de la misma explotación, situada en Artajona (Navarra). En la explotación de origen los corderos eran elegidos independientemente del peso y de la edad del animal. Los animales eran transportados hasta nuestras instalaciones, en las cuales, en el momento de la llegada se les suministraron vitaminas por vía intramuscular además de determinar el peso de los corderos. Los corderos se situaban aleatoriamente en los corrales anteriormente comentados, formando una serie de lotes.

Un parámetro estudiado durante el periodo de este proyecto fue el peso. Se realizaron tres pesadas durante el mes de lactación. Una primera pesada, a la llegada de todos los corderos, donde se anotaba su número de identificación (crotal). El segundo peso, a los 15 días y el tercer peso tras un mes de lactación, antes de realizar el destete dependiendo del peso de los animales. De esta forma, se siguió la evolución de todos los animales, obteniéndose así diferentes pesos durante el proceso productivo. Además, se anotaba la mortalidad de los animales. Puesto que los animales tenían un número de identificación, se anotaba el número correspondiente, el corral al que pertenecía el animal y el día de la muerte.

Al mismo tiempo que los animales se encontraban en sus respectivas cuadras, se midieron continuamente los parámetros ambientales anteriormente comentados: temperatura, Humedad Relativa, nivel de NH<sub>3</sub> y nivel de CO<sub>2</sub>. Los datos fueron tomados en un intervalo de 10 minutos. Las sondas estaban situadas en el centro de cada corral, a una altura de 1,60 m. Estos datos, eran recogidos semanalmente. La temperatura y la Humedad Relativa fue transferida del software *HOBOWare 3.0* directamente a una Excel. Mientras que el NH<sub>3</sub> y el CO<sub>2</sub> fueron transferidos del software *Madgetech OctProcess Datalogger* a una hoja Excel, pero la transferencia no fue directa.

La sonda de NH<sub>3</sub> mide la concentración en miliamperios (mA) y mediante la siguiente ecuación introducida por el usuario en la hoja Excel se convierte en partes por millón (ppm):

$$X_{(\text{ppm})} = (6.25 \times Y_{(\text{mA})}) - 25$$

La sonda de CO<sub>2</sub> de igual manera mide la concentración en miliamperios (mA) y para convertirla en partes por millón (ppm) se aplica la siguiente ecuación:

$$X_{(\text{ppm})} = (625 \times Y_{(\text{mA})}) - 2500$$

Por lo tanto, realizadas dichas conversiones disponemos de los datos ambientales de las cuadras que podremos correlacionar con su lote correspondiente.

Una condición general del ensayo fue fijar un ritmo de ventilación constante, de 5 minutos de encendido seguido de 20 minutos apagado.

Respecto al análisis termográfico, se tomaron medidas de los dos tipos de suelo (*slat* y paja) de lámparas infrarrojas. En todas las mediciones se realizó el mismo procedimiento. En cada foto que se hizo, se hicieron tres repeticiones de la misma, se tomaban a la misma distancia del suelo (1.45 m aproximadamente), en cada imagen se analizaba la temperatura en 0.5 m<sup>2</sup> de suelo. Se tomaron muestras suficientes para ser representativas en los tres ensayos citados anteriormente. Las muestras fueron tomadas el 29 de noviembre de 2016.

Las imágenes obtenidas, fueron analizadas con el software facilitado por *Fluke* (*SmartView 3.5*).

## 2.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS

En el presente trabajo se ha trabajado con un total de 763 corderos. Puesto que el volumen de datos con los que trabajamos es muy elevado, se decide dividirlos en 6 periodos:

- Periodo 1 (07/09/2016-05/10/2016). Con 180 corderos y lactoreemplazante LR1.
- Periodo 2 (05/10/2016-08/11/2016). Con 139 corderos y lactoreemplazante LR1.
- Periodo 3 (11/11/2016-30/11/2016). Con 161 corderos y lactoreemplazante LR3.
- Periodo 4 (09/12/2016-03/01/2017). Con 60 corderos y lactoreemplazante lr3.
- Periodo 5 (01/03/2017-29/03/2017). Con 84 corderos y lactoreemplazante lr2.
- Periodo 6 (29/03/2017-26/04/2017). Con 139 corderos y lactoreemplazante lr2.

Con los datos obtenidos, hemos realizado 5 análisis, que consisten en el:

1. Efecto de los tres tipos manejo sobre las condiciones ambientales.
2. Efecto de la época del año sobre las condiciones ambientales.
3. Efecto del manejo, condiciones ambientales y lactoreemplazante sobre las variables productivas.
4. Efecto de la relación peso de entrada del cordero *vs* supervivencia.
5. Análisis económico en función del porcentaje de mortalidad.

Los datos fueron analizados en el paquete estadístico SPSS, versión *PASW Statistic v. 18* (IBM Inc., Chicago, IL, EE. UU.).

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente trabajo se aportan los resultados de cinco estudios estadísticos: el primero, para observar el efecto del manejo (tipo de suelo y sistema de calefacción) sobre las condiciones ambientales (temperatura,  $T^a$ ; humedad relativa, HR; concentración de  $CO_2$ ; concentración de  $NH_3$ ; e índice de temperatura-humedad, ITH); el segundo, para evaluar la evolución temporal de los parámetros ambientales (humedad exterior, humedad interior, temperatura exterior, temperatura interior e ITH); el tercero, para valorar el impacto conjunto del manejo, de los tipos de lactoreemplazantes y de la época del año sobre las variables productivas; el cuarto, para analizar la relación peso de entrada del cordero *vs* porcentaje de supervivencia; y el quinto, para realizar un análisis económico.

#### 3.1. EFECTO DEL MANEJO SOBRE LAS CONDICIONES AMBIENTALES.

Se ha realizado un análisis de la información obtenida en los ensayos de campo destinados a evaluar la influencia del tipo de suelo y de los sistemas de calefacción utilizados sobre los distintos parámetros ambientales. Para ello, se ha llevado a cabo un análisis de varianza (ANOVA), donde se ha tomado como variable independiente el sistema de manejo y como variables dependientes la  $T^a$ , %HR,  $CO_2$ ,  $NH_3$  e ITH.

En la siguiente tabla se muestran las variables utilizadas en este estudio:

*Tabla 1. Valores medios y desviación típica de todas las variables analizadas*

Variable	Nº clases	Descripción	Media $\pm$ desviación estándar
Ambiente	3	1 (slat + placa) 2 (slat + lámpara IR) 3 (paja + lámpara IR)	-
$T^a$ ( $^{\circ}C$ )	Continua	77052	17.64 $\pm$ 5.14
HR (%)	Continua	77052	76.45 $\pm$ 12.61
$NH_3$ (ppm)	Continua	38998	0.05 $\pm$ 0.03
$CO_2$ (ppm)	Continua	38998	931.39 $\pm$ 199.82
ITH	Continua	77052	62.52 $\pm$ 7.61

Los resultados de los distintos análisis de varianza (ANOVA) para cada variable se resumen en la siguiente tabla:

**Tabla 2.** Resultados del ANOVA para cada variable ambiental en función del sistema de manejo seleccionado. Para el caso *slat* + lámpara IR no se dispone de datos de concentraciones de gases nocivos.

Variable	Tipo de manejo			ANOVA	
	Paja + lámpara IR	<i>Slat</i> + placa	<i>Slat</i> + lámpara IR	F	p
T <sup>a</sup> (°C)	17.85±4.98	17.07±5.33	18.03±5.04*	169.9	0.000
HR (%)	72.17±11.94	79.96±13.34*	77.32±11.09	1863.6	0.000
CO <sub>2</sub> (ppm)	1015.96±152.59*	737.97±155.82	-	294.1	0.000
NH <sub>3</sub> (ppm)	0.05±0.02	0.07±0.03*	-	99.8	0.000
ITH	62.79±7.18	61.63±8.04	63.21±7.50*	200.4	0.000

Las diferencias en función del tipo de manejo resultaron muy significativas para todos los parámetros ambientales.

En relación con el efecto de los sistemas de manejo sobre las concentraciones de CO<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub>, se observa que la concentración de CO<sub>2</sub> ha sido significativamente mayor para el sistema con suelo de paja que cuando se empleó el *slat*. Por el contrario, el NH<sub>3</sub> resultó significativamente superior en *slat* que en cama de paja.

El resultado relativo a CO<sub>2</sub> coincide con observaciones obtenidas por otros autores para porcino en comparativas de emisiones de gases durante la fase de engorde bajo cama de paja o *slat* total. Otro es el caso del NH<sub>3</sub>, para el que el comportamiento observado no es el esperado.

Philippe, *et al.* (2007) realizó un estudio donde se comparó el impacto medioambiental en términos de emisión de gases (NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O) y contenido de N en los purines entre engordes con *slat* total o en cama de paja. Se obtuvieron unas emisiones medias diarias por cerdo de engorde alojado bajo *slat* o bajo cama de paja respectivamente de 4.98 y 13.31 g NH<sub>3</sub>; 548 y 406 g de CO<sub>2</sub> equivalente, 1.61 y 1.77 kg de CO<sub>2</sub>. El análisis del efecto del tipo de suelo sobre la emisión gaseosa nos muestra que cuando los animales están sobre suelos emparrillados los niveles de emisión de NH<sub>3</sub> son menores y dicha reducción en la emisión incrementa al hacerlo la superficie del emparrillado. En el mismo sentido se comparó los niveles de emisión en cubículos con dos tipos de suelo; totalmente emparrillados y suelos compactos o en yacija a los que se añadía diariamente paja. De nuevo, los niveles de emisión de NH<sub>3</sub> registrados en los suelos compactos (yacija + paja) fueron superiores a los registrados con los suelos emparrillados.

Esta desviación respecto a los resultados referidos en la bibliografía puede atribuirse a singularidades de la instalación en la que se han realizado las pruebas: al tratarse de una nave antigua, el emparrillado no está construido realmente sobre una fosa colectora con la pendiente adecuada para la evacuación de las deyecciones. En su lugar, se viene empleando paja sobre la solera del suelo, debajo del emparrillado. Esto supone que la cama sucia no se limpia durante el periodo de cría de cada lote, con una acumulación de las deyecciones que da lugar al aumento de la concentración de NH<sub>3</sub>.

Para las otras condiciones ambientales, puesto que existen 3 variables independientes, se ha empleado el test HSD (*honestly-significant-difference*) de Tukey para realizar las comparaciones múltiples. Este test *post hoc* permite comparar las medias de los *t* niveles de un factor después de haber rechazado la hipótesis nula de igualdad de medias mediante la técnica ANOVA.

Respecto a la temperatura interior, se observa una diferenciación entre los tres sistemas. El sistema *slat* + lámpara IR es el que permite alcanzar unas temperaturas más altas, seguido por el sistema con cama de paja + lámpara IR y, finalmente, por el sistema *slat* + placa calefactora. Se observa que las diferencias entre los dos sistemas con lámpara son pequeñas. A la vista de las temperaturas alcanzadas con cada sistema de calefacción, el uso de lámparas IR parece ser más efectivo.

**Temperatura**

HSD de Tukey<sup>a,b</sup>

Manejo	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
1 (slat+placa)	17656	17.0737		
3 (paja+lámpara IR)	17656		17.8518	
2 (slat+lámpara IR)	16161			18.0306
Sig.		1.000	1.000	1.000

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 17127.853.

b. Los tamaños de los grupos no son iguales. Se ha utilizado la media armónica de los tamaños de los grupos. Los niveles de error de tipo I no están garantizados.

Respecto a la humedad relativa, se observa que existen diferencias muy significativas entre los tres tipos de manejo: el sistema paja + lámpara IR es el que lleva asociados valores de %HR más bajos de entre los tres sistemas objeto de estudio. Por otra parte, en los sistemas con *slat*, se aprecian diferencias en función del tipo de calefacción: el %HR es menor cuando se emplea lámpara IR que cuando se emplea la placa calefactora.

Nuestros resultados difieren de la bibliografía encontrada, puesto que Seedorf, *et al.* (1998) en su ensayo concluyó que los sistemas con cama de paja (*litter*) obtienen peores resultados que el sistema emparrillado, esto no se cumple en nuestro caso por no tratarse de un sistema *slat* habitual, como se ha comentado en el apartado anterior: en el sistema de cama de paja, se añadía paja diariamente y se limpiaba cada 15 días aproximadamente, mientras que la paja bajo el *slat* no se cambiaba durante todo el periodo de cría de un lote.

**Humedad**

HSD de Tukey<sup>a,b</sup>

Manejo	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
3 (paja+lámpara IR)	17656	72.1659		
2 (slat+lámpara IR)	16161		77.3152	
1 (slat+placa)	17656			79.9588
Sig.		1.000	1.000	1.000

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 17127.853.

b. Los tamaños de los grupos no son iguales. Se utilizará la media armónica de los tamaños de los grupos. Los niveles de error de tipo I no están garantizados.

Respecto al ITH (calculado empleando la fórmula de Thom, (1959) que indica el estrés térmico del animal causado por los efectos combinados de la temperatura y la humedad del aire, se observan diferencias significativas entre sistemas de manejo. No obstante, conforme a los rangos utilizados por Santolaria, *et al.* (2013) en su trabajo sobre ovejas de raza aragonesa, los valores obtenidos (en el rango 61.6-63.2) son inferiores a 72, que excluyen la existencia de estrés térmico. Los resultados al emplear los ITH de Finocchiaro, *et al.* (2005), sobre ovejas de leche mediterráneas, optimizados para ovino, son enteramente coincidentes.

**ITH**

HSD de Tukey<sup>a,b</sup>

Manejo	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
1 (slat+placa)	17656	61.6284		
3 (paja+lámpara IR)	17656		62.7902	
2 (slat+lámpara IR)	16161			63.2107
Sig.		1.000	1.000	1.000

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 17127.853.

b. Los tamaños de los grupos no son iguales. Se utilizará la media armónica de los tamaños de los grupos. Los niveles de error de tipo I no están garantizados.

La expresión utilizada para el cálculo de la ITH ha sido la siguiente:

$$ITH = (0.8 \cdot T^a \text{ media} + \left( \frac{HR(\%) \text{ media}}{100} \right) \cdot (T^a \text{ media} - 14.4) + 46.4)$$

**3.1.1. Corroboración de la bondad del sistema con lámpara IR**

Puesto que los sensores de temperatura se habían instalado a una altura de aproximadamente 1.60m, se ha estimado necesario corroborar las conclusiones anteriores con medidas a la altura del animal. Para ello se ha recurrido a la obtención de imágenes térmicas con una cámara *Fluke Ti200* a 1.45 m, conforme a lo explicado en material y métodos.

El ensayo con la cámara *Fluke Ti200* se llevó a cabo en el mes de noviembre, por lo que se compara la temperatura interna de la nave en el periodo 3 que es el que corresponde a la fecha, respecto de la temperatura obtenida en el ensayo.

Se compararon suelos de paja y *slat*, ambos con lámpara IR (ver imagen).

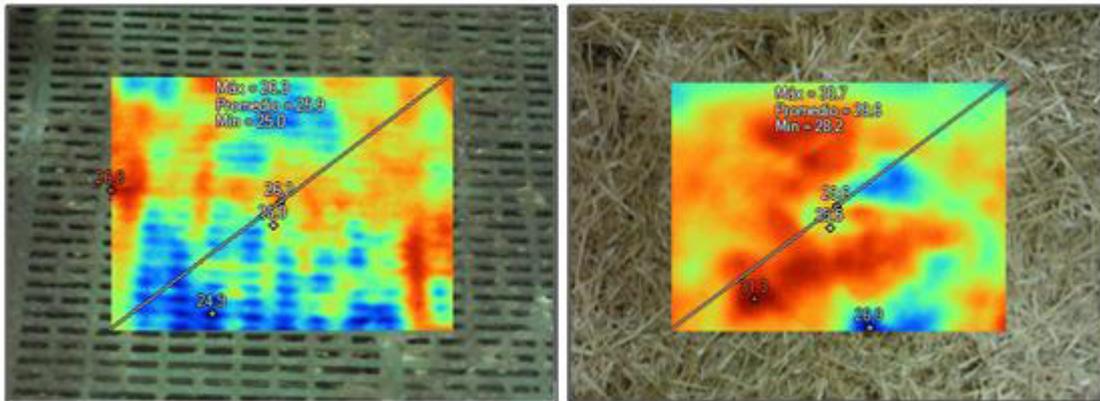


Figura 20. Imágenes obtenidas con la cámara *Fluke Ti200* para *slat* y paja.

Del análisis de dichas imágenes térmicas se han obtenido las temperaturas medias para cada tipo de suelo. No se han observado diferencias significativas desde un punto de vista estadístico (ver tabla), un resultado coherente con la pequeña diferencia de temperatura ambiental interna ya explicada anteriormente.

Tabla 3. Valores medios de las Temperaturas obtenidos con la cámara *Fluke* respecto al sensor *HOBO* de temperatura.

Variable	Paja	<i>Slat</i>	F	p
T <sup>a</sup> media	19.39±2.17	18.95±0.45	204.5	0.259
T <sup>a</sup> media periodo 3	13.46±2.20		-	-

Respecto a lo comentado anteriormente, se ha observado que los sistemas de calefacción, en este caso, la lámpara IR, no tiene efecto respecto a la temperatura interior de la nave, pero sí que tiene efectos a la altura de los corderos, puesto que aumenta aproximadamente en 6°C la cama de los animales.

### 3.2. EFECTO DE LA ÉPOCA DEL AÑO SOBRE LAS CONDICIONES AMBIENTALES

Se ha realizado un análisis de la información obtenida en los ensayos para evaluar la influencia de la estacionalidad (época del año) sobre los distintos parámetros ambientales. Para ello, se ha llevado a cabo un análisis de varianza (ANOVA) tomando como variable independiente el periodo de estudio y como variables dependientes las variables ambientales (temperatura, humedad relativa e índice temperatura-humedad). Se ha comenzado por un análisis en los cuatro primeros periodos de estudio, en los que se ensayaron los tres sistemas de manejo discutidos en el apartado anterior (en los últimos periodos sólo se ensayaron dos sistemas de manejo).

**Tabla 4.** Variables y nomenclatura utilizada en los análisis estadísticos y descriptivos de las mismas.

Variable	Nº clases	Descripción	Media ± desviación estándar
Periodo	6	1 (07/09/2016-05/10/2016) 2 (05/10/2016-08/11/2016) 3 (11/11/2016-30/11/2016) 4 (09/12/2016-03/01/2017) 5 (01/03/2017-29/03/2017) 6 (29/03/2017-26/04/2017)	-
Temperatura (°C)	Continua	77011	17.52±4.63
HR (%)	Continua	77011	75.66±12.06
ITH	Continua	77011	62.39±6.82

El resumen de los resultados de los ANOVA se recoge en la siguiente tabla:

**Tabla 5.** Resultados del ANOVA para cada variable ambiental en función del periodo de estudio.

Variable	Periodo						ANOVA	
	1	2	3	4	5	6	F	p
T <sup>a</sup> (°C)	22.49±3.50*	18.02±3.13	13.46±2.20	12.14±2.02	16.27±2.99	18.70±3.32	21104.0	0.000
HR (%)	66.87±8.65	76.30±10.22	82.34±7.58	89.76±10.57*	77.58±7.82	68.44±9.87	10941.9	0.000
ITH	69.61±4.51*	63.47±4.81	56.31±3.64	54.07±3.45	60.75±4.57	64.10±6.82	22350.7	0.000

Se aprecian diferencias estacionales muy significativas para todas las condiciones ambientales, confirmadas por los agrupamientos conforme al test de Tukey.

**TEMPERATURA**

HSD de Tukey<sup>a,b</sup>

Periodo	N	Subconjunto para alfa = 0.05					
		1	2	3	4	5	6
4.00	10781	12.1420					
3.00	9456		13.4611				
5.00	11811			16.2723			
2.00	14634				18.0182		
6.00	12270					18.7025	
1.00	18059						22.4946
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 12285.434.

b. Los tamaños de los grupos no son iguales. Se utilizará la media armónica de los tamaños de los grupos. Los niveles de error de tipo I no están garantizados.

HR

HSD de Tukey<sup>a,b</sup>

Periodo	N	Subconjunto para alfa = 0.05					
		1	2	3	4	5	6
1.00	18059	66.8729					
6.00	12270		68.4432				
2.00	14634			76.3026			
5.00	11811				77.5820		
3.00	9456					82.3430	
4.00	10781						89.7683
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 12285.434.

b. Los tamaños de los grupos no son iguales. Se utilizará la media armónica de los tamaños de los grupos. Los niveles de error de tipo I no están garantizados.

ITH

HSD de Tukey<sup>a,b</sup>

Periodo	N	Subconjunto para alfa = 0.05					
		1	2	3	4	5	6
4.00	10781	54.0717					
3.00	9456		56.3086				
5.00	11811			60.7465			
2.00	14634				63.4657		
6.00	12270					64.0990	
1.00	18059						69.6149
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 12285.434.

b. Los tamaños de los grupos no son iguales. Se utilizará la media armónica de los tamaños de los grupos. Los niveles de error de tipo I no están garantizados.

En las siguientes figuras se recoge la evolución de las temperaturas, humedades interiores e ITH para cada tipo de suelo en función del tiempo, evidenciando la magnitud de los cambios de un periodo a otro. Si bien las diferencias entre los tres sistemas de manejo en términos de temperatura e ITH son relativamente pequeñas, la humedad relativa para el sistema con cama de paja se aprecia que es notablemente menor (conforme a lo ya explicado anteriormente).

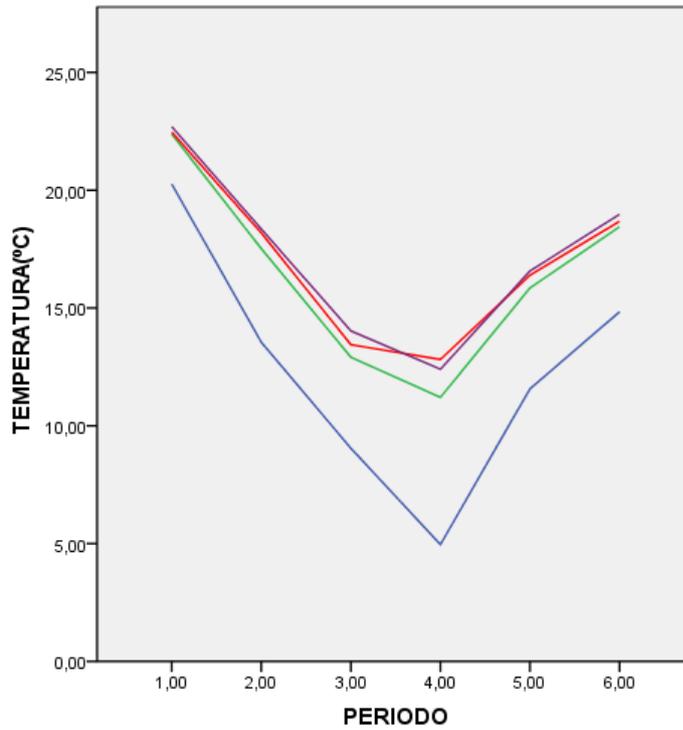


Figura 21. Evolución temporal de la temperatura media exterior (en azul) y de la temperatura media interior para los tres sistemas de manejo (slat + placa en verde, slat + lámpara IR en rojo y paja + lámpara IR en morado).

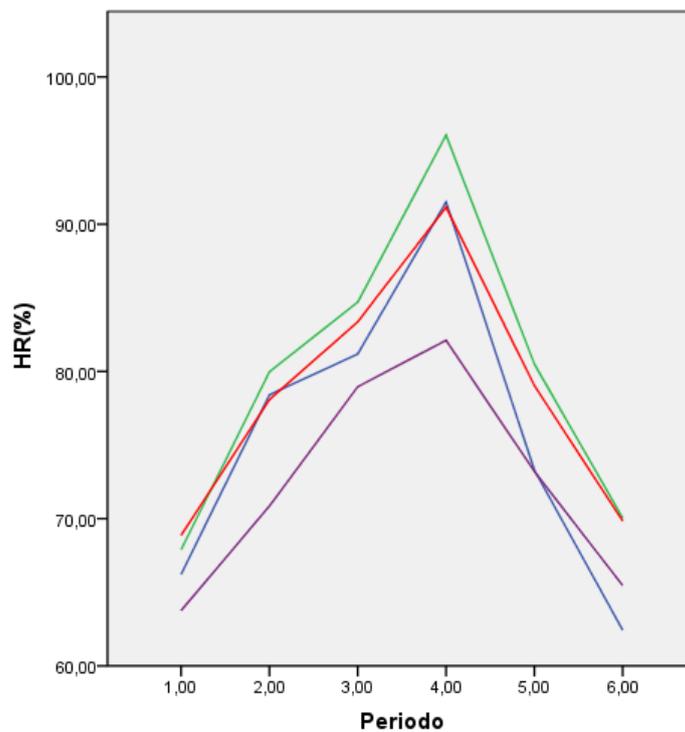
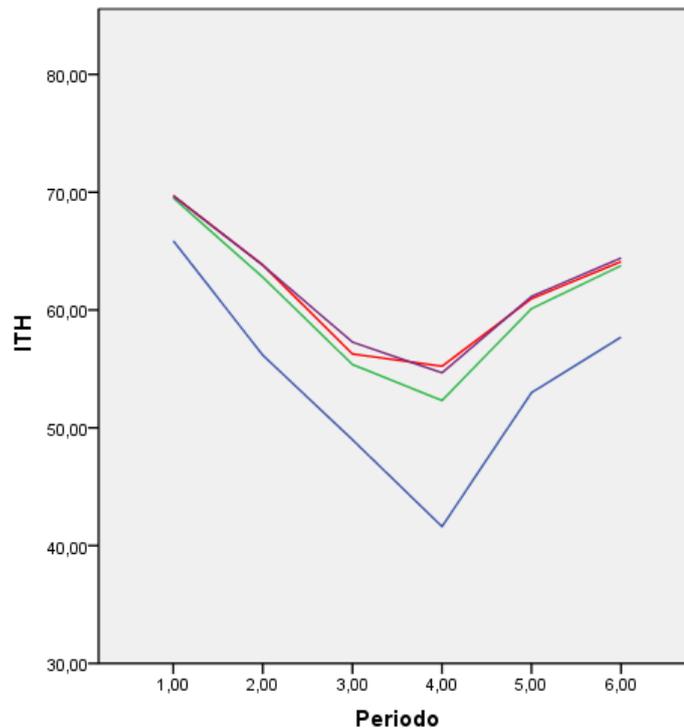


Figura 22. Evolución temporal de la HR media exterior (en azul) y de la HR media interior para los tres sistemas de manejo (slat + placa en verde, slat + lámpara IR en rojo y paja + lámpara IR en morado).



**Figura 23.** Evolución temporal de la HR media exterior (en azul) y de la HR media interior para los tres sistemas de manejo (slat + placa en verde, slat + lámpara IR en rojo y paja + lámpara IR en morado).

### 3.2.1. Comparativa de la influencia relativa del periodo estacional y del tipo de suelo

A fin de comparar cuál de las variables independientes estudiadas en los dos apartados anteriores tiene mayor peso sobre las condiciones ambientales, se ha realizado un análisis factorial incluyendo periodo estacional, suelo y las variables ambientales ( $T^a$  interna y externa; %HR interna y externa; ITH media, mínima y máxima; y concentraciones de gases nocivos). De la matriz de correlaciones, se puede apreciar como todas las variables ambientales dependen fuertemente del periodo estacional y cómo las concentraciones de  $\text{CO}_2$  y  $\text{NH}_3$  dependen (más débilmente) del tipo de suelo. La influencia del tipo de suelo sobre las variables ambientales es pequeña. También es destacable que, por sus altas correlaciones,  $T^a$ , %HR e ITH son redundantes y basta con emplear el ITH.

Matriz de correlaciones<sup>a</sup>

Correlación	PERIODO	SUELO	HUM INT	HUM EXT	TEMP INT	TEMP EXT	ITH MEDIA	ITHMIN	ITHMAX	NH3	CO2
PERIODO	1.000	-.055	<b>.907</b>	<b>.969</b>	<b>-.982</b>	<b>-.993</b>	<b>-.984</b>	<b>-.918</b>	<b>-.978</b>	<b>-.877</b>	<b>.736</b>
SUELO	-.055	1.000	.321	-.021	.020	.066	.020	-.082	.084	<b>.437</b>	<b>-.641</b>
HUM.INT	.907	.321	1.000	.902	-.909	-.902	-.910	-.905	-.874	-.702	.466
HUM.EXT	.969	-.021	.902	1.000	-.947	-.980	-.944	-.935	-.922	-.831	.708
TEMP.INT	-.982	.020	-.909	-.947	1.000	.989	.999	.961	.994	.840	-.680
TEMP.EXT	-.993	.066	-.902	-.980	.989	1.000	.987	.953	.980	.859	-.715
ITHMEDIA	-.984	.020	-.910	-.944	.999	.987	1.000	.951	.995	.851	-.690
ITHMIN	-.918	-.082	-.905	-.935	.961	.953	.951	1.000	.933	.742	-.540
ITHMAX	-.978	.084	-.874	-.922	.994	.980	.995	.933	1.000	.859	-.706
NH3	-.877	.437	-.702	-.831	.840	.859	.851	.742	.859	1.000	-.880
CO2	.736	-.641	.466	.708	-.680	-.715	-.690	-.540	-.706	-.880	1.000

a. Esta matriz no es definida positiva.

Si se quita el suelo y se repite el análisis sólo con el periodo y las variables ambientales, se observa que basta una sola componente para describir un 89porcentaje de la varianza. Los valores de KMO y test de Bartlett son excelentes, con chi-cuadrados muy altos y significatividades muy bajas.

KMO y prueba de Bartlett

Medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin.	.434
Prueba de esfericidad de Bartlett	Chi-cuadrado aproximado
	13264.308
	gl
	28
	Sig.
	.000

De este análisis se concluye que los sistemas de calefacción ensayados tienen fuertes limitaciones para el control ambiental del alojamiento ganadero a nivel global del habitáculo, y su impacto se limita a una zona localizada cercana a los emisores de calefacción. Hay que recordar la ubicación de las sondas de temperatura. No obstante, toda vez que no hay estrés térmico, cumplen una función útil.

Referido a las bajas, con datos aportados por la empresa OVIARAGON, el porcentaje de mortalidad de corderos que no han estado en contacto con la calefacción es de un 30.85%, mientras que el porcentaje de mortalidad durante este ensayo, donde los corderos han estado en contacto con la calefacción, es del 20.18%. Esta reducción del 10% en las bajas hace que la aplicación de sistemas de calefacción pueda verse como un requisito *sine qua non* para la viabilidad y rentabilidad del proceso, como se comentará más adelante.

### 3.3. EFECTO CONJUNTO DEL MANEJO, CONDICIONES AMBIENTALES Y LACTOREEMPLAZANTE SOBRE LAS VARIABLES PRODUCTIVAS

Tabla 6. Variables y nomenclatura utilizada en los análisis estadísticos y descriptivos de las mismas.

Variable	Nº clases	Descripción	Media ± desviación estándar
Periodo	6	1 (07/09/2016-05/10/2016) 2 (05/10/2016-08/11/2016) 3 (11/11/2016-30/11/2016) 4 (09/12/2016-03/01/2017) 5(01/03/2017-29/03/2017) 6(29/03/2017-26/04/2017)	-
Tipo de suelo	3	1 (paja + lámpara IR) 2 (slat + placa) 3 (slat + lámpara IR)	-
Peso inicial	Continua	763	4.66±1.01
Peso final	Continua	609	10.63±2.78
GMD total	Continua	609	0.21±0.084
Bajas	2	1 (muerto) 2 (vivo)	-
Tipo de lactoreemplazante	3	LR1 LR2 LR3	-

\* **Nota:** En este apartado la denominación de los sistemas de manejo no es consistente con la de apartados anteriores.

Si se hace un análisis factorial que incluya las variables periodo estacional, sistema de manejo, lactoreemplazante, peso de entrada, peso final, ganancia media diaria (GMD), bajas (muertes) y destetes, se observa a partir de la matriz de correlaciones:

- Una alta asociación entre periodo estacional y lactoreemplazante. Esto es coherente con el hecho de que se emplearon sucesivamente tres tipos de leche durante los periodos estudiados. Cara a estudios futuros, sería deseable emplear los distintos tipos de lactoreemplazante en el mismo periodo.
- El sistema de manejo no afecta a los parámetros productivos.
- El peso de entrada está relacionado con el de salida, pero con respecto a las bajas la relación es débil (correlación de 0.277). Expresado de otro modo, las bajas no pueden ser referidas a más variables que al peso de entrada, y con un peso estadístico relativamente bajo.
- El peso a la salida y la GMD son variables redundantes. Ambas están muy relacionadas con el destetado.

Matriz de correlaciones<sup>a</sup>

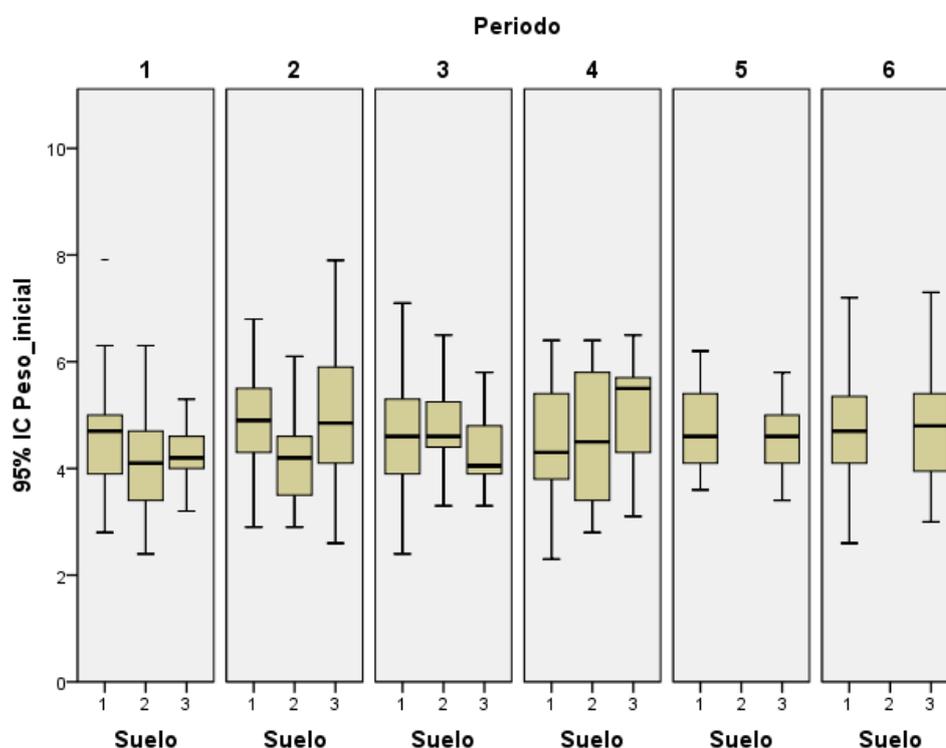
Correlación	PERIODO	SUELO	Peso inicial	Peso final	GMD total	BAJA	LECHE	DESTETADO
PERIODO	1.000	.075	.085	-.011	-.025	.146	<b>.962</b>	-.170
SUELO	.075	1.000	-.034	-.053	-.048	-.087	.057	-.021
Peso_inicial	.085	-.034	1.000	<b>.573</b>	.270	.252	.069	-.397
Peso_final	-.011	-.053	.573	1.000	<b>.935</b>	.	.008	<b>-.733</b>
GMD_total	-.025	-.048	.270	.935	1.000	.	-.015	-.712
BAJA	.146	-.087	.252	.	.	1.000	.120	.
LECHE	.962	.057	.069	.008	-.015	.120	1.000	-.163
DESTETADO	-.170	-.021	-.397	-.733	-.712	.	-.163	1.000

a. Esta matriz no es definida positiva.

A continuación, se presenta un análisis desglosado y más detallado. Primeramente, se ha analizado si había diferencias notables en los parámetros de partida en función del periodo estacional o del tipo de manejo que pudiesen afectar a los otros análisis de las variables productivas. Posteriormente, se ha analizado el impacto del periodo estacional, el tipo de lactoreemplazante y el tipo de manejo sobre la GMD (fuertemente correlacionada con el peso final y el destete,) y sobre las bajas.

### 3.3.1. Análisis del efecto del periodo estacional sobre el peso de entrada

Se observa que los pesos iniciales entre los diferentes periodos son muy similares (con valores medios en el rango 4.70-4.77 kg), excepto para el periodo 1, en el que los pesos de entrada fueron ligeramente bajos (valor medio de 4.4 kg). Los pesos de entrada más altos correspondieron al periodo 2.



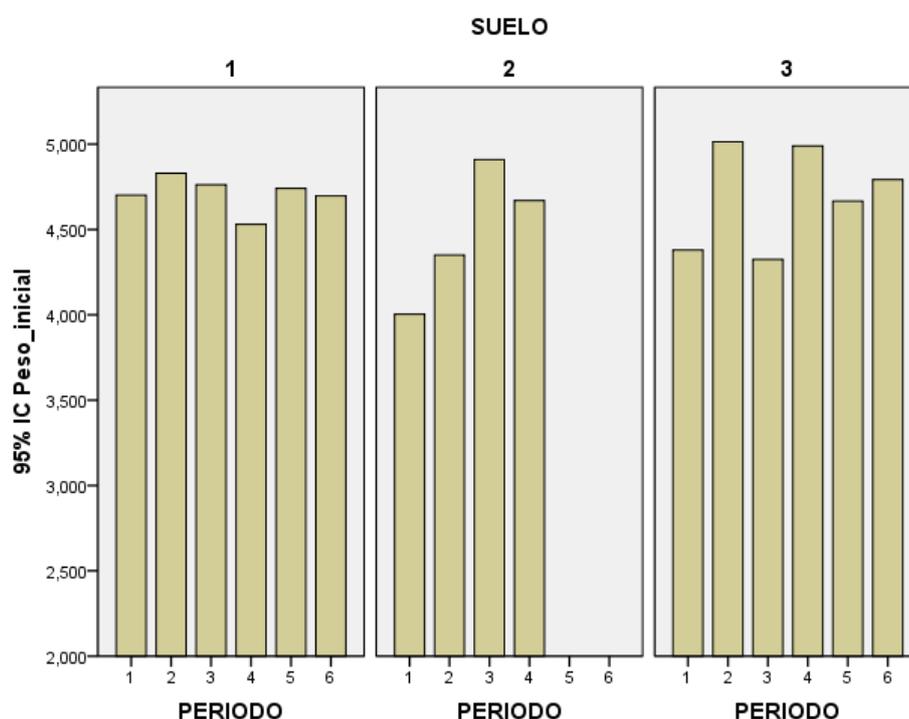
Gráfica 1. Peso de entrada en cada periodo estacional de estudio. La numeración de los suelos corresponde a 1 (paja + lámpara IR), 2 (slat + placa) y 3 (slat + lámpara IR).

Tabla 7. Resultados del ANOVA para los pesos de entrada de los corderos en función del periodo de estudio

Variable	Periodo						ANOVA	
	1	2	3	4	5	6	F	p
Peso inicial	4.41±0.95	4.77±1.12*	4.73±1.02	4.73±1.09	4.70±0.80	4.74±1.00	2.9	0.012

### 3.3.2. Análisis del efecto del sistema de manejo sobre el peso de entrada

También se ha estudiado si existían diferencias en los pesos de entrada respecto al tipo de manejo estudiado (para los 6 periodos):



Gráfica 2. Peso de entrada para cada tipo de suelo (1 (paja + lámpara IR), 2 (slat + placa) y 3 (slat + lámpara IR)).

Tabla 8. Resultados del ANOVA para los pesos de entrada de los corderos en función del tipo de manejo.

Variable	Tipo de suelo			ANOVA	
	1 (paja+lámpara IR)	2 (slat+placa)	3 (slat+lámpara IR)	F	p
Peso inicial	4.73±1.00*	4.33±1.01	4.70±0.98	8.24	0.000

Se observa una diferencia significativa, con pesos más bajos para el sistema de *slat* + placa calefactora que para los otros dos, pero a partir de la figura se puede inferir que dicha diferencia se debería principalmente al bajo peso para los corderos criados en este sistema durante el periodo 1. En el resto de periodos los valores son similares. Se ha empleado el test HSD de Tukey para realizar las comparaciones múltiples.

**Peso\_inicial**

HSD de Tukey<sup>a,b</sup>

SUELO	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
2 (slat+placa)	129	4.33333	4.70230
3 (slat+lámpara IR)	217		
1 (paja+lámpara IR)	417		
Sig.		1.000	.940

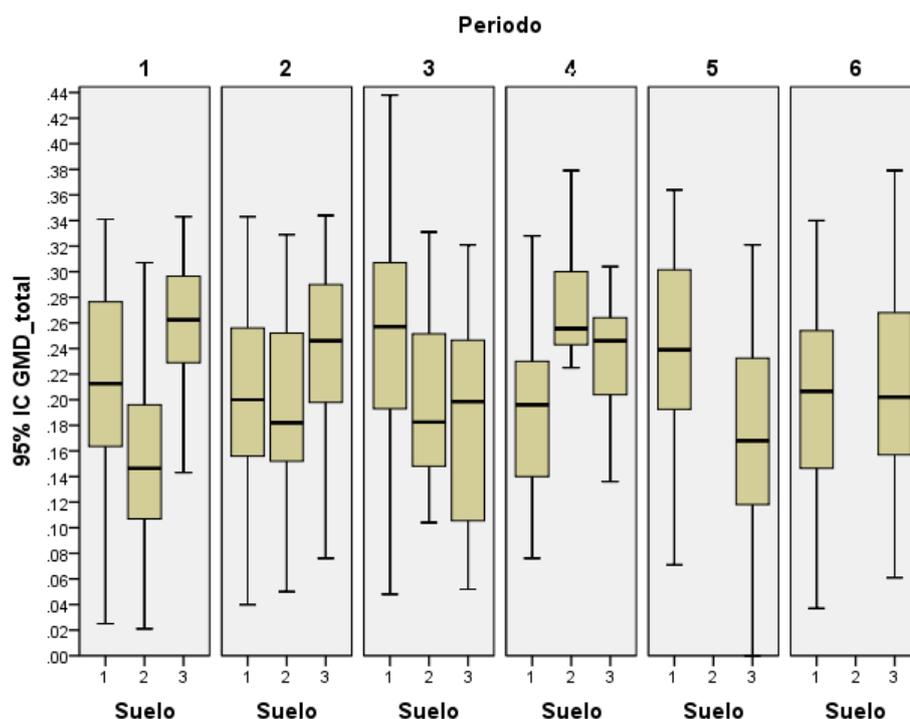
Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 203.275.

b. Los tamaños de los grupos no son iguales. Se utilizará la media armónica de los tamaños de los grupos. Los niveles de error de tipo I no están garantizados.

**3.3.3. Análisis del efecto del periodo estacional sobre la GMD**

En la siguiente grafica se muestran las GMD totales para cada periodo estacional.



Gráfica 3. GMD media para cada periodo estacional de estudio. La numeración de los suelos corresponde a 1 (paja + lámpara IR), 2 (slat + placa) y 3 (slat + lámpara IR).

A partir del ANOVA, se observa que las GMD son muy similares para todos los periodos, si bien la mayor GMD corresponde al periodo 3.

Tabla 9. Resultados del ANOVA para la GMD de los corderos en función del periodo estacional de estudio.

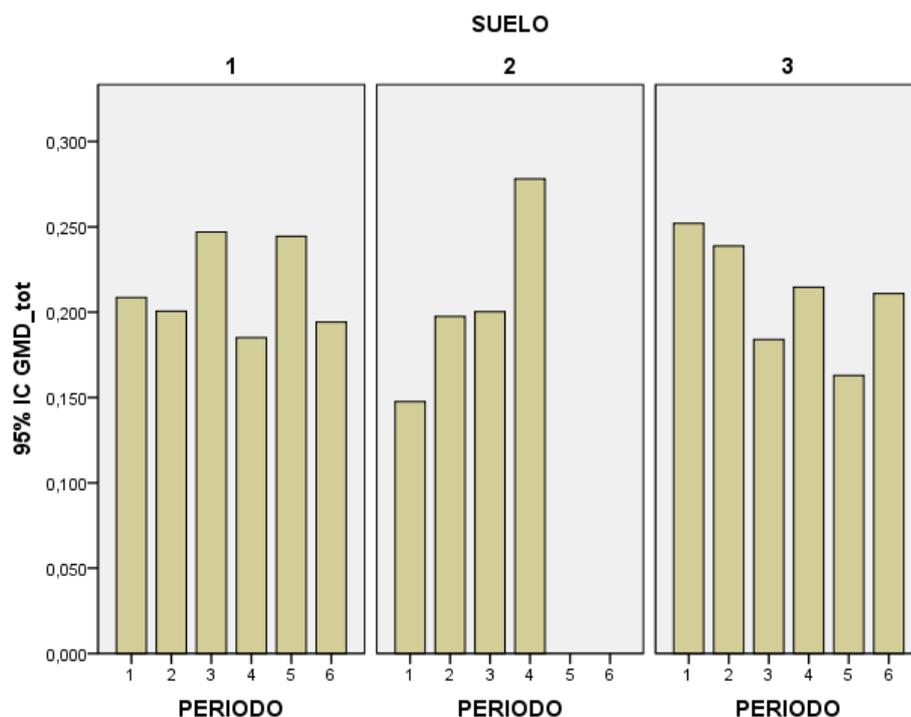
Variable	Periodo						ANOVA	
	1	2	3	4	5	6	F	p
GMD	0.21±0.08	0.21±0.08	0.23±0.09*	0.22±0.08	0.20±0.08	0.20±0.08	2.4	0.033

### 3.3.4. Análisis del efecto del lactoreemplazante sobre la GMD

Teniendo en cuenta que el lactoreemplazante 1 se empleó en los periodos 1 y 2, que el lactoreemplazante 3 se empleó en los periodos 3 y 4, y que el lactoreemplazante 2 se empleó en los periodos 5 y 6, a la vista de la tabla de resultados del ANOVA anterior, se observa que el lactoreemplazante 3 conduce a GMDs ligeramente más altas. Aunque tentativamente podría inferirse que es la opción más deseable, es preciso tener en cuenta que los periodos 3 y 4 son también los que tienen menores valores del ITH (menor estrés), por lo que la influencia del lactoreemplazante no es concluyente.

### 3.3.5. Análisis del efecto del sistema de manejo sobre la GMD

En cuanto al efecto de los diferentes tipos de manejo, en base a la figura inferior se aprecia que no es consistente a lo largo de los seis periodos de estudio: para los dos primeros periodos, el suelo de *slat* + lámpara IR presenta mejores GMD; mientras que en los periodos 3, 5 y 6, el sistema de paja + lámpara IR conduce a los valores de GMD más altos.



Gráfica 4. GMD media de los corderos para cada tipo de manejo. La numeración de los suelos corresponde a 1 (paja + lámpara IR), 2 (*slat* + placa) y 3 (*slat* + lámpara IR).

Se ha realizado un ANOVA de los tres tipos de manejo *vs* GMD. Dicho análisis muestra que, globalmente, el sistema de manejo con paja + lámpara IR sería el más ventajoso.

**Tabla 10.** Resultados del ANOVA para la GMD de los corderos en función del tipo de manejo.

Variable	Tipo de suelo			ANOVA	
	1 (paja+lámpara IR)	2 (Slat+placa)	3 (Slat+lámpara IR)	F	p
GMD	0.22±0.09*	0.19±0.08	0.21±0.08	2.2	0.122

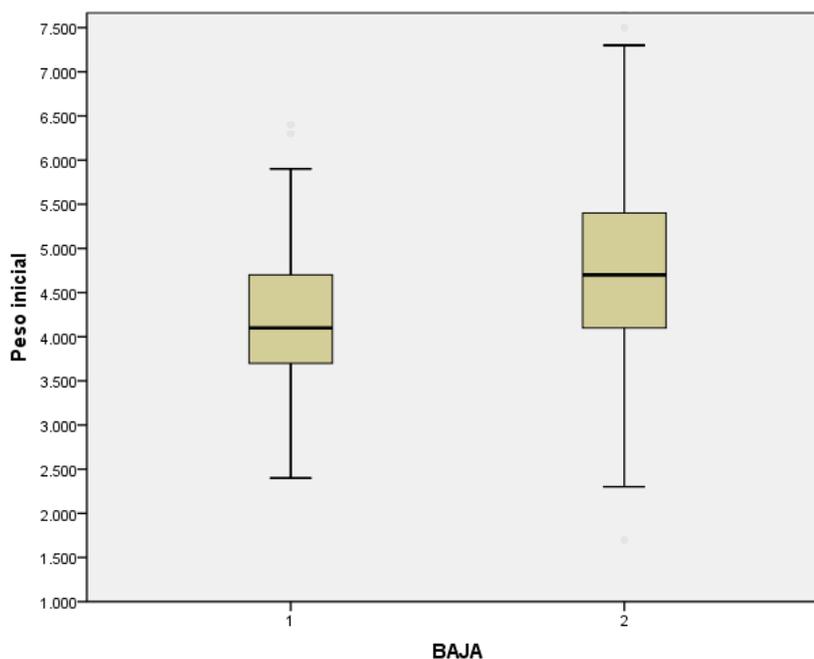
De los datos analizados, se puede concluir que la GMD ha sido mayor en el sistema paja + lámpara IR (con una ganancia de 0.22 kg de peso vivo/día), si bien el valor obtenido ha sido más bajo que en un estudio similar realizado en un cebadero intensivo de corderos, en el que se obtuvieron valores de GMD de 0.27 kg de peso vivo/día (García-Ramos *et al.*, 2007).

El valor de la GMD puede verse afectado por el peso inicial del cordero, pero en nuestro estudio -como se ha comentado anteriormente- no existían diferencias significativas entre el suelo de paja + lámpara IR y el suelo de *slat* + lámpara IR. Por lo tanto, no hay tal efecto confundente del peso de partida, y se puede afirmar que la paja + lámpara IR es el sistema más ventajoso.

Este parámetro ha sido estudiado en algunos ensayos (Day, *et al.*, 2006) pero no se obtuvieron diferencias significativas en la GMD en función del tipo de suelo. No obstante, en un estudio realizado por Muñoz-Osorio *et al.* (2016), se obtuvo una GMD mayor en suelo de *slat* (comparado con suelo de hormigón), atribuyendo estos resultados al menor contacto de los animales con posibles patógenos y bacterias en este tipo de suelo. Nuestro resultado no es directamente extrapolable, puesto que en estos estudios no se incluía el suelo de paja y el *slat* tiene unas limitaciones, ya explicadas anteriormente.

### 3.3.6. **Análisis de bajas respecto al peso de entrada**

A continuación se analiza la existencia de diferencias significativas entre las bajas producidas y los pesos de entrada.



Gráfica 5. Relación peso de entrada de los corderos con la baja. (1 muerto, 2 vivo).

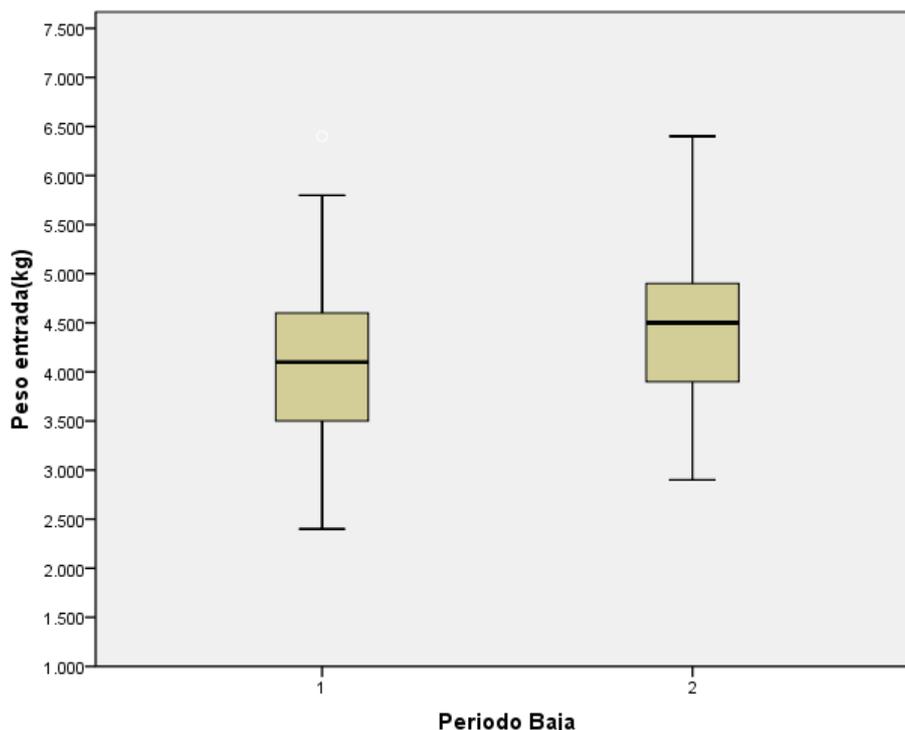
Tabla 11. Resultados del ANOVA para las bajas de los corderos en función del peso de entrada.

Variable	Baja		ANOVA	
	1 (muerte)	2 (vivo)	F	p
Peso entrada (kg)	4.15±0.81	4.79±1.02	51.757	0.000

Como era de esperar, se observa que el peso de entrada influye mucho en las bajas, con un gran nivel de significación.

Agrupamos las bajas producidas durante los 6 periodos de estudio en dos grupos: 1 (bajas producidas en los primeros 15 días) y 2 (bajas producidas en los días 15-30). De las 154 bajas, un 73% (113) se producen en los primeros días tras la llegada, estas bajas producidas en los primeros días, se puede concluir que no son atribuibles al manejo de la explotación, ya que existen una serie de factores como el estrés del transporte, bajas defensas del animal por un deficiente encalostrado... En un estudio de Minka & Ayo, (2009) concluyeron que el estrés de transporte en animales es un problema para el ciclo de vida productivo del animal, y además comentaban que la eliminación total de los factores de estrés del transporte en la producción ganadera es imposible.

En la siguiente gráfica se observa que los corderos que mueren en el segundo periodo (27% restante) tenían un peso de entrada mayor respecto a los corderos que murieron en la primera etapa. Es decir, los corderos con menor peso de entrada mueren en los primeros días.



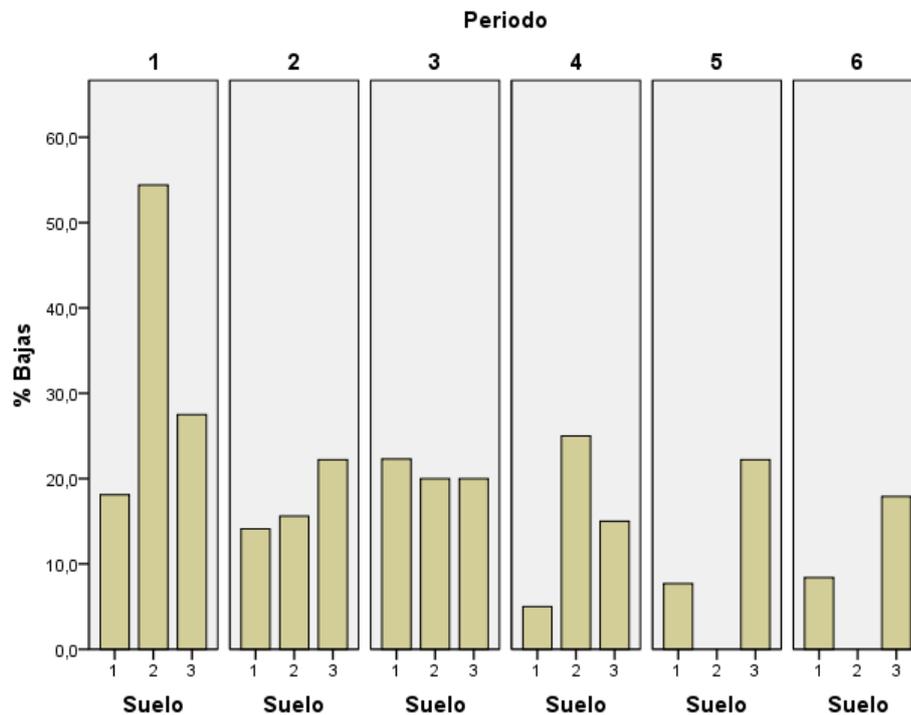
*Gráfica 6. Relación peso de entrada de los corderos con el periodo de baja, donde 1 corresponde a los primeros 15 días y 2 corresponde a los días 15-30.*

*Tabla 12. Resultados del ANOVA para el periodo de baja de los corderos en función del peso de entrada*

Variable	Periodo de baja		ANOVA	
	1 (1-15 días)	2 (15-30 días)	F	p
Peso entrada (kg)	4.05±0.77	4.42±0.86	6.4	0.012

Del ANOVA anterior se obtiene que el peso medio de entrada para los corderos muertos en los primeros 15 días tras la llegada fue de 4.05 kg, mientras que los del segundo periodo fue de 4.42 kg, con diferencias significativas entre ambos. En sección 4.4 se profundizará en este aspecto.

**3.3.7. Análisis del efecto de la época del año (y lactoreemplazante) sobre las bajas**



*Gráfica 7. Relación del porcentaje de bajas en función del periodo estacional. La numeración de los suelos corresponde a 1 (paja + lámpara IR), 2 (slat + placa) y 3 (slat + lámpara IR).*

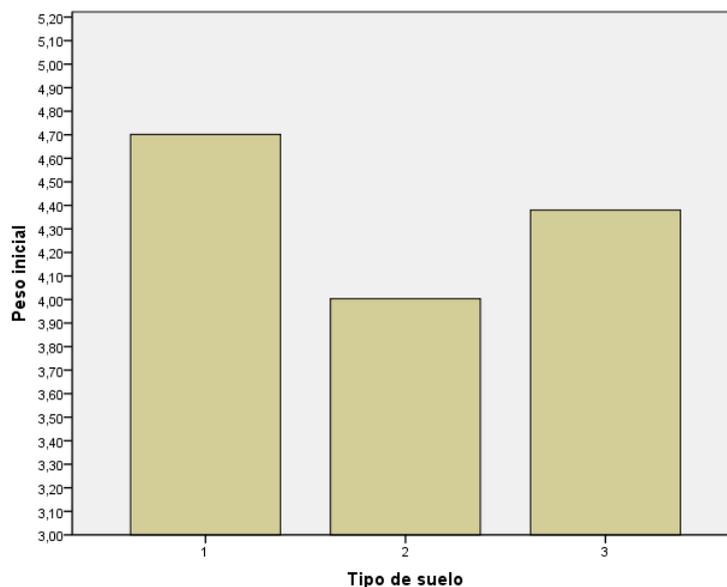
*\*Nota: en los periodos 5 y 6 no figuran bajas porque no se empleó el sistema de manejo 2.*

Si bien el ANOVA no arroja diferencias significativas desde un punto de vista estadístico, a partir de la gráfica se observa que el porcentaje de bajas se encuentra generalmente dentro del intervalo 10-30%, a excepción de en el periodo 1, donde fue notablemente más alto.

*Tabla 13. Resultados del ANOVA para el porcentaje de bajas respecto del periodo estacional*

Variable	Periodo						ANOVA	
	1	2	3	4	5	6	F	p
%Bajas	33.33±18.84*	17.30±4.31	20.77±1.33	15.00±10.00	14.96±10.25	13.15±6.72	1.41	0.301

Este valor anómalo durante el periodo 1 se debe al porcentaje de bajas en el suelo 2. En base a lo explicado en el apartado anterior, una causa probable del elevado porcentaje de bajas sería un bajo peso de entrada de los corderos. A continuación, se presenta un análisis más detallado para el periodo 1:



Gráfica 8. Relación del peso de entrada para cada tipo de suelo durante el periodo 1. La numeración de los suelos corresponde a 1 (paja + lámpara IR), 2 (slat + placa) y 3 (slat + lámpara IR).

Se observa que el peso de entrada para los corderos en el suelo 2 en este periodo es notablemente menor que para los otros dos suelos (con diferencias significativas). Asimismo, se aprecia que el valor medio está por debajo del referido anteriormente como valor medio para bajas (4.15 kg) y por debajo también del valor medio obtenidos para los corderos que mueren en los primeros días (4.05 kg). Por consiguiente, la anomalía se puede atribuir a que los corderos de peso muy bajo no se distribuyeron de forma homogénea entre los tres sistemas de manejo.

Tabla 14. Resultados del ANOVA para el peso de entrada para los diferentes tipos de manejo en el periodo 1.

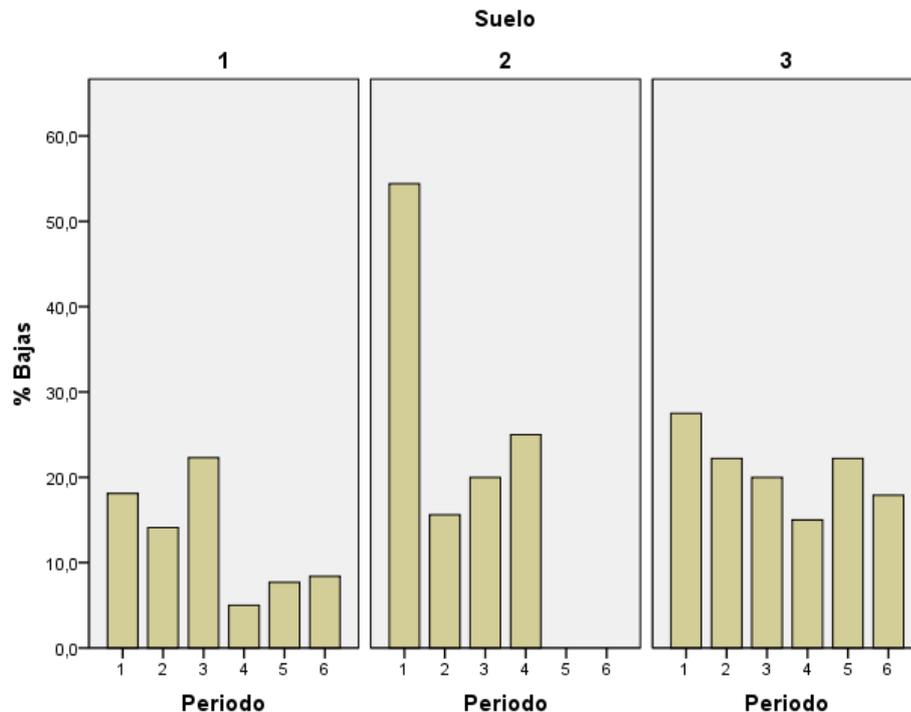
Variable	Periodo 1			ANOVA	
	1 (paja+lámpara IR)	2 (Slat+placa)	3 (Slat+lámpara IR)	F	p
Peso inicial	4.70±0.99*	4.00±0.86	4.38±0.72	10.2	0.000

De todo lo anterior, una vez explicada la anomalía, se puede inferir que el periodo estacional no afecta a las bajas.

Respecto al lactoreemplazante no se puede asegurar que afecte a las bajas, puesto que, al utilizarlos en diferentes periodos, existen factores ambientales que podrían influir en las bajas. Una manera de asociar las bajas con el lactoreemplazante sería utilizar diferentes lactoreemplazantes en un mismo periodo de tiempo.

### 3.3.8. Análisis del efecto del sistema de manejo sobre las bajas

Una vez descartado el efecto estacional, se pasa a analizar un posible impacto del sistema de manejo escogido sobre las bajas.



Gráfica 9. Relación del porcentaje de bajas en función del sistema de manejo utilizado. La numeración de los suelos corresponde a 1 (paja + lámpara IR), 2 (slat + placa) y 3 (slat + lámpara IR).

Tabla 15. Resultados del ANOVA para el porcentaje de bajas respecto a los diferentes tipos de manejo.

Variable	Tipo de manejo			ANOVA	
	1 (paja+lámpara IR)	2 (Slat+placa)	3 (Slat+lámpara IR)	F	p
% Bajas	12.60±6.72	28.75±17.53	20.80±4.28	3.344	0.067

Se observa que el porcentaje de bajas es notablemente menor para el sistema de manejo 1, si bien estrictamente las diferencias no son significativas desde el punto de vista estadístico (probablemente por la distorsión introducida en el suelo 2 por las bajas del periodo 1 ya explicadas).

Podría plantearse que fuera consecuencia del peso de entrada, pero -como se ha analizado anteriormente- es muy similar para los sistemas 1 y 3 (y algo más bajo para el 2). Por tanto, para un peso de entrada medio muy similar, el porcentaje de bajas es menor para un suelo de paja que para uno de *slat* (con el mismo sistema de calefacción).

### 3.4. ANÁLISIS DE LA RELACIÓN PESO DE ENTRADA – SUPERVIVENCIA

Un parámetro importante desde un punto de vista económico es la estimación de cuál es el peso mínimo de entrada que garantiza la supervivencia de los animales y, por lo tanto, la viabilidad del proceso de engorde.

En base a la teoría de decisión Bayesiana, el establecimiento de un valor óptimo a partir de los histogramas de peso de entrada para los animales que sobreviven y los que mueren durante el proceso, y sus respectivas distribuciones normales, no es inmediato. Sin embargo, una estimación del mismo resulta posible y, de hecho, para nuestros datos puede tomarse un valor en torno a 4.5 kg.

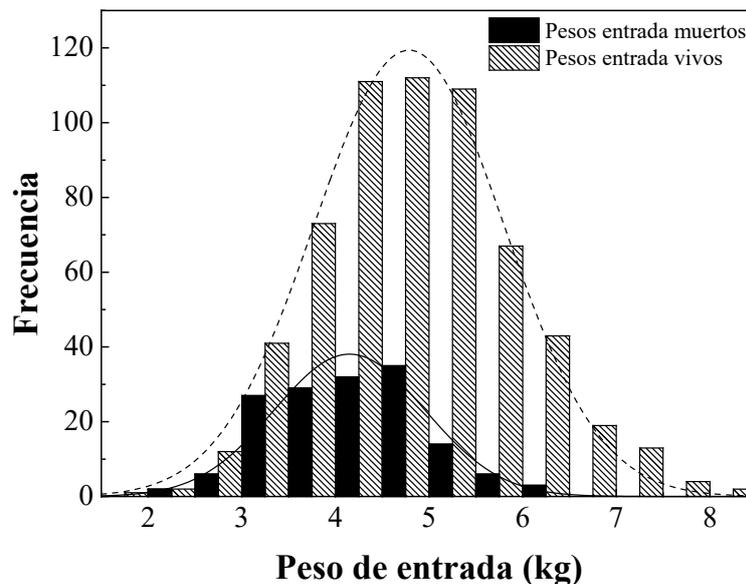


Figura 24. Relación pesos de entrada de corderos muertos y vivos.

Por tanto, para intentar determinar a partir de qué peso la probabilidad de supervivencia es alta, se ha utilizado primeramente una curva ROC como herramienta de apoyo para tomar la mejor decisión. La curva ROC obtenida se muestra a continuación:

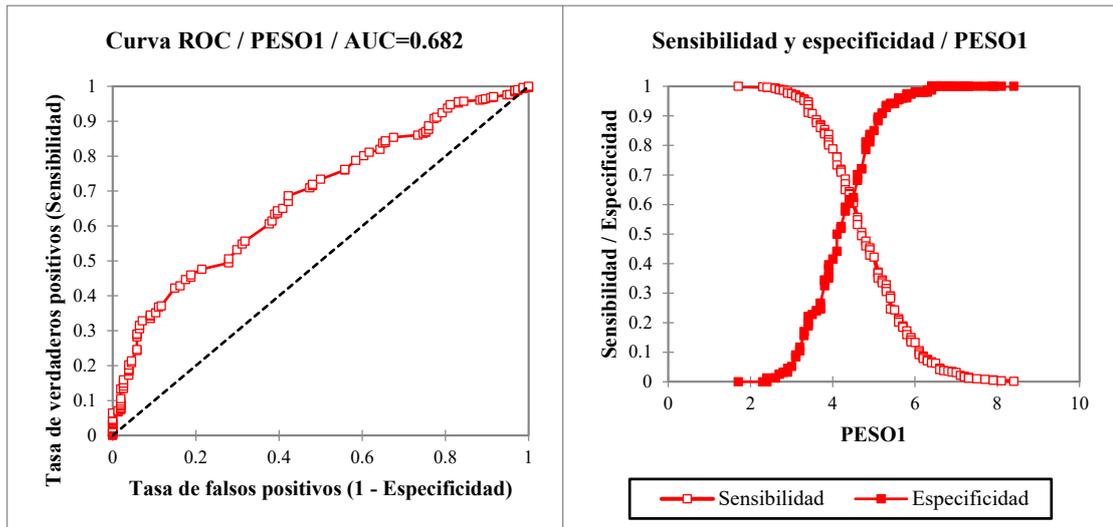


Figura 25. Curva ROC (izquierda); sensibilidad y especificidad (derecha).

La figura 25 muestra, para cada peso posible, el valor de los diversos índices de desempeño. Se puede apreciar que en torno a un peso de 4.4 kg (donde se cruzan las curvas) se maximizan la sensibilidad y la especificidad. La sensibilidad (equivalente a Tasa de Verdaderos Positivos) mide hasta qué punto la prueba es efectiva cuando se usa con individuos positivos (corderos que sobreviven), mientras que la especificidad (también llamada Tasa de Verdaderos Negativos) mide hasta qué punto la prueba es efectiva cuando se usa con individuos negativos (corderos que mueren). La prueba sería perfecta para individuos positivos (negativos) cuando la sensibilidad (especificidad) fuese 1, y equivaldría a lo que se obtendría por azar cuando la sensibilidad fuese 0.5. Vemos que, para el peso indicado anteriormente, se consigue una sensibilidad de 0.644 y una especificidad de 0.604.

Respecto al área de debajo de la curva (AUC) se obtiene un valor de 0.682, que indica que la prueba de diagnóstico sería más potente que una simple regla de azar (0.5).

Área debajo de la curva (AUC):

AUC	Error estándar	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)
0.682	0.017	0.648	0.716

Comparación de la AUC con 0.5:

Intervalo de confianza (95%) para la diferencia entre la AUC y 0.5 (Prueba bilateral):  
] 0.148; 0.216 [

Diferencia	0.182
z (Valor observado)	10.490
z (Valor crítico)	1.960
valor-p (bilateral)	< 0.0001
alfa	0.05

Interpretación de la prueba:

H0: La AUC es igual a 0.5.

Ha: La AUC es diferente de 0.5.

Puesto que el valor-p computado es menor que el nivel de significación  $\alpha=0.05$ , se debe rechazar la hipótesis nula H0, y aceptar la hipótesis alternativa Ha.

El riesgo de rechazar la hipótesis nula H0 cuando es verdadera es inferior al 0.01%.

No obstante, la prueba de diagnóstico no ha resultado ser especialmente potente. Esto ha llevado a recurrir una regresión logística binaria. La regresión logística es útil cuando queremos comprender o prever el efecto de una (o varias) variable (en nuestro caso el peso de entrada) sobre una variable con respuesta binaria (si sobreviven o mueren), y puede utilizarse para realizar predicciones. Del cálculo de probabilidades (valores pronosticados) con SPSS se obtiene que la probabilidad de supervivencia en función del peso de entrada es la mostrada en la figura siguiente:

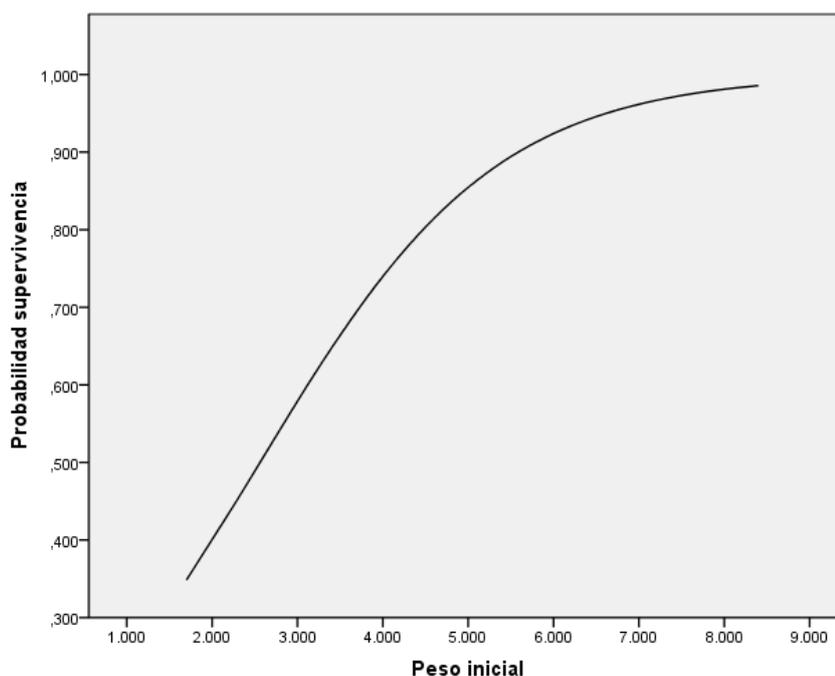


Figura 26. Función de probabilidad de supervivencia del cordero en función del peso de entrada.

**Variables en la ecuación**

	B	E.T.	Wald	gl	Sig.	Exp(B)	I.C.95% para EXP(B)	
							Inferior	Superior
Paso 1 <sup>a</sup> Peso_inicial	.726	.108	45.543	1	.000	2.067	1.674	2.552
Constante	-1.860	.470	15.676	1	.000	.156		

a. Variable(s) introducida(s) en el paso 1: Peso\_inicial.

**Bootstrap para Variables en la ecuación**

	B	Bootstrap <sup>a</sup>				
		Sesgo	Típ. Error	Sig. (bilateral)	Intervalo de confianza al 95%	
					Inferior	Superior
Paso 1 Peso_inicial	.726	.007	.093	.002	.562	.910
Constante	-1.860	-.035	.411	.002	-2.679	-1.139

a. Unless otherwise noted, bootstrap results are based on 450 stratified bootstrap samples

Para la obtención de intervalos de confianza, se ha recurrido la técnica del *bootstrapping*, incluida entre las opciones avanzadas de la regresión logística en el software SPSS. Se ha optado por un muestreo aleatorio estratificado por peso de entrada utilizando una población de 450 individuos como muestra.

La tabla de clasificación presentada a continuación permite evaluar el ajuste de modelo de regresión en base a la comparación de valores predichos con observados. Se ha utilizado como punto de corte de la probabilidad 0.5 (valor por defecto del programa): esto significa que aquellos sujetos para los que la ecuación calcula una probabilidad por debajo de 0.5 se clasifican como “muertos” y por encima de 0.5 como “vivos”. Con el modelo propuesto se clasifican correctamente un 79.7% del total de casos, y sólo un 1.3% de los muertos se clasificaron como vivos.

**Tabla de clasificación<sup>a</sup>**

Observado			Pronosticado		
			BAJA		Porcentaje correcto
			1	2	
Paso 1	BAJA	1	2	152	1.3
		2	3	606	99.5
Porcentaje global					79.7

a. El valor de corte es .500

### 3.5. ANÁLISIS ECONÓMICO EN FUNCIÓN DEL PORCENTAJE DE MORTALIDAD

Por último, vamos a realizar un análisis económico sencillo a efectos de calcular el precio máximo de compra del animal en función del peso de entrada del animal.

Para realizar esta última etapa trabajamos con datos de ensayos aportados por la empresa OVIARAGON. Toda vez que el objetivo de la cooperativa es no superar un 15% de mortalidad, los datos de referencia han sido tomados respecto a este porcentaje de mortalidad.

Compra animales	7.89 €
Coste compra de la leche y pienso	13.17 €
Coste compra paja	0.67 €
Transporte animales	1.64 €
Coste Materiales	0.43 €
Otros (mano de obra, energía...)	2.25 €
Valoración mortalidad corderos	3.08 €
Coste total por cordero destetado	29.13 €
<b>Coste total cebo por cordero (hasta alcanzar 37 kg)</b>	<b>41.00 €</b>
<b>Coste total producción por cordero</b>	<b>70.13 €</b>

*Figura 27. Costes desglosados por cordero durante la producción. Fuente: OVIARAGON.*

Haremos una serie de aclaraciones: respecto a la compra de animales, se han comprado a un valor fijo de 7.89 €/cordero. La compra de paja, transporte animal, materiales y otros costes los consideramos como costes fijos en la producción, mientras que el coste de la leche y pienso y la valoración mortalidad de corderos serán costes variables en función del porcentaje de mortalidad.

Respecto al coste total de cebo, no se ha aportado los costes del cebo, por lo que tomaremos el valor de 41 € como constantes. Por lo tanto, el coste total de producción por cordero para un porcentaje de mortalidad del 15% es de 70.13 €.

Fijando valores de mortalidad razonables, puesto que en este ensayo el porcentaje de mortalidad ha variado del 10-30%, tomaremos valores intermedios para así conseguir el precio máximo de compra por cordero. Haciendo uso de la Figura 26 que permite predecir el porcentaje de mortalidad en base al peso de entrada del cordero, y trabajando con los costes de la Figura 27, se obtiene la siguiente tabla:

*Tabla 16. Relación peso de entrada con precio máximo de compra.*

Bajas (%)	Peso inicial mínimo (kg)	Precio máximo de compra (€/animal)
10.0	5.6	8.61
12.5	5.3	8.25
15.0	5.0	7.89
17.5	4.7	7.53
20.0	4.5	7.17
22.5	4.3	6.81
25.0	4.1	6.45
27.5	3.9	6.09
30.0	3.7	5.73

Se observa que, conforme aumenta el porcentaje de mortalidad, el precio de compra por cordero disminuye, ya que el coste total por cordero destetado aumenta. Gracias a esta relación, y dependiendo del peso de entrada de cordero, se le fijara un precio u otro.

Respecto a la venta del cordero, con datos obtenidos de OVIARAGON se vende el cordero con 37 kg para la exportación y se valora 2.4 €/kg. Por lo tanto, para un 15% de mortalidad, que es el objetivo de la empresa, variando en un  $\pm 10\%$  el valor de compra se obtendrá la siguiente tabla:

Tabla 17. Evolución beneficios en función del precio de compra

Precio venta (€/kg)	Ingresos (€/cordero)	Coste total	Beneficio (€/cordero)
2.16	79.92	70.13	9.79
2.22	82.14	70.13	12.01
2.28	84.36	70.13	14.23
2.34	86.58	70.13	16.45
2.40	88.80	70.13	18.67
2.46	91.02	70.13	20.89
2.52	93.24	70.13	23.11
2.58	95.46	70.13	25.33
2.64	97.68	70.13	27.55

En la siguiente imagen veremos una representación gráfica de la variación del precio máximo de compra respecto al porcentaje de bajas y al peso de entrada.

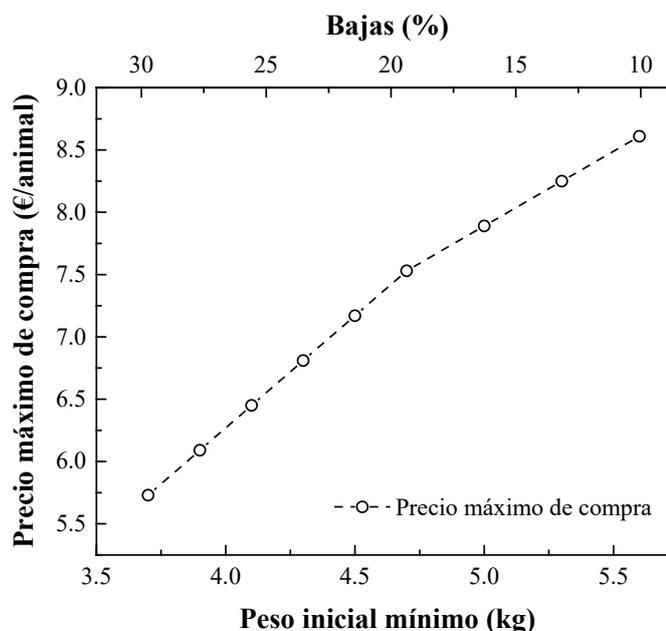


Figura 28. Evolución gráfica precio de compra con % bajas y peso de entrada.

Por último, mostraremos la representación gráfica del beneficio por cordero respecto al precio de venta, para una mortalidad del 15%.

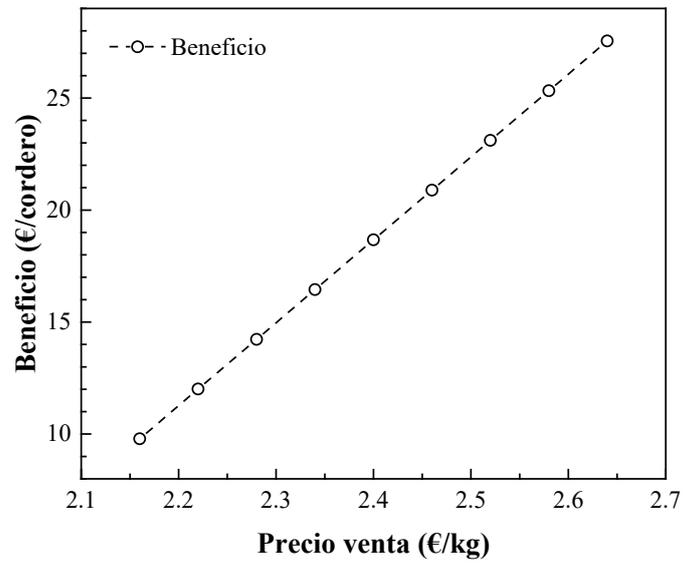


Figura 29. Representación gráfica beneficio vs precio de venta.

## 4. CONCLUSIONES

1. En relación con la temperatura del alojamiento, el sistema de calefacción con lámpara IR es preferible al sistema de placa calefactora. Por otra parte, la humedad relativa ha resultado ser menor en el sistema de manejo basado en suelo de paja que el basado en suelo en emparrillado. Las concentraciones de gases nocivos han resultado ser muy bajas en todos los sistemas de manejo empleados y no suponen un condicionante.
2. En los parámetros ambientales de temperatura y humedad relativa del alojamiento se observan diferencias muy significativas entre los periodos estacionales (por las deficiencias de aislamiento de la nave). Si bien los sistemas de calefacción no tienen una gran influencia sobre la temperatura global interior de la nave, sí que se observa un adecuado confort en la zona localizada del cordero. Esta modulación al alza de la temperatura ambiental (y de los ITH) se traduce en una importante reducción de las bajas (10%) y hace que el empleo de sistemas de calefacción sea un aspecto clave para el éxito del proceso.
3. Respecto a los parámetros productivos, la ganancia media diaria depende fundamentalmente del sistema de manejo, y ha sido superior en el sistema paja + lámpara IR. Asimismo, se ha observado que el periodo estacional no tiene una influencia significativa sobre la ganancia media diaria, y el efecto de los lactoreemplazantes no ha sido concluyente.
4. Se ha corroborado que el peso de entrada tiene una fuerte influencia sobre el porcentaje de bajas, de forma que los corderos que entran con pesos bajos (peso medio <4.1 kg) mueren prematuramente respecto a aquellos de pesos superiores (un 81% de las bajas para estos corderos se producen en los primeros días tras la llegada).
5. La mayoría de las bajas (un 73% del total) se producen en los primeros días tras la llegada.
6. El porcentaje de bajas más bajo se consigue para el sistema de manejo con suelo paja con calefacción por lámpara IR.
7. Se puede establecer que el sistema de manejo con suelo de paja y lámpara IR es la opción más deseable, tanto desde un punto de vista ambiental como desde el punto de vista productivo, para su implantación en otros cebaderos. A lo anterior hay que sumarle la ventaja adicional del menor coste de instalación frente al sistema de suelo emparrillado.
8. Al depender la viabilidad y rentabilidad del proceso fundamentalmente del peso de entrada de los corderos, una contribución clave del estudio ha sido la obtención de una curva de predicción que permite predecir el porcentaje de bajas en función del peso de entrada con un porcentaje de acierto del 80%.
9. En base a las predicciones de bajas en función del peso de entrada, se ha realizado un análisis económico que permite estimar el precio máximo por cordero que se puede pagar para un determinado peso de entrada a fin de garantizar la rentabilidad del proceso.



## 5. BIBLIOGRAFÍA

- Albenzio, M., Santillo, A., Caroprese, M., Marino, R., Centoducati, P., & Sevi, A. (2005). Effect of different ventilation regimens on ewes' milk and Canestrato Pugliese cheese quality in summer. *Journal of Dairy Research*, 72: 447-455.
- Andersen, I., & Bøe, K. (2007). Resting pattern and social interactions in goats—The impact of size and organisation of lying space. *Applied Animal Behaviour Science*, 89-103.
- Bello, J., Marco, L., Ruiz, S., Hernández, V., Carranza, R., & Mantecón, Á. (2016). Efecto de las condiciones ambientales sobre la mortalidad de corderos en un cebadero comercial. *XLI Jornadas Científicas y XVII Jornadas Internacionales de Ovinotecnia y Caprinotecnia* (págs. 367-371 ). Talavera de la Reina, Toledo, España: Sociedad Española de Ovinotecnia y Caprinotecnia y Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario.
- Berry, R., Kennedy, A., Scott, S., Kyle, B., & Schaefer, A. (2003). Daily variation in the udder surface temperature of dairy cows measured by infrared thermography. *Canadian Journal of Animal Science* 83, 687-693.
- Blecha, F., Pollman, D., & Nichols, D. (1983). Weaning pigs at an early age decreases cellular. *Journal of Animal Science*, 396-400.
- Bøe, K. (1985). *Draining floors for sheep. Original title: Drenerende gulv for sau. Report nr 218 from the Institute for building technology.*
- Bøe, K., Berg, S., & Andersen, I. (2006). Resting behaviour and displacements in ewes—effects of reduced lying space and pen shape. *Applied Animal Behaviour Science*, 249-259.
- Bush, I., & Ferguson, K. (1953). The secretion of the adrenal cortex in the sheep. *J Endocrinol*, 1-8.
- Buxadé, C. (1998). *Ovino de carne: aspectos claves.*
- Capdeville, J., & Tillie, M. (1995). *L'ambiance dans les bâtiments d'élevage bovin, ovin, caprin & équin.* Francia: Paris : Institut de l'élevage.
- Caroprese, M. (2008). Sheep housing and welfare. *Small ruminant research*, 76(1), 21-25.
- Day, J., Boland, T., & Crosby, T. (2006). The effects of plastic slatted floor or straw bedding on performance, liver weight and liver copper concentrations in intensively reared lambs. *Livestock Science*, 270-275.

- Dos Santos Daltro, D., Fischer, V., München Alfonso, E. P., Calderaro Dalcin, V., Tempel Stumpf, M., Jacob Kolling, G., . . . McManus, C. (2017). infrared thermography as a method for evaluating the heat tolerance in dairy. *Brazilian Journal of Animal Science*, 374-383.
- Faarevik, G., Andersen, I., & Boe, K. (2005). Preferences of sheep for different types of pen flooring. *Applied Animal Behaviour Science*, 90(3), 265-276.
- Finocchiaro, R., van Kaam, J. B., Portolano, B., & Misztal, I. (2005). Effect of Heat Stress on Production of Mediterranean Dairy Sheep. *J. Dairy Sci.* 88, 1855-1864.
- Fowler, D., O'Donoghue, M., Muller, J., Smith, R., Dragosits, U., Skiba, U., . . . Brimblecombe, P. (2004). A chronology of nitrogen deposition in the UK between 1900 and 2000. *Water, Air, & Soil Pollution: Focus*, 9-23.
- García-Ramos, F., Lahera, L., & Horcas, E. (2007). Condiciones ambientales en cebaderos de corderos. *Mundo Ganadero*, (201), 38-43.
- Gonzalez, J. (2015). *Tesis doctoral*. Universidad de Zaragoza: Zaragoza (España).
- Hristov, A., Hanigan, M., Cole, A., Todd, R., McAllister, T., Ndegwa, P., & Rotz, A. (2010). review: Ammonia emissions from dairy farms and beef feedlots. *Canadian Journal of Animal Science*, 91(1):1-35.
- Jasper, J., Hötzel, M., & Weary, D. (2008). Understanding weaning distress. *Applied Animal Behaviour Science*.
- Johns, M. (2006). Rearing orphan lambs. Farmnote 78/99. *Animal Research and Development Services*.
- Jørgensen, G., & Bøe, K. (2009). The effect of shape, width and slope of a resting platform on the resting behaviour of and floor cleanliness for housed sheep. *Small Ruminant Research*, 57-63.
- Jørgensen, G., Johanssen, J., & Bøe, K. (2017). Preference in shorn sheep for different types of slatted flooring at low ambient temperatures. *Small Ruminant Research*, 17-22.
- Kalyan, D., Davendra, K., Vijay, K., & Syed, M. (2017). Study of circadian rhythmicity of physiological response and skin temperature of sheep during summer and winter in semi-arid tropical environment. *Physiology & Behavior* 169, 16-21.
- Knížková, I., Kunc, P., Gurdil, G., Pinar, Y., & Selvi, K. (2007). Applications of infrared thermography in animal production. *Journal of the Faculty of Agriculture* 22, 329-336.
- Koluman, N., & Daskiran, I. (2011). Effects of ventilation of the sheep house on heat stress, growth and thyroid hormones of lambs. *Tropical animal health and production*, 43(6), 1123-1127.

- Langlands, J., & Donald, G. (1975). The intakes and growth rates of grazing border Leicester × Merino lambs weaned at 21, 49 and 77 days. *Animal Production*, 175 - 181.
- Leme, T., Titto, E., Titto, C., Pereira, A., & Neto, M. (2013). Influence of stocking density on weight gain and behavior of feedlot lambs. *Small Ruminant Research*, 115(1-3), 1-6.
- Lowe, T., Neville, G., Andrew, D., & Payne, S. (2002). The effects of temperature elevation and water deprivation on lamb physiology, welfare, and meat quality. *Australian Journal of Agricultural Research*, 53(6) 707 - 714.
- Lynch, E., Bernadette, E., McGee, M., & Doyle, S. (2010). Characterisation of physiological and immunological responses in beef cows to abrupt weaning and subsequent housing. *BMC Veterinary Research*, (6):37.
- Minka, N., & Ayo, J. (2009). Physiological responses of food animals to road transportation stress. *African Journal of Biotechnology Vol. 8 (25)*, 7415-7427.
- Montanholi, Y., Odongo, N., Swanson, K., Schenkel, F., McBride, B., & Miller, S. (2008). Application of infrared thermography as an indicator of heat and methane production and its use in the study of skin temperature in response to physiological events in dairy cattle (*Bos taurus*). *Journal of Thermal Biology*, 468-475.
- Monteny, G., & Erisman, J. (1998). Ammonia emission from dairy cow buildings: a review of measurement techniques, influencing factors and possibilities for reduction. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 46(3-4), 225-247.
- Möstl, E., & Palme, R. (2002). Hormones as indicators of stress. *Domestic Animal Endocrinology*, 67-74.
- Moura, D., Maia, A., Vercellino, R., Medeiros, B., Sarubbi, J., & Griska, P. (2011). Uso termografia infravermelha na análise da termorregulação de cavalo em treinamento. *Engenharia Agrícola* 31, 23-32.
- Muñoz-Osorio, G., Aguilar-Caballero, A., Sarmiento-Franco, L., Wurzinger, M., & Gutiérrez-Reynoso, G. (2016). The effect of two housing systems on productive performance of hair-type crossbreed lambs in sub-humid tropics of Mexico. *Journal of Applied Animal Research*, 384-388.
- Napolitano, F., De Rosa, G., & Sevi, A. (2008). Welfare implications of artificial rearing and early weaning in sheep. *Applied Animal Behaviour Science*.
- Ni, J. (1999). Mechanistic Models of Ammonia Release from Liquid Manure: a Review. *Journal of agricultural engineering research*, 72 (1), 1-17.

- Paim, T., Martins, R., Cardoso, C., Dallago, B., Louvandini, H., & McManus, C. (2014). Thermal comfort index and infrared temperatures for lambs subjected to different environmental conditions. *Scientia Agricola*, 71(5), 356-361.
- Paim, T., Borges, B., Lima, P., Gomes, E., Dallago, B., Fadel, R., & . . . C., M. (2013). Thermographic evaluation of climatic conditions on lambs from different genetic groups. *International journal of biometeorology*, 57(1), 59-66.
- Pereira, A., Bonifácio, A., dos Santos, C., da Silva, I., Silva, T., Silva Sousa, K., & Gottardi, F. (2014). Thermoregulatory traits of native sheep in pregnancy and supplemented in grazing system. *Journal of Agricultural Science*, 113-119.
- Pereira, J., Misselbrook, T., Chadwick, D., Coutinho, J., & Trindade, H. (2012). Effects of temperature and dairy cattle excreta characteristics on potential ammonia and greenhouse gas emissions from housing: A laboratory study. *Biosystems engineering*, 112(2), 138-150.
- Pérez-León, I., Orihuela, A., Lidfors, L., & Aguirre, V. (2006). Reducing mother-young separation distress by inducing ewes into oestrus at the day of weaning. *Animal Welfare*, 383-389(7).
- Philippe, F., Laitat, M., Canart, B., Vandenheede, M., & Nicks, B. (2007). Gaseous emissions during the fattening of pigs kept either on fully slatted floors or on straw flow. *Animal*, 1515-1523.
- Phillips, C., Pines, M., Latter, M., Muller, T., Petherick, J., Norman, S., & Gaughan, J. (2012). Physiological and behavioral responses of sheep to gaseous ammonia. *Journal of animal science*, 90(5), 1562-1569.
- Rodriguez, M., & Fernandez, N. (2015). Monografico cebo: instalaciones, alimentación y sanidad. Instalaciones de cebo de corderos . *XL Congreso SEOC*, (págs. 137-151). Castellón(España).
- Samer, M., Loebstin, C., Fiedler, M., Ammon, C., Berg, W., Sanftleben, P., & Brunsch, R. (2011). Heat balance and tracer gas technique for airflow rates measurement and gaseous emissions quantification in naturally ventilated livestock buildings. *Energy and Buildings*, 43(12), 3718-3728.
- Santolaria, P., Yániz, J., Fantova, E., Vicente-Fiel, S., & Palacín, I. (2013). Climate factors affecting fertility after cervical insemination during the first months of the breeding season in Rasa Aragonesa ewes. *International Journal of Biometeorology*.
- Schrade, S., Zeyer, K., Gygas, L., Emmenegger, L., Hartung, E., & Keck, M. (2012). Ammonia emissions and emission factors of naturally ventilated dairy housing with solid floors and an outdoor exercise area in Switzerland. *Atmospheric Environment*, 47, 183-194.

- Seedorf, J., Hartung, J., Schröder, M., Linkert, K., Pedersen, S., Takai, H., . . . Wathes, C. (1998). Temperature and Moisture Conditions in Livestock Buildings in Northern Europe. *J. agric. Engng Res*, 49-57.
- Sevi, A., Albenzio, M., Annicchiarico, G., Caroprese, M., Marino, R., & Taibi, L. (2002). Effects of ventilation regimen on the welfare and performance of lactating ewes in summer. *Journal of animal science*, 80(9), 2349-2361.
- Sevi, A. (2005). Influence of sunlight, temperature and environment on the fatty acid composition and coagulative properties of sheep milk. En A. Sevi, *The Future of the Sheep and Goat Dairy Sector* (págs. 305-311).
- Sevi, A., Casamassima, D., Pulina, G., & Pazzona, A. (2009). Factors of welfare reduction in dairy sheep and goats. *Italian Journal of Animal Science*, 8(1), 81-101.
- Sevi, A., Napolitano, F., Casamassima, D., Quarantelli, T., & De Paola, R. (1999). Effect of gradual transition from maternal to reconstituted milk on behavioural, endocrine and immune responses of lambs. *Applied Animal Behaviour Scienc*, 64(4), 249-259.
- Shinde, A., & Sejian, V. (2013). Sheep husbandry under changing climate scenario in India: an overview. *Indian Journal of Animal Sciences*, 83(10):998-1008.
- Stefanowska, J., Swierstra, D., Smits, A., Van Den Berg, J., & Metz, J. (2002). Reaction of Calves to Two Flooring Materials Offered Simultaneously in One Pen. *Acta Agriculturae Scandinavica, section A- Animal Science*, 57-64.
- Stewart, M., Webster, J., Schaefer, A., Cook, N., & Scott, S. (2005). Infrared thermography as a non-invasive tool to study animal welfare. *Animal Welfare* 14, 319-325.
- Teixeira, D., Miranda-de la Lama, G., Villarroel, M., Olleta, J., García-Belenguer, S., Escós, J., & María, G. (2015). Effects of alternative bedding substrates on lamb welfare, productive performance, and meat quality during the finishing phase of fattening. *Journal of Veterinary Behavior: Clinical Applications and Research*, 10(2), 171-178.
- Thom, E. (1959). The discomfort index. *Weatherwise* 12, 57-60.
- Ungerfeld, R., Hötzel, M., Scarsi, A., & Quintans, G. (2011). Behavioral and physiological changes in early-weaned multiparous and primiparous beef cows. *Animal*, (8):1270-1275.
- Van der Stelt, B., Temminghoff, E., Van Vliet, P., & Van Riemsdijk, W. (2007). Volatilization of ammonia from manure as affected by manure additives, temperature and mixing. *Bioresource Technology*, 98(18), 3449-3455.