

**EFFECTO DE LA METEOROLOGÍA Y LA ESTACION DEL AÑO
SOBRE LA FERTILIDAD TRAS LA INSEMINACIÓN ARTIFICIAL
EN LA OVEJA: UN ESTUDIO DE SIETE AÑOS.**

LEMA: ¿Quién dijo frío?

*Modalidad B: Zootecnia, Producción Animal y Ciencia y Tecnología de los Alimentos
de origen animal, así como Ciencias Básicas relacionadas con las mismas.*

RESUMEN

Se han estudiado un total de 48.088 inseminaciones artificiales (IA) durante 7 años consecutivos en 79 explotaciones ovinas españolas (41°N). Se registraron las temperaturas (T) medias, máximas y mínimas, las medias diarias de amplitud térmica (AT), humedad relativa (HR), radiación solar (RS) y precipitaciones (P) del día de la IA y 15 días más tarde. Se calcularon también el índice temperatura-humedad (THI) y la T efectiva (TE). Se ha aplicado una regresión logística binaria para estimar el riesgo de no quedar gestante frente a sí quedar tras la IA, a través de los *odds ratios* (OR). Las IA de invierno seguidas de parto se llevaron a cabo bajo significativamente mayores RS ($P<0,01$), T máximas ($P<0,05$) y mínimas ($P<0,01$). Las IA de verano exitosas se dieron bajo significativamente menores valores de RS ($P<0,05$) y T máximas ($P<0,01$). Hasta cinco de las variables estudiadas presentaron $OR>1$ (T máxima, TE y P el día de la IA y T máxima a día 15). Sin embargo, las variables se mostraron como factores predisponentes o de riesgo sobre la fertilidad dependiendo de la estación. En conclusión, el porcentaje de ovejas pariendo tras una IA se ve afectado de manera significativa por la meteorología en función de la estación, ya que las temperaturas revierten sus efectos dependiendo de si la IA se dio durante las estaciones frías o cálidas. Se propone incluir el pronóstico meteorológico como herramienta en la planificación de la IA en la especie ovina.

The effect of meteorological variables and season on fertility rate after artificial insemination in sheep: a seven-year study

ABSTRACT

A total number of 48,088 artificial inseminations (IA) have been controlled during 7 consecutive years, in 79 dairy sheep Spanish farms (41°N). Mean, maximum and minimum ambient temperatures (T), temperature amplitude (TA), mean relative humidity (RH), mean solar radiation (SR) and total rainfall of each insemination Día and 15 Días later were recorded. Temperature-humidity index (THI) and effective temperature (ET) have been calculated. A binary logistic regression model to estimate the risk of not lambing compared to lambing, through the odds ratio (OR), was performed. Successful winter inseminations were carried out under higher SR ($P<0,01$), and summer inseminations under lower SR values ($P<0,05$). Successful inseminations during the summer were performed under significantly lower maximum T ($P<0,01$), while winter inseminations resulted in lambing when were carried out under higher maximum ($P<0,05$) and minimum T ($P<0,01$). Up to five meteorological variables presented $OR >1$ (maximum T, ET and rainfall on IA Día, and ET and rainfall on Día 15) and two variables presented $OR <1$ (SR on IA Día and maximum T on Día 15). However, the effect of meteorological factors affected fertility in opposite ways, so that T becomes protective or risk factor on fertility depending on season. In conclusion, percentage of lambing after IA in sheep is significantly affected by meteorological variables in a seasonal-dependent manner, so that parameters such as temperature reverse their effects in the hot or in the cold seasons. A forecast of the meteorological conditions could be a useful tool when IA dates are being scheduled.

INTRODUCCION

La producción extensiva de ganado está íntimamente ligada al clima y sus variaciones, estudiado y medido a través de la meteorología. Las variables meteorológicas, tales como la temperatura (T), humedad relativa (HR), radiación solar (RS) o las precipitaciones en forma de lluvia (P) son potenciales estresores medioambientales, de modo que pueden afectar de manera negativa al bienestar de los animales y a su productividad, al afectar directamente a los mecanismos fisiológicos (Gomes da Silva, 2006). Se ha sugerido incluso que sería necesaria una mayor comunicación entre los meteorólogos y los veterinarios, con el fin de crear servicios de asesoría a los ganaderos, de modo que éstos pudieran conocer la previsión de cambio del tiempo atmosférico y así tomar decisiones respecto al manejo de su ganado (Gomes da Silva, 2006). Por ejemplo, en sistemas ultra extensivos australianos de ovino, ya se reconoce la necesidad de instalar sistemas de protección frente a la elevada RS de ese país y frente al frío viento invernal, instalando zonas de sombra y paravientos (Taylor et al., 2011).

La exposición de las ovejas a elevadas temperaturas ambiente afecta negativamente a las funciones biológicas, reflejándose en un descenso de sus producciones y de sus índices reproductivos (para revisión: Marai et al., 2007). Además, tal y como revisa Silanikove (2000), la tasa de crecimiento, la producción de leche y la prolificidad caen bruscamente bajo condiciones de estrés calórico como resultado de cambios dramáticos en la fisiología del animal. En vacuno lechero, el concepto de “*cow comfort*” ha incluido recomendaciones sobre la instalación de ventiladores y humidificadores para dispersar y combatir el calor durante la época de mayor calor (Santolaria et al., 2010). Respecto a las precipitaciones, parece ser que su potencial como factor meteorológico que afecte a las producciones animales viene dado de manera indirecta, a través de una disminución

la cantidad de pastos disponibles por el ganado, más que por un efecto directo sobre el animal (Arrébola et al., 2009).

La inseminación artificial (IA) es una de las principales herramientas reproductivas que han contribuido en mayor medida a la mejora genética de las especies ganaderas. Respecto a su eficacia en su aplicación en los pequeños rumiantes, se han demostrado que son muchos los factores que afectan a su porcentaje de éxito. Así, en ovino, Anel et al. (2005) comprobaron que la ganadería, el año, la estación, el veterinario inseminador y la propia técnica de IA afectan al porcentaje de fertilidad. Estos resultados son muy similares a los de Palacín et al. (2012), que publican que el número previo de partos de la oveja, el intervalo parto-IA, el mes, el inseminador, la ganadería y el macho donador de semen modifican el rendimiento a la IA. De manera similar, en caprino se ha demostrado que los factores modificadores del éxito de la IA son la explotación, la edad de la cabra, el tamaño del grupo de inseminación, la prolificidad previa de la cabra, el método de inseminación, el número de partos y la producción de leche, concluyendo que tener todos estos factores bajo control es una tarea ardua (Arrébola et al., 2014).

En vacuno lechero, el acúmulo de condiciones climatológicas estresantes, así como episodios continuados de variación de éstas, produce un efecto negativo sobre la gestación tras la IA de las vacas, tanto durante el invierno como en verano (Santolaria et al., 2010). Son escasos los trabajos realizados para demostrar algún efecto de los factores meteorológicos sobre los resultados de la IA en la especie ovina; por ejemplo, Santolaria et al. (2014), han observado un efecto negativo de la T máxima antes de la IA sobre la tasa de gestación durante los primeros meses de la época reproductiva.

El efecto de las diferentes variables meteorológicas sobre la productividad no puede ser considerado individualmente. Aunque la temperatura ambiente es la medida térmica más importante, el porcentaje de HR o la RS agravan el efecto de las altas temperaturas. Por otra parte, la P aumenta los efectos negativos de las bajas temperaturas, mientras que la RS los compensa. Por ello, este experimento se diseñó con el fin de determinar el efecto de algunas variables meteorológicas registradas en el día de la IA sobre la tasa de fertilidad (porcentaje de ovejas paridas) en las cuatro estaciones del año. Los datos meteorológicos también se recogieron 15 días después de la IA, una vez que cualquier evento que interrumpe la expresión génica de endometrio o el desarrollo del embrión durante el período de reconocimiento materno de la gestación, que se da entre los días 14-15 tras el celo (Spencer et al., 2004), podría ser también responsable de pérdidas embrionarias.

MATERIAL Y METODOS

Animales y explotaciones

En total, 48.088 inseminaciones realizadas dentro de 555 programas de IA, utilizando 6.592 ovejas (edad media $5,2 \pm 2,5$ años), se han registrado durante 7 años consecutivos en 79 ganaderías ovinas localizadas en Castilla y León (entre $41-42^{\circ}\text{N}$ y $3-6^{\circ}\text{O}$), todas ellas pertenecientes a ANCHE (Asociación Española de Criadores de la Raza Churra). Las explotaciones se manejaron bajo un sistema semiextensivo muy estandarizado, especialmente en lo que concierne a la alimentación de los animales y el ordeño. Las ovejas salen a pastar tras el ordeño matinal, y se suplementan con cereales al regresar por la tarde, con el ordeño vespertino.

Datos meteorológicos

Para el día de la IA (día IA) y 15 días más tarde (día 15) se han registrado los siguientes parámetros:

- Temperatura (T) media, máxima y mínima del día ($^{\circ}\text{C}$)
- Amplitud térmica (AT) (diferencia entre la T máxima y mínima del día).
- Humedad relativa media (HR, %).
- Radiación solar media (RS) (MJ/m^2).
- Precipitación total del día (P) (mm).

Los datos se han recogido de las tablas disponibles en la página web del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente de España (<http://eportal.magrama.gob.es/websiar/SeleccionParametrosMap.aspx?dst=1>), de la estación más cercana a la ganadería, respetando siempre una distancia máxima a la explotación de 30 km.

Con estos datos se han calculado, además, los siguientes parámetros:

- Índice temperatura-humedad (THI), de acuerdo a la fórmula propuesta por West (1994):

$$THI = T + 0,36 * HR + 41,2$$

- El THI se ha utilizado para calcular el Grado de Estrés Climático (Fuquay, 1981), donde
 - o $THI \leq 72$ se considera como ausencia de estrés.
 - o THI de 73–77 se considera estrés suave.
 - o THI de 78–89 se considera estrés moderado.
 - o $THI > 90$ se considera estrés severo.
- La Temperatura Efectiva (TE), calculada según (Yamamoto et al.; 1994) como:

$$ET = 0,24 T + 0,76 * RS$$

Inseminación artificial

Los métodos de sincronización de celos y los procedimientos de inseminación se llevaron a cabo bajo las directrices de las “Guías de prácticas correctas de higiene. Ovino de leche” publicadas por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente de España.

Se utilizaron esponjas vaginales impregnadas de 30 mg de acetato de fluorogestona (FGA, Chronogest, MSD Animal Health, Madrid) durante 12 días para inducir la ovulación, acompañadas de la administración de 480 UI de eCG (Folligon, MSD Animal Health, Madrid) a la retirada de la esponja. Las ovejas se inseminaron a las 54 ± 2 h tras la retirada de la esponja. Los grupos de ovejas para inseminación variaron entre 13 y 239 ovejas. Todos los animales habían tenido ya al menos un parto registrado

y se evaluaba su tracto reproductor mediante ecógrafo antes de la sincronización de celos para descartar individuos con problemas reproductivos o gestantes. Igualmente, ovejas con historial previo de abortos no se incluyeron en la IA.

El semen utilizado provenía de 20 machos adultos de la raza Churra, ya testados, y distribuidos de manera equitativa entre todas las granjas del estudio. Solo se utilizaron eyaculados con las siguientes características:

- Volumen $\geq 0,5$ mL
- Concentración $\geq 3 \times 10^9$ esp/mL
- Motilidad masal (0–5) ≥ 4
- Motilidad total $\geq 75\%$.

Los eyaculados se diluyeron a 100×10^6 esp/mL con Tes-Tris-Fructosa, que contiene 10% yema huevo y 4% glicerol, añadidos en dos tiempos. Las dosis se envasaron en pajuelas de 0,25 mL y se congelaron con un congelador programable a razón de -20°C/min hasta -100°C, conservándose en nitrógeno líquido.

En el momento de la IA, las pajuelas se descongelaron en baño maría a 65°C durante seis segundos inmediatamente antes de la inseminación, que fue intrauterina mediante laparoscopia, inyectando $12,5 \times 10^6$ esp (media dosis) en cada cuerno uterino. Todas las inseminaciones fueron realizadas por el mismo veterinario. Los ganaderos introducían sus propios machos 20 días después de la IA, con objeto de conseguir gestaciones de las ovejas que no quedaban preñadas tras la IA. Se realizó una ecografía para diagnóstico de gestación a los 40 días de la IA, pero solo se consideraron gestaciones fruto de ésta aquellos partos que se dieron entre 139 y 158 días de la IA (Palacin et al., 2012).

Análisis estadístico

Tras los partos, los datos fueron recogidos en ANCHE y se calculó la tasa de fertilidad como el número de ovejas paridas/número de ovejas inseminadas.

En un primer paso, el efecto de los factores no meteorológicos (ganadería, año y estación) sobre la fertilidad se analizó mediante un ANOVA multifactorial, utilizando el procedimiento GLM (*general linear model*). Los factores se codificaron como: ganadería (1-79), año (1-7) y estación (1-4). Se calculó también la matriz de correlaciones entre las T medias, máximas y mínimas el día IA y el día 15.

En un segundo paso se determinó el efecto de los factores meteorológicos sobre la tasa de fertilidad, excluyendo los factores de manejo. Los datos se estructuraron como un estudio de caso-control (*case-control study*) (caso: NO parto tras IA; control: SI parto tras IA). En primer lugar se realiza un ANOVA para comparar los factores meteorológicos por estación, utilizando la fertilidad como variable dependiente (NO parto=0; Si parto=1). Posteriormente, se realiza una regresión binaria logística (*binary logistic procedure*) para estimar el riesgo relativo de no parir comparado con el de parir, de acuerdo a las variables meteorológicas dadas, para las cuatro estaciones del año. Estas variables continuas se convirtieron en variables categóricas (*dummy variables*), utilizando la mediana de cada valor como punto de corte (0, por debajo de la mediana; 1, por encima de la mediana). Mediante el procedimiento “*visual binning*” se dividió cada conjunto de datos en dos clases, lo que permite interactivamente crear una variable categórica desde una continua. Todas las variables con una probabilidad de $P < 0,05$ en el análisis univariante se incluyeron en el modelo. Los resultados se presentan con los *odds ratio* (OR) o “razón de oportunidad o riesgos relativos” y su intervalo de confianza (IC) al 95%, por estación del año. Los OR se usan para determinar si la exposición a

una determinada variable (meteorología) es un factor de riesgo para un suceso particular (gestar o no), y para comparar la magnitud de dichos riesgos (Szumilas, 2010). Un $OR=1$ significa que la exposición no afecta el suceso; un $OR>1$ indica que la exposición a dicho factor favorece al suceso (factor predisponente); finalmente un $OR<1$, indica que la exposición hace disminuir el suceso (factor de riesgo).

Se ha utilizado el paquete estadístico SPSS 19.0 (Chicago, Illinois, USA).

RESULTADOS

Las Fig. 1 a 3 muestran la evolución estacional media (\pm S.E.M.) a lo largo de los siete años de estudio de las T media, máxima y mínima (Fig. 1), de la HR y el THI (Fig. 2) y de la RS y P (Fig. 3). La distribución del número de IA efectuadas a lo largo de los siete años de estudio, por estación del año, incluyendo el porcentaje de ovejas que han parido como consecuencia de la IA, se muestra en la Tabla 1. La fertilidad global de la experiencia fue de un 44,8%. EL ANOVA multifactorial efectuado en primer lugar para determinar el efecto de los factores no meteorológicos sobre la fertilidad tras la IA mostró un efecto significativo ($P < 0,001$) de la ganadería (rango fertilidad 21-57%), año (41-48%) y estación. Respecto a esta variable, el porcentaje de fertilidad más bajo se observó en invierno (42,4%), siendo este porcentaje significativamente diferente ($P < 0,001$) en comparación con el valor de primavera (45,4%), verano (45,6%) y otoño (46,0%) (Tabla 1).

En cuanto a las variables meteorológicas, se observaron diferencias significativas tanto en el día IA como en el día 15, entre inseminaciones que dieron parto o que no lo dieron, aunque los resultados variaron con la estación (Tabla 2). Algunos de los resultados más interesantes se dieron al contrastar los efectos contrarios de la RS entre los valores de verano e invierno, de modo que las inseminaciones exitosas invernales se dieron bajo una significativamente superior exposición al sol ($P < 0,01$), y las de verano bajo valores significativamente inferiores ($P < 0,05$) a las inseminaciones negativas. Igualmente, las IA seguidas de gestación durante el verano se realizaron en días con una T máxima significativamente inferior a las IA negativas ($P < 0,01$), mientras que en invierno, las IA positivas se dieron bajo condiciones de mayores T máximas ($P < 0,05$), y mínimas ($P < 0,01$) tanto el día IA como el día 15.

Fig. 1 Variaciones estacionales de las temperaturas media, máxima y mínima (°C) y Temperatura Efectiva (TE = 0,24 * temperatura media temperatura + 0.76 * radiación solar) (medias ± S.E.M.) el día de la inseminación artificial y 15 días después, de ovejas de raza Churra, durante siete años consecutivos en 79 ganaderías.

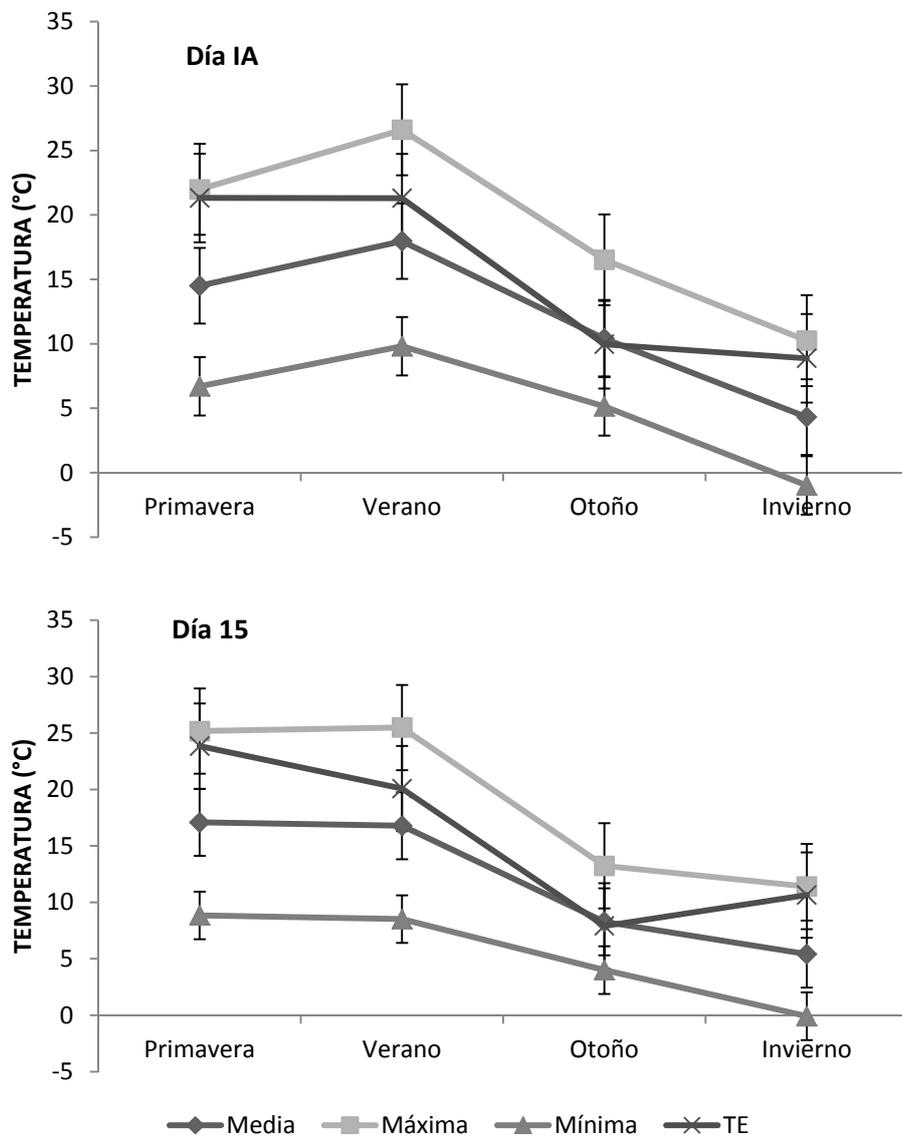


Fig. 2 Variaciones estacionales de la humedad relativa (HR, %) y el índice THI (%) (medias \pm S.E.M.) el día de la inseminación artificial (IA) y 15 días después de ovejas de raza Churra, durante siete años consecutivos en 79 ganaderías.

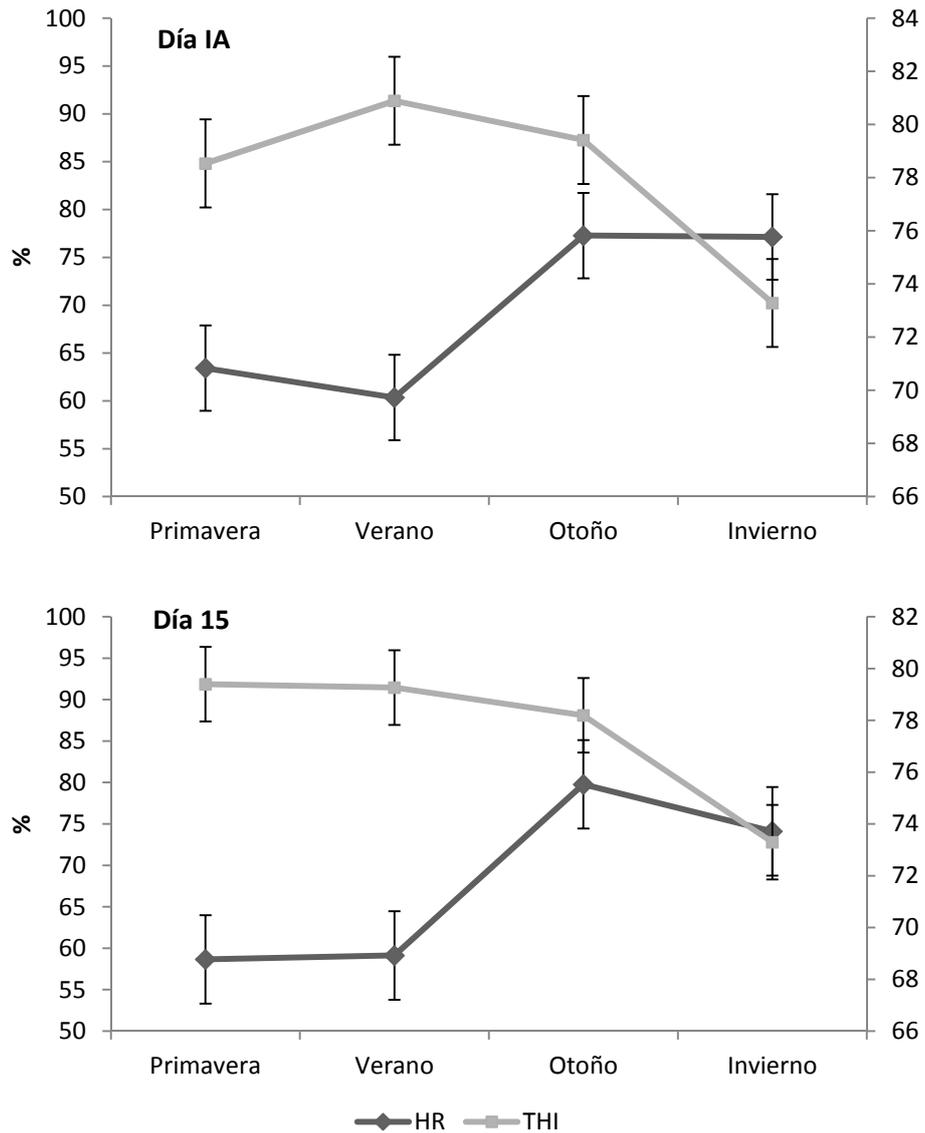
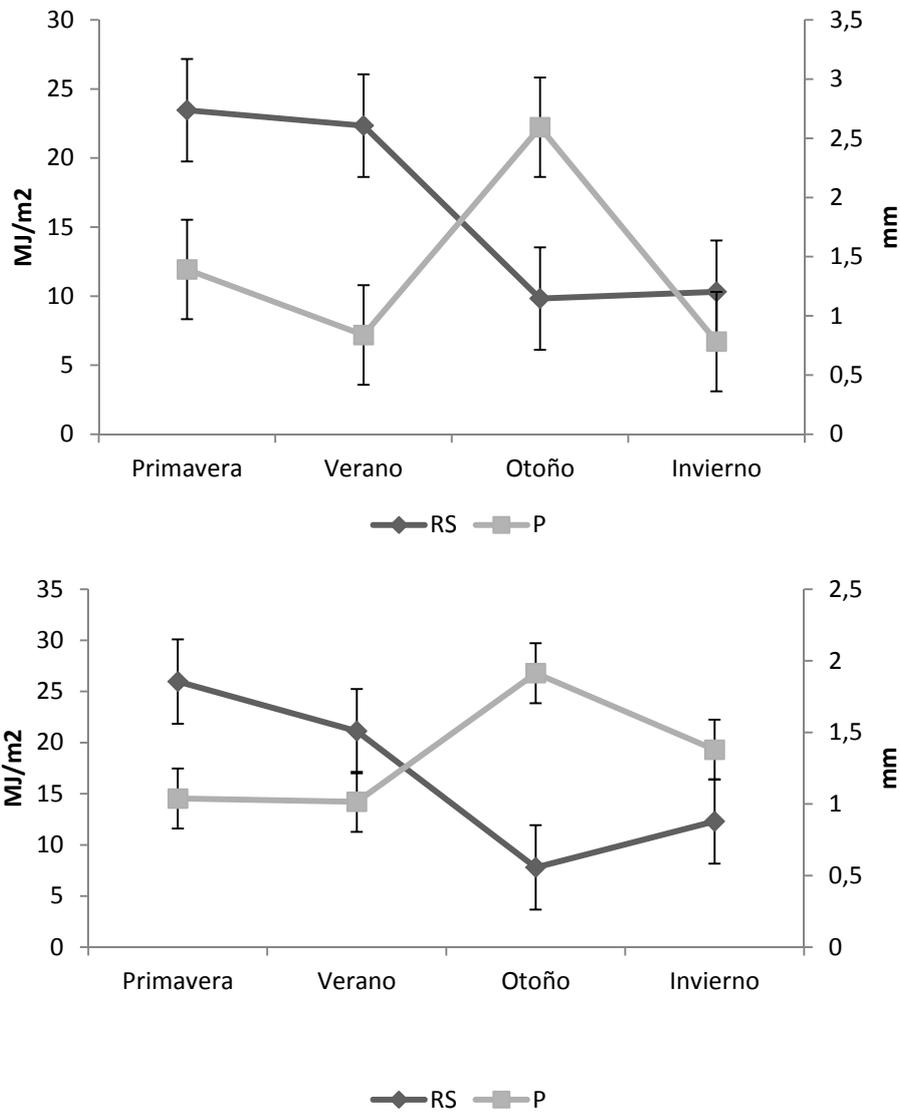


Fig. 3 Variaciones estacionales de la radiación solar (RS, MJ/m²) y las precipitaciones (P, mm) (medias ± S.E.M.) el día de la inseminación artificial (IA) y 15 días después de ovejas de raza Churra, durante siete años consecutivos en 79 ganaderías.



Las T medias, máximas y mínimas recogidas el día IA mostraron un coeficiente de correlación positivo y significativo con sus equivalentes registradas el día 15 (T media: 0,757, $P < 0,0001$; T máxima: 0,708, $P < 0,0001$; T mínima: 0,605, $P < 0,0001$).

El análisis multivariante (Tabla 3) mostró que cuando se considera el total de datos como un único grupo, hasta cinco de las variables meteorológicas estudiadas presentaron un $OR > 1$ (T máxima, TE y P el día IA, y TE y P el día 15), de modo que a mayor valor del OR, mayor porcentaje de ovejas que paren tras la IA. Dos variables presentaron un $OR < 1$ (RS el día IA y la T máxima el día 15). Sin embargo, la regresión logística binaria por estación del año demostró que el efecto de los factores meteorológicos afectó a la fertilidad tras la IA de modos diferentes.

La primavera fue la estación con un mayor número de variables que modificaron de manera significativa a la fertilidad (un total de nueve), siendo el invierno la estación con el menor número de variables con un efecto significativo sobre la fertilidad (cinco). Para destacar los resultados más interesantes, hay que anotar que la T media afectó de manera positiva y significativa a la fertilidad tras IA en primavera ($OR = 1,321$) e invierno ($OR = 1,816$). La T máxima presentó un $OR < 1$ en verano (0.334) y > 1 en otoño (1.322), de modo que su efecto sobre la fertilidad dependió de la estación del año. Lo contrario de dio para la T mínima el día IA, con un $OR > 1$ durante el verano (1,353) y < 1 durante el otoño (0,873) e invierno (0,472), de modo que cuanto menor era la T mínima alcanzada durante el verano el día en el que se inseminaba, se lograba la mayor fertilidad. Al contrario, a mayor T mínima alcanzada durante los días de inseminación en otoño e invierno, se daba la menor tasa de fertilidad. De este modo, la T se convierte en un factor predisponente o de riesgo sobre la fertilidad en función de la estación del año en la que se insemine.

Efecto de la meteorología sobre la fertilidad ovina

Tabla 1 Número de ovejas paridas/número total de ovejas inseminadas, tras inseminación artificial intrauterina realizada en 79 ganaderías de ovino lechero de la raza Churra durante un periodo de siete años, por estación. Los porcentajes indican fertilidad anual (columna) o por estación (fila).

Estación	Año							Total
	1	2	3	4	5	6	7	
Primavera	1082/2469 43,8%	1376/3153 43,6%	1783/3797 47,0%	1488/2256 41,4%	1250/2473 50,5%	887/1862 47,6%	401/871 46,0%	8267/18221 45,4%
Verano	211/391 54,0%	712/1699 41,9%	1069/2337 45,7%	549/1341 40,9%	556/1033 53,8%	325/739 44,0%	159/317 50,2%	3581/7857 45,6%
Otoño	855/2093 40,9%	1642/3709 44,3%	809/1736 46,6%	890/1702 52,3%	468/921 50,8%	224/462 48,5%		4888/10623 46,0%
Invierno	573/1700 33,7%	604/1378 43,8%	777/1817 42,8%	778/1727 45,0%	952/2248 42,3%	763/1653 46,2%	379/864 43,9%	4826/11387 42,4%
Total	2721/6653 40,9%	4334/9939 43,6%	4438/9687 45,8%	3705/8366 44,3%	3226/6675 48,3%	2199/4716 46,6%	939/2052 45,8%	21562/48088 44,8%

Tabla 2 Datos meteorológicos (medias \pm S.E.M.) de inseminaciones seguidas de parto (SI) o no (NO), correspondientes al día de la inseminación artificial (Día IA) y 15 días más tarde (Día 15), en 79 ganaderías de ovino lechero de la raza Churra durante un periodo de siete años, por estación.

PARTO	PRIMAVERA		VERANO		OTOÑO		INVIERNO	
	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI
N	9954	8267	4276	3581	5735	4888	6561	4826
Temperatura media (°C)								
Día IA	14,53 \pm 0,04	14,47 \pm 0,04	17,99 \pm 0,04	17,93 \pm 0,07	10,41 \pm 0,04	10,38 \pm 0,04	4,34 \pm 0,04	4,29 \pm 0,05
Día 15	17,17 \pm 0,04 ^a	16,96 \pm 0,04 ^b	16,70 \pm 0,04 ^a	16,88 \pm 0,08 ^b	8,27 \pm 0,04	8,28 \pm 0,04	5,28 \pm 0,04 ^c	5,51 \pm 0,05 ^d
Temperatura máx. (°C)								
Día IA	22,07 \pm 0,05	21,86 \pm 0,05	25,59 \pm 0,08	26,63 \pm 0,09	16,52 \pm 0,09	16,51 \pm 0,09	10,14 \pm 0,07 ^b	10,33 \pm 0,06 ^a
Día 15	25,29 \pm 0,05 ^a	25,03 \pm 0,06 ^b	25,39 \pm 0,07	25,60 \pm 0,06	13,16 \pm 0,07 ^a	13,22 \pm 0,06 ^b	11,50 \pm 0,06 ^a	11,27 \pm 0,06 ^b
Temperatura mín. (°C)								
Día IA	6,66 \pm 0,03 ^c	6,75 \pm 0,003 ^d	9,91 \pm 0,07 ^c	9,70 \pm 0,08 ^d	5,13 \pm 0,06	5,15 \pm 0,06	-1,00 \pm 0,05	-0,96 \pm 0,05
Día 15	5,58 \pm 0,03 ^c	5,63 \pm 0,04 ^d	8,48 \pm 0,06	8,55 \pm 0,06	4,03 \pm 0,06	3,97 \pm 0,06	-0,21 \pm 0,04 ^d	0,01 \pm 0,06 ^c
Amplitud Térmica (°C)								
Día IA	8,90 \pm 0,03	8,77 \pm 0,04	16,69 \pm 0,07 ^c	16,93 \pm 0,08 ^d	11,39 \pm 0,08	11,35 \pm 0,07	11,33 \pm 0,08 ^c	11,10 \pm 0,07 ^d
Día 15	13,69 \pm 0,03	13,76 \pm 0,04	16,90 \pm 0,08	17,05 \pm 0,07	9,14 \pm 0,08 ^c	9,36 \pm 0,07 ^d	11,49 \pm 0,08	11,49 \pm 0,07
Temperatura Efectiva								
Día IA	21,41 \pm 0,05 ^a	21,18 \pm 0,05 ^b	21,20 \pm 0,04	21,40 \pm 0,04	9,98 \pm 0,07	9,94 \pm 0,07	8,97 \pm 0,07 ^c	8,75 \pm 0,07 ^d
Día 15	23,86 \pm 0,05	23,81 \pm 0,06	19,96 \pm 0,04 ^c	20,22 \pm 0,04 ^d	7,89 \pm 0,04	7,94 \pm 0,04	10,70 \pm 0,07	10,58 \pm 0,07

(a,b P<0,05; c,d P<0,01 dentro de estación).

Efecto de la meteorología sobre la fertilidad ovina

Tabla 2 (continuación).

PARTO	PRIMAVERA		VERANO		OTOÑO		INVIERNO		
	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	
N	9954	8267	4276	3581	5735	4888	6561	4826	
Humedad Relativa (%)									
Día IA	63,32±0,09	63,54±0,10	60,75±0,20 ^c	59,88±0,19 ^d	77,31±0,13	77,23±0,06	77,08±0,13 ^c	77,20±0,15 ^d	
Día 15	58,61±0,09	58,71±0,22	59,34±0,17	58,86±0,22	79,99±0,15 ^a	79,52±0,08 ^b	73,83±0,12	74,47±0,17	
THI									
Día IA	77,53±0,03	78,54±0,03	81,07±0,06	80,69±0,06	79,44±0,06	79,38±0,06	73,29±0,06	73,28±0,06	
Día 15	79,47±0,03 ^c	79,30±0,03 ^d	79,26±0,06	79,27±0,05	78,26±0,06	78,11±0,06	73,29±0,06	73,29±0,06	
Radiación Solar (MJ/m ²)									
Día IA	23,59±0,06 ^c	23,30±0,06 ^d	22,21±0,08 ^a	20,99±0,10 ^b	9,84±0,07	9,80±0,09	10,43±0,07 ^c	12,33±0,09 ^d	
Día 15	25,97±0,06	25,97±0,06	22,49±0,11	21,28±0,09	7,77±0,07	7,83±0,09	10,15±0,07	12,25±0,09	
Precipitaciones (mm)									
Día IA	1,34±0,02 ^a	1,45±0,03 ^b	0,85±0,04	0,82±0,04	2,58±0,08	2,60±0,04	0,83±0,03	1,41±0,04	
Día 15	1,04±0,02	1,03±0,02	0,90±0,04 ^c	1,15±0,07 ^d	1,90±0,08	1,93±0,04	0,72±0,02	1,33±0,04	

Temperatura Efectiva= 0,24 * Temperatura + 0,76 * Radiación Solar;

THI (Indice Temperatura-Humedad) =T + 0,36 * Humedad Relativa + 41,2

(a,b P<0,05; c,d P<0,01 dentro de estación)

Tabla 3 Resultados del Análisis de Regresión Logística Binaria realizada tras los registros de partos tras inseminación artificial (IA), con la fertilidad (sí o no parto) como variable dependiente, tras 48.088 inseminaciones realizadas en 79 ganaderías de ovino lechero de la raza Churra durante un periodo de siete años, por estación.

GLOBAL

VARIABLES INDEPENDIENTES	ODDS RATIO	95% INTERVALO DE CONFIANZA	P
Temperatura Máxima día IA	1,148	1,091-1,209	0,000
Temperatura Efectiva día IA	1,144	1,041-1,256	0,005
Radiación Solar día IA	0,793	0,718-0,877	0,000
Precipitación día IA	1,069	1,026-1,113	0,001
Temperatura Máxima día 15	0,932	0,878-0,989	0,020
Temperatura Efectiva día 15	1,114	1,053-1,179	0,000
Precipitación día 15	1,057	1,015-1,101	0,007

PRIMAVERA

Temperatura Media día IA	1,321	1,162-1,501	0,000
Temperatura Máxima día IA	0,880	0,776-0,997	0,045
Temperatura Efectiva día IA	0,902	0,821-0,991	0,032
Temperatura Media día 15	0,480	0,397-0,580	0,000
Temperatura Máxima día 15	1,585	1,324-1,897	0,000
Temperatura Mínima día 15	1,300	1,154-1,465	0,000
Amplitud Térmica día 15	0,822	0,749-0,901	0,000
Humedad Relativa día 15	0,884	0,802-0,973	0,012
THI día 15	0,853	0,783-0,929	0,000

Tabla 3 (continuación)

Variables independientes	Odds Ratio	95% Intervalo de Confianza	P
VERANO			
Temperatura Máxima día IA	0,334	0,229-0,487	0,000
Temperatura Mínima día IA	1,353	1,140-1,607	0,001
Temperatura Efectiva día IA	0,478	0,360-0,635	0,000
Humedad Relativa día IA	0,643	0,543-0,763	0,000
THI día IA	0,877	0,776-0,992	0,036
Radiación Solar día IA	1,455	1,149-1,843	0,002
Temperatura Máxima día 15	0,614	0,496-0,759	0,000
Amplitud Térmica día 15	1,829	1,615-2,071	0,000
Precipitación día 15	1,240	1,107-1,390	0,000
OTOÑO			
Temperatura máxima día IA	1,322	1,180-1,482	0,000
Temperatura Mínima día IA	0,873	0,802-0,951	0,002
Amplitud Térmica día IA	0,723	0,664-0,811	0,000
Temperatura Media día 15	1,294	1,149-1,456	0,000
Temperatura Máxima día 15	0,740	0,633-0,866	0,000
Amplitud Térmica día 15	1,468	1,296-1,664	0,000
Precipitación día 15	1,137	1,042-1,239	0,004
INVIERNO			
Temperatura Medio día IA	1,816	1,205-2,737	0,004
Temperatura Mínima día IA	0,472	0,378-0,588	0,588
Humedad Relativa día IA	1,168	1,068-1,277	0,001
Temperatura Máxima día 15	0,731	0,629-0,848	0,000
Radiación Solar día 15	1,262	1,130-1,410	0,000

Temperatura Efectiva = $0,24 * \text{Temperatura Media} + 0,76 * \text{Radiación Solar}$

THI (Índice Temperatura-Humedad) = $\text{Temperatura Media} + 0,36 * \text{Humedad Relativa} + 41,2$

Las IA de primavera y otoño presentaron el OR más controvertido, al comparar la T el día IA con la del día 15. En ambas estaciones, se observó un efecto contrario de las T media, máxima y mínima, de modo que, por ejemplo, en primavera el OR de la T media a la IA fue de 0,321 y el día 15 de 0,480. Lo mismo se observa para la T máxima el día IA (OR=0,880) y el día 15 (OR=1,585).

En lo que se refiere a la lluvia, es destacable el OR mostrado por esta variable (OR>1) durante las inseminaciones de verano y otoño, de modo que se ha postulado como uno de los factores que en mayor medida afectan de manera positiva a la fertilidad durante estas estaciones.

DISCUSION

A nuestro entender, este es el primer trabajo que relaciona los efectos de diversos parámetros meteorológicos con la fertilidad tras la IA en el ovino lechero cubriendo las cuatro estaciones del año, incluyendo los datos no solo del día de la IA sino 15 días más tarde, momento crucial cuando la gestación debe establecerse. Las variables meteorológicas han presentado un efecto significativo sobre el porcentaje de ovejas gestantes con un signo u otro dependiendo de la estación del año, de modo que los resultados podrían ser de gran interés a la hora de planificar el inicio de los tratamientos de sincronización y las fechas de inseminación.

En un experimento publicado utilizando la raza ovina de carne Rasa Aragonesa, en latitudes similares a las de nuestro trabajo, pero solo entre julio y octubre (Santolaria et al., 2014), se analizaron los efectos de algunos factores climáticos sobre la tasa de gestación tras IA cervical examinando el periodo entre los 12 días antes de la IA hasta 14 días después, concluyendo que cuando la temperatura máxima durante los dos días previos a la IA superaba los 30°C, la tasa de gestación disminuía. Estos resultados son similares a nuestras observaciones de verano, pero sin duda, los porcentajes de fertilidad de nuestras inseminaciones de invierno confirman el efecto opuesto de la temperatura y la RS sobre la fertilidad de las ovejas durante el periodo más frío del año.

En Western Australia, Kleemann y Walker (2005) encontraron una asociación positiva entre la tasa de retorno a monta y el número de días en los que la temperatura ambiente fue superior a 32°C durante las cubriciones, concluyendo que, como recomendación práctica, la longitud de la época de cubriciones podría extenderse durante un ciclo más si la temperatura es muy elevada durante la primera semana de montas.

Un trabajo algo antiguo de Dutt y Bush (1955) utilizó ovejas alojadas en locales con aire acondicionado, a bajas temperaturas durante el verano, de modo que la fecha media del primer celo fue casi cerca de ocho semanas antes que las ovejas sometidas a la temperatura ambiente, y su fertilidad aparentemente similar al primer celo del grupo control. Por otra parte, Dutt (1963) expuso a las ovejas a altas temperaturas antes, durante y a intervalos precisos durante las cubriciones, observando un efecto negativo sobre la fertilidad.

Cuando las ovejas se exponen a incrementos de temperatura desde el segundo día del ciclo sexual, la longitud de la siguiente fase luteal, la longitud total del ciclo y los niveles plasmáticos de progesterona se vieron inalterados (Mendoza et al., 2009), indicando que la fase luteal puede que no sea sensible a los efectos deletéreos del estrés térmico, lo contrario a sus efectos sobre la fase folicular del ciclo. En Egipto, la ocurrencia relativa de celos y las montas fértiles se han correlacionado positivamente con altas temperaturas y largos fotoperiodos (condiciones típicas del verano), y negativamente correlacionadas con la lluvia (condiciones de invierno en esas latitudes) (Hashem et al., 2011).

En cuanto a la lluvia, ésta presentó un $OR > 1$ durante las inseminaciones del verano y del otoño, de modo que fue un factor predisponente de la fertilidad durante estas dos estaciones en particular. Arrébola et al. (2009) mostraron que la precipitación anual presentaba también un efecto positivo en la respuesta de ovejas Merinas tratadas con melatonina, resultando que el porcentaje de ovejas paridas y la fertilidad global de los rebaños estaban positivamente correlacionadas con la cantidad de lluvia caída ese año. Una posible explicación de este hecho podría venir dada por el estatus nutricional de las ovejas en el periodo previo a las cubriciones y durante éstas, asumiendo unos niveles bajos de precipitaciones con bajos niveles de pastos disponibles, que a su vez puede

derivar en un descenso de los parámetros reproductivos (para revisión: Abecia et al., 2006). En nuestro estudio, esto puede ser de particular interés en los pastos de verano y otoño, donde la disponibilidad de hierba depende en mayor medida de la disponibilidad de lluvia.

Los diferentes valores alcanzados por el OR de la temperatura el día de la inseminación y 15 días más tarde durante las inseminaciones de primavera y otoño reflejan la importancia de los parámetros extrínsecos sobre los mecanismos del reconocimiento maternal de la gestación. Es importante destacar que ambas temperaturas presentaron una correlación positiva y elevada entre ellas, de tal modo que el efecto de la temperatura sea el día de la IA o el día 15 puede ser debido a una diferente sensibilidad del tracto reproductivo de la oveja a las temperaturas, más que a un cambio dramático de la temperatura entre la inseminación y el día 15. Se ha demostrado que cualquier cambio de la sensibilidad a los esteroides entre el día 10 y 15 de gestación contribuyen significativamente a las diferencias en las tasas de gestación (Abecia et al., 2006).

La ganadería, el año y la estación se han evidenciado de nuevo como factores que afectan de manera significativa a la fertilidad. El factor ganadería ha sido descrito previamente como uno de los que mayor efecto muestran sobre la fertilidad tras la IA en la especie ovina en Francia (Chemineau et al., 1991), Reino Unido (Haresign, 1992) o España (Anel et al., 2005; Santolaria et al., 2014), como un reflejo de su diversidad en lo referente a su propio manejo y a todos los *inputs* productivos (nutrición, interacciones con humanos, las capacidades del ganadero, el estrés, el calendario reproductivo, la raza, etc). En vista de nuestros resultados, queda por determinar si la ganadería, el año y la estación, que se han descrito de manera tradicional como los principales factores que modifican la fertilidad tras la IA, están asociados a sus propias variables

meteorológicas, o además de éstas, otras condiciones ligadas a los tres factores son responsables de sus efectos.

CONCLUSION

En conclusión, el porcentaje de partos tras IA en una raza ovina lechera española se ve afectada significativamente por las variables meteorológicas el día de la IA y 15 días más tarde, durante el periodo de reconocimiento maternal de la gestación. Este efecto es dependiente de la estación de año, de modo que algunos parámetros como la temperatura revierten sus efectos dependiendo de la estación.

Se propone incluir el pronóstico meteorológico como herramienta en la planificación de la IA en la especie ovina.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer la colaboración de los ganaderos involucrados en este trabajo, así como a los técnicos de ANCHE por compartir los datos con nosotros.

BIBLIOGRAFIA

- Abecia JA, Sosa C, Forcada F, Meikle A (2006) The effect of undernutrition on the establishment of pregnancy in the ewe. *Reprod Nutr Dev* 46:367–378
- Anel L, Kaabi M, Abroug B, Alvarez M, Anel E, Boixo JC, de la Fuente LF, Paz P (2005) Factors influencing the success of vaginal and laparoscopic artificial insemination in Churra ewes: a field assay. *Theriogenology* 63:1235–1247
- Arrebola FA, Abecia JA, Forcada F, Garcia A, Martín RA, Mesa O (2009) Effects of annual rainfall and farm on lamb production after treatment with melatonin implants in Merino sheep: A 4-year study. *NZ Vet J* 57: 141-145
- Arrebola F, González O, Torres R, Abecia JA (2014) Artificial insemination in Payoya goats: factors affecting fertility. *Anim Prod Sci* 54: 356–362
- Chemineau P, Vandaele E, Brice G, Jardon C (1991) The use of melatonin in improving reproduction performance in sheep. *Recl Med Vet* 167: 227–239
- Gomes Da Silva RG (2006) Weather and climate and animal production. In *Guide to agricultural meteorological practices (GAMP)*.
http://www.agrometeorology.org/files-folder/repository/gamp_chap_11.pdf.
Accessed 31 March 2014
- Dutt RH (1963) Critical period for early embryo mortality in ewes exposed to high ambient temperature. *J Anim Sci* 22:713–719
- Dutt RH, Bush LF (1955) The Effect of Low Environmental Temperature on Initiation of the Breeding Season and Fertility in Sheep. *J Anim Sci* 14: 885-896

- Fuquay JW (1981) Heat stress as it affects animal production. *J Anim Sci* 52: 164–169
- Haresign W (1992) The effect of implantation of lowland ewes with melatonin on the time of mating and reproductive performance. *Anim Prod* 54: 31–39
- Hashem NM, El-Zarkouny SZ, Taha TA, Abo-Elezz ZR (2011) Effect of season, month of parturition and lactation on estrus behavior and ovarian activity in Barki x Rahmani crossbred ewes under subtropical conditions. *Theriogenology* 75: 1327–1335
- Kleemann DO, Walker SK (2005) Fertility in South Australian commercial Merino flocks: relationships between reproductive traits and environmental cues. *Theriogenology* 63:2416–2433
- Marai IFM, El-Darawany AA, Fadiel A, Abdel-Hafez MAM (2007) Physiological traits as affected by heat stress in sheep—A review. *Small Rumin Res* 71: 1–12
- Mendoza MR, Montaldo HH, Sanchez JAB, Ceron JH (2009) Serum progesterone levels in Pelibuey and Suffolk ewes under thermal stress. *Vet Mex* 40:197–202
- Palacín I, Yániz JL, Fantova E, Blasco ME, Quintín-Casorrán FJ, Sevilla-Mur E, Santolaria P (2012) Factors affecting fertility after cervical insemination with cooled semen in meat sheep. *Anim Reprod Sci* 132:139–144
- Santolaria P, López-Gatius F, García-Ispierto I, Bech-Sàbat G, Angulo E, Carretero T, Sánchez-Nadal JA, Yániz J (2010) Effects of cumulative stressful and acute variation episodes of farm climate conditions on late embryo/early fetal loss in high producing dairy cows. *Int J Biometeorol* 54:93–98

- Santolaria P, Yániz J, Fantova E, Vicente-Fiel S, Palacín I (2014) Climate factors affecting fertility after cervical insemination during the first months of the breeding season in Rasa Aragonesa ewes. *Int J Biometeorol* DOI 10.1007/s00484-013-0770-8
- Silanikove N (2000) Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants *Lives Prod Sci* 67: 1–18
- Spencer TE, Burghardt RC, Johnson GA, Bazer FW (2004) Conceptus signals for establishment and maintenance of pregnancy. *Anim Reprod Sci* 82–83: 537–550
- Szumilas M (2010) Explaining Odds Ratios. *J Can Acad Child Adolesc Psychiatry*, 19: 227-229
- Taylor DB, Schneider DA, Brown WY, Price IR, Trotter MG, Lamb DW, Hinch GN (2011) GPS observation of shelter utilisation by Merino ewes. *Anim Prod Sci* 51: 724–737
- West J W (1994) Interactions of energy and bovine somatotropin with heat stress. *J Dairy Sci* 77: 2091–2102
- Yamamoto S, Young BA, Purwanto BP, Nakamasu F, Natsumoto T (1994) Effect of solar radiation on the heat load of dairy heifers. *Aust J Agric Res* 45: 1741–1749.