

Efecto del modo de cría de borregos de raza Merina nacidos en otoño sobre su actividad sexual, desarrollo testicular y secreción de testosterona en primavera

Francisco Antonio Arrebola-Molina¹, Esteban Castillejo-Lacalle¹, Francisco Borjas-Muñoz¹, Francisco Jesús Querino-Santiago¹, Francisca Cecilia Redondo-Cardador¹ y José Alfonso Abecia^{2,*}

¹ IFAPA Centro Hinojosa del Duque. Carretera El Viso, Km. 15, 14270 Hinojosa del Duque, Córdoba, España

² Instituto Universitario de Investigación en Ciencias Ambientales de Aragón (IUCA). Universidad de Zaragoza, Calle Miguel Servet, 177, 50013 Zaragoza, España

Resumen

El objetivo de este trabajo fue evaluar los efectos de la exposición a días largos artificiales a una edad temprana, o la cría en presencia de moruecos adultos sexualmente activados, sobre la actividad sexual, desarrollo testicular y concentraciones de testosterona en primavera de borregos merinos nacidos en otoño. Cuarenta corderos nacidos en septiembre fueron asignados a los 6 meses de edad a uno de estos cuatro grupos: DL (n = 10), expuestos a 2 meses de días largos (16 h luz/día; 1 febrero-31 marzo); MAA (n = 10), alojados el 1 de abril con dos machos adultos, activados sexualmente mediante fotoperiodo artificial; MAC (n = 10), con dos machos adultos no activados, y A (n = 10), aislados de carneros adultos durante todo el experimento. No se observaron diferencias significativas entre grupos para el peso vivo, condición corporal ni perímetro escrotal. La concentración plasmática de testosterona fue similar hasta los 7,5 meses de edad, cuando todos los grupos mostraron un acusado descenso. A partir de ese momento, el grupo A incrementó sus concentraciones, a diferencia del resto de los grupos ($P < 0,05$), al final del experimento. El grupo A mostró una mayor actividad sexual en test de comportamiento individual ($P < 0,05$) que los grupos criados con machos adultos, que precisaron más tiempo para lograr el primer eyaculado ($P < 0,05$). En conclusión, borregos merinos nacidos en otoño, criados desde el destete en aislamiento de otros machos, presentan signos de actividad sexual en primavera más evidentes que corderos criados en presencia de machos adultos, activados o no sexualmente en primavera.

Palabras clave: Ovinos, moruecos, pubertad, factores sociales.

Effect of breeding mode on the triggering of puberty in autumn-born Merino ram-lambs

Abstract

The aim of this work was to evaluate the effects of exposure to artificial long days at an early age, or rearing in the presence of sexually activated adult rams, on sexual activity, testicular growth and plasma

* Autor para correspondencia: alf@unizar.es

Cita del artículo: Arrebola-Molina FA, Castillejo-Lacalle E, Borjas-Muñoz F, Querino-Santiago FJ, Redondo-Cardador FC, Abecia JA (en prensa). Efecto del modo de cría de borregos de raza Merina nacidos en otoño sobre su actividad sexual, desarrollo testicular y secreción de testosterona en primavera. ITEA-Información Técnica Económica Agraria. Vol. xx: 1-12. <https://doi.org/10.12706/itea.2021.012>

testosterone levels of autumn-born Merino ram-lambs in spring. Forty lambs born in September were assigned at 6 months of age to one of these four groups: DL (n = 10), exposed to 2 months of long days (16 h light/day; 1 February-31 March); MAA (n = 10), housed since April 1st with two adult males, sexually activated by artificial photoperiod; MAC (n = 10), with two non-activated adult rams, and A (n = 10), isolated from adult rams during the whole experiment. No significant differences were observed between groups for live weight, body condition, and scrotal perimeter. Plasma testosterone concentration was similar until 7.5 months of age, when all groups showed a marked decrease. From that moment, group A increased its concentrations, unlike the rest of the groups ($P < 0.05$), at the end of the experiment. Group A showed a greater sexual activity in individual behavioral tests ($P < 0.05$) than the groups raised with adult males, which needed more time to achieve the first ejaculation ($P < 0.05$). In conclusion, Merino sheep born in autumn, reared from weaning in isolation from other adult males, showed a more intense sexual activity in spring than lambs reared in the presence of adult males, whether or not these were sexually activated in spring.

Keywords: Sheep, ram, puberty, social factors.

Introducción

Alcanzar una estrategia reproductiva óptima en las ganaderías ovinas, especialmente en aquellas en las que se imponen ritmos reproductivos acelerados, se inicia obligatoriamente por la selección de los animales de reposición, siendo el momento del inicio de la pubertad crucial para determinar la vida productiva de estos animales, ya que en las ovejas influirá en su edad al primer parto. El momento de la pubertad en la especie ovina no es una simple función de la edad cronológica, sino más bien un proceso complicado afectado por una serie de factores internos y externos (Valasi *et al.*, 2012). El conocimiento de la forma en que estos factores interactúan conduce a la aplicación de estrategias que aumentan el rendimiento reproductivo y productivo durante la vida de los pequeños rumiantes. El desencadenamiento de la pubertad en la especie ovina depende de tres factores fundamentales: la edad de los animales, su desarrollo corporal y la época del año en la que se alcanzan los dos factores anteriores (Valasi *et al.*, 2012).

Si bien en el morueco la definición de pubertad es controvertida, en la oveja se ha utilizado la primera ovulación o el primer celo para definir su inicio (Foster y Hileman,

2015). Para el macho se ha establecido el inicio de la pubertad como el momento en el que su eyaculado contiene por primera vez una cantidad mínima de espermatozoides (Wheaton y Godfrey, 2003), o el primer eyaculado que contiene espermatozoides móviles (Khalifa *et al.*, 2013). De modo paralelo a la hembra, en la que un adelanto de la pubertad da lugar a un aumento de su producción total de corderos durante su vida útil, un avance de la pubertad en los borregos podría permitir pruebas más tempranas de su progenie, acelerando los beneficios de la selección genética, introduciéndolos a una edad más temprana en los programas de inseminación artificial y reduciendo sus costes de producción (Wheaton y Godfrey, 2003).

Los carneros muestran una marcada variación estacional en muchos aspectos reproductivos, incluido el tamaño de los testículos, la producción de semen, la concentración plasmática de testosterona y el comportamiento sexual, características que generalmente aumentan de primavera a otoño; estos cambios están regulados principalmente por el fotoperíodo, siendo los días largos inhibidores y estimulantes los días cortos (Rosa *et al.*, 2012). Por ello, la época de nacimiento modifica el inicio de la pubertad en el morueco,

de modo que los corderos nacidos en otoño maduran más rápidamente que los nacidos en primavera, aunque la ausencia de estimulación fotoperiódica, asociada con los cambios en la duración del día a los 5-7 meses de edad, provoca una disminución más temprana del peso de los testículos en los corderos nacidos en otoño durante el anestro estacional (Courot *et al.*, 1975). Sin embargo, la modificación del fotoperiodo y las señales socio-sexuales son factores adicionales que pueden modificar el inicio de la pubertad en los ovinos. Así, la exposición a dos meses de días largos (16 h de luz/día) durante el invierno es un medio eficiente para avanzar la pubertad de carneros jóvenes, con el objetivo de reducir la edad en que estos animales pueden usarse en pruebas de prole para inseminación artificial (Chemineau *et al.*, 1992).

Con respecto a la influencia de las señales sociales, y en concreto la presencia de animales del sexo opuesto sobre el inicio de la pubertad, se ha demostrado que corderas nacidas en otoño alojadas con moruecos sexualmente activos por exposición a dos meses de días largos artificiales, iniciaron su actividad ovulatoria a las 27 semanas de edad, mientras que esto ocurrió a las 39 semanas en las corderas alojadas con machos no activados (Abecia *et al.*, 2016). En cuanto a cabras de raza Alpina en Francia, cabritas prepúberes expuestas a machos sexualmente activos alcanzaron la pubertad 6 semanas antes que las expuestas a machos castrados y sexualmente inactivos, o hembras aisladas (Chasles *et al.*, 2019). Estos datos indican que los machos que se vuelven sexualmente activos por la luz extra previa son muy eficientes para estimular la actividad reproductiva de cabras y ovejas durante el período prepuberal.

La posible influencia de machos adultos sobre el inicio de la pubertad de sus jóvenes congéneres ha sido estudiada por nuestro grupo en la raza Rasa Aragonesa, donde cor-

deros nacidos en otoño se criaron aislados de otros machos o en compañía de carneros adultos activados sexualmente (Abecia *et al.*, 2021). Sorprendentemente, los borregos criados en aislamiento de otros machos exhibieron un alto nivel de actividad sexual a los 8 meses de edad, en comparación con los grupos criados en compañía de otros machos, por lo que se concluyó que no es necesaria una estrategia de crianza especial para inducir la pubertad en borregos Rasa Aragonesa, siendo incluso negativa la presencia de machos adultos.

En los machos de raza Merina en España, se ha demostrado que los niveles más altos de testosterona y el diámetro testicular máximo se alcanzan durante el verano (de junio a agosto); aunque estos carneros muestran escasas fluctuaciones anuales en el tamaño de sus glándulas accesorias (vesicular y bulbouretral) (Santiago-Moreno *et al.*, 2005), de acuerdo con los volúmenes de eyaculación relativamente constantes que se ven todo el año (González-López, 1995). En esta raza, los niveles elevados de testosterona coinciden con la aparición de la actividad ovulatoria cíclica en las ovejas, lo que ayuda a asegurar el éxito de la actividad sexual.

El objetivo de este trabajo fue evaluar los efectos de la exposición a días largos artificiales a una edad temprana, o la cría en presencia de moruecos adultos sexualmente activados, sobre la actividad sexual, el desarrollo testicular y las concentraciones plasmáticas de testosterona en primavera de borregos de raza Merina nacidos en otoño.

Material y métodos

Los protocolos aplicados siguieron las directrices éticas para la experimentación animal que han sido aprobadas por el Comité de Ética en Investigación del IFAPA. Esta política

cumple la Política Española de Protección Animal RD1201/05, y la Directiva 2010/63 de la Unión Europea sobre la protección de los animales utilizados con fines experimentales y otros fines científicos.

Animales

Se han utilizado 40 corderos de raza Merina nacidos en septiembre en las instalaciones del IFAPA de Hinojosa del Duque (Córdoba) (38° N, 5° O); los animales se destetaron con 45 días de edad y se manejaron y alimentaron de acuerdo a su edad y necesidades hasta los 6 meses de vida. A principios de mes de abril, con un peso vivo (PV) medio (\pm DE) de 50,6 (\pm 5,2) kg, y una condición corporal (CC) media de 2,45 (\pm 0,07), fueron asignado a uno de los siguientes cuatro grupos (Figura 1): DL (n = 10), que estuvieron expuestos a 2 meses de días largos (16 h luz/día) del 1 de febrero al 31 de marzo (5-6 meses de edad), seguido del fotoperiodo natural hasta el final del experimento; MAA (n = 10), que se alojaron desde el 1 de abril hasta el final del experimento con dos machos adultos de la misma raza, los cuales fueron previamente activados sexualmente en primavera (mediante fotoperiodo artificial); MAC (n = 10), que se alojaron con dos machos adultos de la misma raza no activados (machos adultos control, expuestos al fotoperiodo natural en todo momento), hasta el final del experimento, y A (aislados) (n = 10), que se alojaron en todo momento aislados de carneros adultos durante todo el experimento.

Los dos carneros adultos activados en el lote MAA se volvieron sexualmente activos al exponerlos a días largos (16 h luz/día) del 1 de diciembre al 31 de enero (Chemineau *et al.*, 1992; Abecia *et al.*, 2016 y 2021). La iluminación estaba controlada por un temporizador electrónico, y la intensidad de la luz fue de al menos 300 lx al nivel de los ojos de los animales.

A partir del 19 de marzo y hasta el final del experimento, se recogieron muestras de sangre semanalmente para medir la concentración de testosterona plasmática. Además, el PV, la CC y los perímetros escrotales (PE) se registraron quincenalmente, hasta el final del experimento.

Test de comportamiento sexual

Para la realización del test de comportamiento sexual se han utilizado 10 ovejas de raza Merina, previamente sincronizadas en celo mediante esponjas vaginales +440 UI eCG (Syncro-Part, CEVA Salud Animal, España) durante 14 días. A las 48 h de la retirada de las esponjas (25 de junio) se llevó a cabo el test de comportamiento sexual, que consistió en exponer de manera individual a cada borrego a tres ovejas en celo durante 20 min (Kilgour y Whale, 1980; Damián *et al.*, 2015). Se registraron, para cada animal, los siguientes eventos: número de olfateos de la zona ano-vulvar de la oveja, flehmen, patadas laterales a las hembras, empujones, vocalizaciones, exteriorización del pene, intentos de monta (el macho intenta subir sobre la hembra, pero no lo logra), montas (el macho está sobre la hembra, pero no alcanza la penetración ni el eyaculado) y golpes de riñón (montas con eyaculado). Las definiciones de cada evento han seguido las indicaciones de Calderón-Leyva *et al.* (2018). También se han calculado los minutos en los que cada animal no prestó ninguna atención a las hembras (indiferencia), la cantidad de eventos totales y el tiempo en el que se dio el primer golpe de riñón. Las observaciones fueron realizadas por dos observadores previamente adiestrados.

Análisis de testosterona

La concentración plasmática de testosterona se realizó mediante la técnica de quimioluminiscencia en un equipo automatizado para

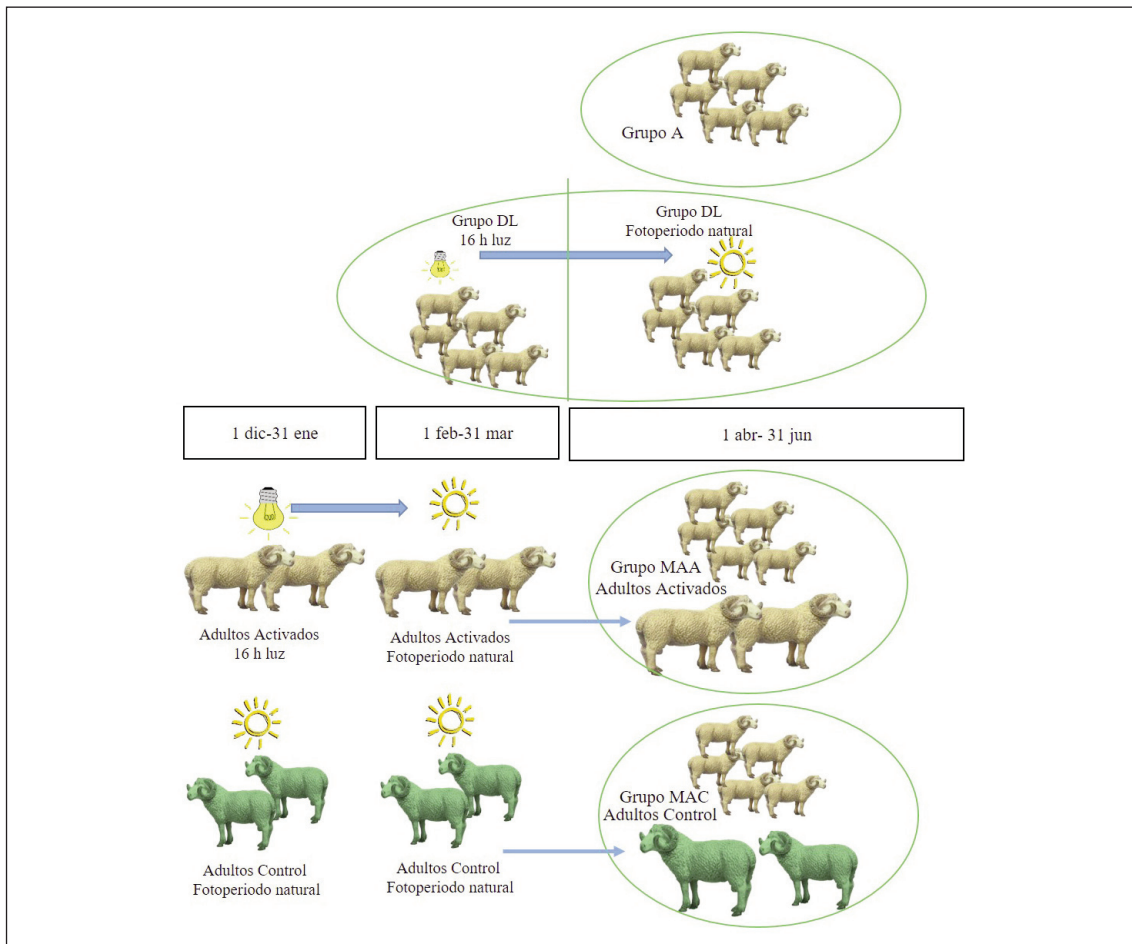


Figura 1. Diseño experimental: a partir del día 1 de abril y hasta el final del experimento, los animales fueron asignado a uno de los siguientes cuatro grupos: DL ($n = 10$), expuestos a 2 meses de días largos (16 h luz/día) del 1 de febrero al 31 de marzo, seguido del fotoperiodo natural hasta el final del experimento; MAA ($n = 10$), alojados con dos machos adultos de la misma raza, activados sexualmente en primavera (mediante fotoperiodo artificial); MAC ($n = 10$), alojados con dos machos adultos de la misma raza control, no activados (expuestos al fotoperiodo natural en todo momento), y A (aislados) ($n = 10$), alojados en todo momento aislados de carneros adultos durante todo el experimento. Los dos carneros adultos activados en el grupo MAA fueron expuestos a días largos (16 h luz/día) del 1 de diciembre al 31 de enero, pasando a continuación al fotoperiodo natural. Los dos carneros adultos control utilizados en el grupo MAC permanecieron en todo momento bajo el fotoperiodo natural.

Figure 1. Experimental design: from April 1 to the end of the experiment, the animals were assigned to one of the following four groups: DL ($n = 10$), exposed to 2 months of long days (16 h light/day) from February 1 to March 31, followed by the natural photoperiod until the end of the experiment; MAA ($n = 10$), housed with two adult males of the same breed, sexually activated in spring (by artificial photoperiod); MAC ($n = 10$), housed with two non-activated adult males of the same control breed (exposed to the natural photoperiod at all times), and A (isolated) ($n = 10$), housed at all times isolated from adult rams during the whole experiment. The two activated adult rams in the MAA were exposed to long days (16 h light/day) from December 1 to January 31. The two control adult rams used in the MAC group remained under the natural photoperiod at all times.

inmunoensayos Acces 2 System (Beckman Coulter Inc., Fullerton, CA), empleando reactivos de la misma procedencia. La técnica ha sido validada para la especie ovina por Ayad et al. (2018).

Análisis estadístico

Los efectos del tiempo y el método de cría sobre el PV, la CC, el PE y las concentraciones plasmáticas de testosterona fueron evaluados estadísticamente utilizando el procedimiento GLM para medidas repetidas (SPSS v.21, IBM Corp, Armonk, Nueva York). Las observaciones de los test de comportamiento sexual (número de olfateos de la zona ano-vulvar de la oveja, flehmen, patadas laterales a las hembras, empujones, vocalizaciones, exteriorización del pene, intentos de monta, montas y golpes de riñón) fueron comparadas entre grupos mediante análisis de varianza, con las pruebas de rango post hoc DSM (diferencia mínima significativa) para calcular diferencias particulares entre grupos. Los resultados son expresados como media \pm error estándar de la media (EEM), y el nivel de significación estadística se establece en $P < 0,05$.

Resultados

Peso Vivo y Condición Corporal

Un animal del grupo MAC fue baja durante el experimento, por lo que a partir de ese momento dicho grupo tuvo un efectivo de 9 animales. No se observaron diferencias significativas entre grupos ni para el PV ni para la CC a lo largo de la experiencia (Figura 2). El 31 de mayo, con 8,5 meses de edad, los animales fueron esquilados, hecho que se refleja en la curva del PV, en todos los grupos estudiados.

Perímetro escrotal

El PE fue incrementándose con el tiempo en todos los grupos considerados, no alcanzándose diferencias significativas entre grupos a lo largo del experimento (Figura 2).

Niveles plasmáticos de testosterona

Los cuatro grupos de borregos presentaron niveles similares de testosterona desde el principio de la experiencia hasta los 7,5 meses de edad (mediados de mayo), cuando todos los grupos mostraron una bajada en las concentraciones plasmáticas de testosterona. A partir de ese momento, el grupo A experimentó un ascenso de sus concentraciones, dándose diferencias significativas con los grupos MAA y MAC ($P < 0,05$) al final del experimento (Figura 2). El grupo A mostró un aumento ($P = 0,10$) de los niveles de testosterona desde los 7,5 meses de edad hasta los 9 meses (junio).

Test de comportamiento sexual

El grupo de borregos criados en aislamiento (A) realizó un número más elevado ($P < 0,05$) de olfateos de vulva, patadas y empujones a las ovejas y golpes de riñón que los grupos criados con machos adultos (MAA y MAC) (Figura 3), realizando del mismo modo un mayor número total de eventos que los lotes MAA y MAC (Tabla 1). Los borregos de grupo MAA mostraron un mayor número de minutos con indiferencia hacia las ovejas en comparación con los lotes DL y A ($P < 0,05$), además de haber precisado un mayor número de minutos para lograr el primer eyaculado ($P < 0,05$) (Tabla 1).

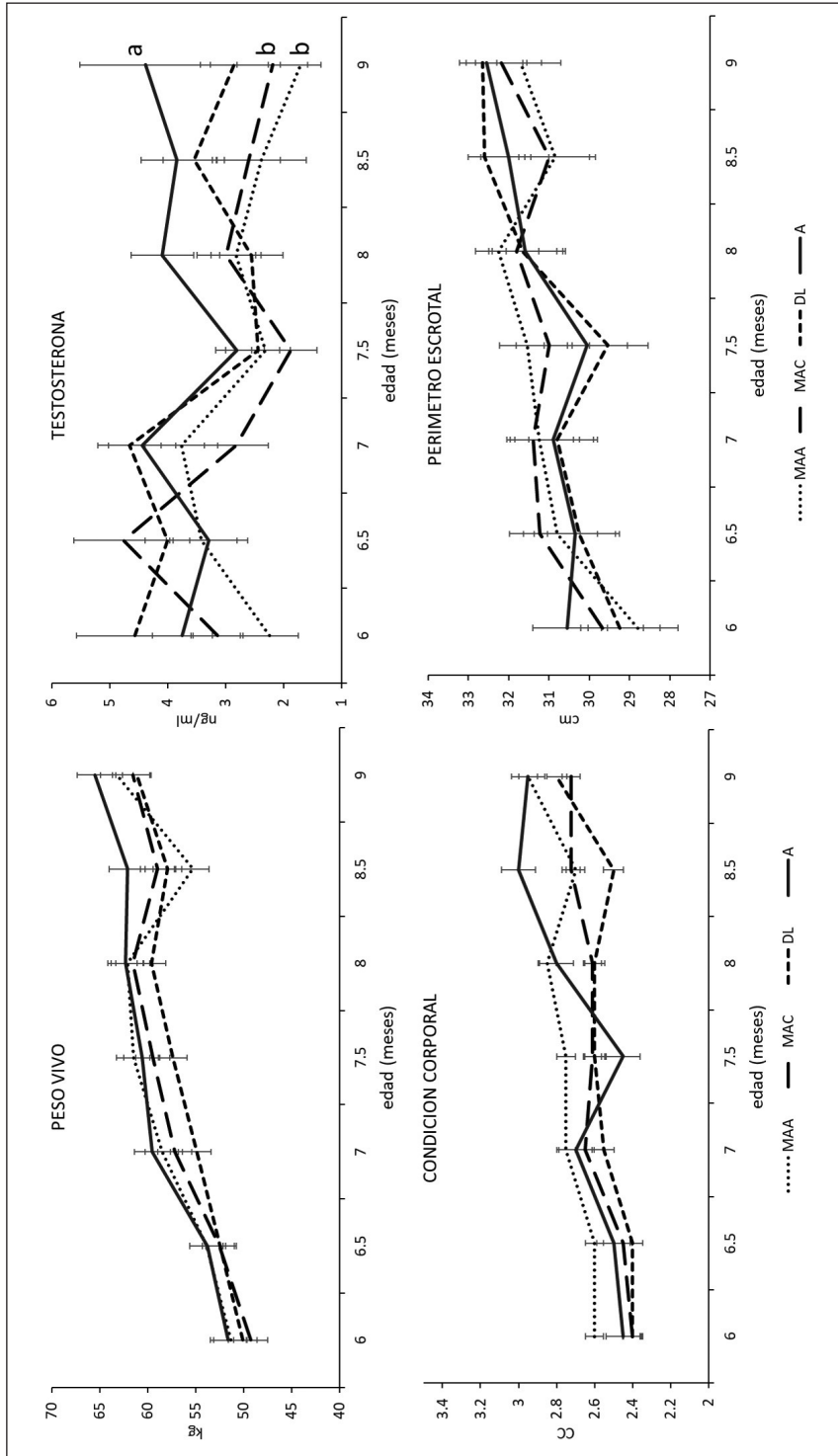


Figura 2. Peso vivo y condición corporal, concentración plasmática de testosterona y perímetro escrotal (media \pm EEM), de corderos de raza Merina nacidos en septiembre, que bien habían estado alojados con dos carneros adultos sexualmente activados (MAA), o con dos carneros adultos no activados, control (MAC) desde el 1 de abril hasta el final del experimento, o expuestos a 2 meses de días largos (16 h de luz/día) entre el 1 de febrero y el 31 de marzo (DL), o fueron aislados de todo tipo de machos adultos durante todo el experimento (A). Los dos carneros adultos utilizados en el grupo MAA fueron expuestos días largos (16 h luz/día) del 1 de diciembre al 31 de enero (a,b; indican diferencias significativas $P < 0,05$).

Figure 2. Mean (\pm SEM) live weight, body condition, plasma testosterone concentration and scrotal perimeter of Merino ram-lambs born in September, that either had been housed with two adult sexually activated rams (MAA), or with two adult non activated rams (MAC) from 1 April to the end of the experiment, or exposed to 2 months of long days (16 h of light/day) between 1 February to 31 March (DL), or were isolated from adult rams throughout the experiment (A). The two activated adult rams used in the MAA group were rendered sexually active by exposing them to long days (16 h light/day) from 1 December to 31 January (a,b; indicate significant differences $P < 0.05$).

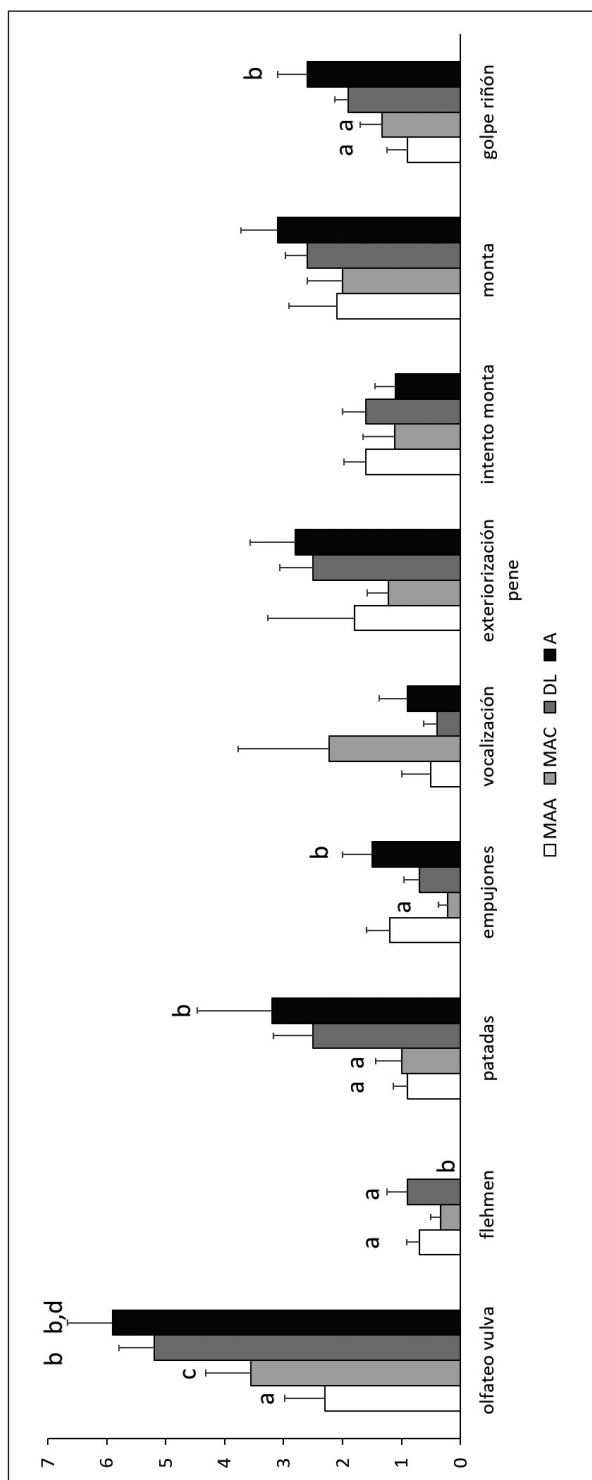


Figura 3. Número medio (\pm EEM) de eventos realizados en un test individual de comportamiento sexual durante 20 min (un macho con tres ovejas en celo) de corderos de raza Merina nacidos en septiembre, que bien habían estado alojados con dos carneros adultos sexualmente activados (MAA), o con dos carneros adultos no activados, control (MAC) desde el 1 de abril hasta el final del experimento, o expuestos a 2 meses de días largos (16 h de luz/día) entre el 1 de febrero y el 31 de marzo (DL), o fueron aislados de todo tipo de machos adultos durante todo el experimento (A). Los dos carneros adultos utilizados en el grupo MAA fueron expuestos días largos (16 h luz/día) del 1 de diciembre al 31 de enero (a,b; c,d, indican diferencias significativas $P < 0,05$).
 Figure 3. Mean (\pm SEM) number of sexual events performed in a 20 min individual serving-capacity test (one ram with three estrous ewes) by Merino ram-lambs born in September, that either had been housed with two adult sexually activated rams (MAA), or with two adult non activated rams (MAC) from 1 April to the end of the experiment, or exposed to 2 months of long days (16 h of light/day) between 1 February to 31 March (DL), or were isolated from adult rams throughout the experiment (A). The two activated adult rams used in the MAA group were rendered sexually active by exposing them to long days (16 h light/day) from 1 December to 31 January (a,b; c,d, indicate significant differences $P < 0.05$).

Tabla 1. Número total de eventos registrados en un test individual de comportamiento sexual durante 20 min (un macho con tres ovejas en celo), número de minutos en los que los machos mostraron indiferencia por las ovejas, y tiempo necesario para la primera monta con eyaculado (media \pm EEM), de corderos de raza Merina nacidos en septiembre, que bien habían estado alojados con dos carneros adultos sexualmente activados (MAA), o con dos carneros adultos no activados, control (MAC) desde el 1 de abril hasta el final del experimento, o expuestos a 2 meses de días largos (16 h de luz/día) entre el 1 de febrero y el 31 de marzo (DL), o fueron aislados de todo tipo de machos adultos durante todo el experimento (A). Los dos carneros adultos utilizados en el grupo MAA fueron expuestos días largos (16 h luz/día) del 1 de diciembre al 31 de enero (a,b indican diferencias significativas $P < 0,05$).

Table 1. Mean (\pm SEM) number of total events performed in a 20 min individual serving-capacity test (one ram with three estrous ewes), number of minutes when rams did not present any attention to the ewes, and minutes needed for the first service with ejaculation, by Merino ram-lambs born in September, that either had been housed with two adult sexually activated rams (MAA), or with two adult non activated rams (MAC) from 1 April to the end of the experiment, or exposed to 2 months of long days (16 h of light/day) between 1 February to 31 March (DL), or were isolated from adult rams throughout the experiment (A). The two activated adult rams used in the MAA group were rendered sexually active by exposing them to long days (16 h light/day) from 1 December to 31 January (a,b indicate significant differences $P < 0.05$).

Grupo	Total	Indiferencia (min)	Primer eyaculado (min)
MAA	12,0 \pm 2,6 ^a	6,2 \pm 2,j,6 ^a	6,2 \pm 3,1 ^a
MAC	13,0 \pm 2,0 ^a	4,0 \pm 2,5	5,8 \pm 1,8
DL	18,3 \pm 1,8	0,6 \pm 0,6 ^b	3,9 \pm 1,1 ^b
A	21,1 \pm 3,9 ^b	1,7 \pm 0,9 ^b	3,9 \pm 1,5 ^b

Discusión

En este experimento la cuantificación de las concentraciones plasmáticas de testosterona y el desempeño de los animales en los test de comportamiento sexual se diseñaron como herramienta para estudiar si el modo de cría de los corderos durante su etapa prepuberal afecta al inicio de la pubertad de corderos de raza Merina nacidos en otoño. Para la hembra ovina, diversos estudios han demostrado que ciertos factores sociales pueden influir en el inicio de su pubertad. Así, la presencia de moruecos sexualmente activos por tratamiento lumínico adelantó el momento de la primera ovulación y el primer celo de corderas Rasa Aragonesa nacidas en otoño (Abecia et al., 2016). Si bien las concentraciones plas-

máticas de progesterona o los signos de celo son indicadores de inicio de la pubertad en las corderas, los niveles plasmáticos de testosterona por sí solos no pueden ser un indicador inequívoco del inicio de la pubertad en los corderos machos. Según indican Wheaton y Godfrey (2003), los machos de la especie ovina inician su pubertad en la semana de edad en la que sus eyaculados contienen un número mínimo de espermatozoides, o simplemente contiene espermatozoides móviles (Khalifa et al., 2013). Sin embargo, el test de comportamiento sexual, junto a las concentraciones plasmáticas de testosterona y las posibles variaciones de PV y PE pueden ser también indicadores de cambios fisiológicos prepuberales.

En el morueco, se ha demostrado que secreción puberal de LH se inicia a una edad más temprana que en las hembras, a las 10-15 semanas de vida, iniciándose entonces un aumento gradual de la secreción de testosterona, conduciendo a su vez al desarrollo de los testículos y la espermatogénesis (Foster et al., 2006). Los cuatro grupos estudiados en el presente experimento mostraron unos niveles elevados y similares de testosterona desde el inicio del muestreo de sangre, a los 6 meses de edad, aunque al inicio del anestro estacional, con 7,5 meses de edad, todos los grupos mostraron un claro descenso de sus concentraciones plasmáticas de esta hormona. Sin embargo, solo el grupo criado en aislamiento y sometido al fotoperiodo natural fue capaz de mostrar un incremento en sus niveles de testosterona posteriormente, observándose diferencias significativas con el resto de los grupos al final del experimento, con 9 meses de edad.

Los corderos expuestos a días largos (grupo DL) no mostraron un mayor desarrollo testicular ni una mayor concentración de testosterona plasmática que los grupos criados en compañía de machos adultos. En otro estudio, utilizando corderos de razas Lacaune e Ile-de-France de 3 meses nacidos en otoño (Colas et al., 1987), la exposición a 8 semanas u 11 semanas de días largos, seguidos de días cortos, dio lugar a un desarrollo sexual acelerado, medido por cambios en el crecimiento testicular. En nuestro experimento, los corderos tratados con fotoperiodo artificial experimentaron 2 meses de días largos entre los 5 meses y 6 meses de edad, seguidos por fotoperiodo natural; por tanto, probablemente, el regreso al fotoperiodo natural en ese momento impidió cambios en su desarrollo sexual. En el estudio de Colas et al. (1987), una vez finalizado el tratamiento de luz, cuando los corderos regresaron a la duración natural del día, su volumen testicular disminuyó rápidamente, pero el volumen testicular de los

corderos del lote control comenzó a aumentar normalmente en primavera-verano.

Los corderos que estuvieron expuestos a machos adultos, sexualmente activados o no en primavera, exhibieron un menor nivel de actividad sexual que los machos que se criaron en aislamiento de otros machos adultos, y no alcanzaron niveles plasmáticos de testosterona similares a los machos en aislamiento. Los resultados de la presente experiencia son muy similares a los obtenidos por nuestro grupo utilizando corderos de raza Rasa Aragonesa, bajo un diseño experimental similar (Abecia et al., 2021), si bien en esa experiencia, tras los test individuales de monta, los animales fueron sometidos a un test de fertilidad en rebaño, observando que los animales aislados y los acompañados de machos adultos activados tuvieron una fertilidad del 90 % y 100 %, respectivamente, siendo las fertilidades de los lotes tratados con fotoperiodo artificial o acompañados de machos adultos control de un 50 % y 40 %, respectivamente. De hecho, Ungerfeld y Lacuesta (2010) demostraron que el desempeño reproductivo del morueco Corriedale x Milchschaf puede estar influenciado por su rango social durante su etapa prepuberal, aun cuando no existan diferencias en las concentraciones plasmáticas de testosterona o la producción de semen en relación con el rango social. Aun cuando no lo hemos estudiado en este experimento, es probable que los machos adultos hayan colocado a los machos jóvenes en un rango social inferior, inhibiendo la expresión de un comportamiento sexual pleno en presencia de hembras. De hecho, la cría de machos en grupos del mismo género en ovinos facilita la formación de relaciones sociales entre machos que, al menos temporalmente, impiden el desarrollo en algunos machos de interés sexual sobre las hembras (Price et al., 1988). Illius et al. (1976) criaron grupos de corderos bajo diversos entornos (aislamiento, grupos exclusivamente

masculinos o grupos mixtos) y midieron los cambios en las concentraciones plasmáticas de testosterona desde el nacimiento hasta los 21 meses de edad. Los niveles plasmáticos de testosterona no fueron influenciados significativamente por el entorno social y, como en nuestro experimento, la testosterona plasmática se mantuvo en niveles similares coincidiendo con el presunto inicio de la pubertad. Además, dado que el tamaño de los testículos y la función espermatogénica están altamente correlacionados (Yarney *et al.*, 1990), se supone que la ausencia de diferencias en PV y PE pueden reflejar una ausencia de diferencias en la calidad del esperma.

Conclusiones

En conclusión, borregos de raza Merina nacidos en otoño, criados desde el destete en aislamiento de otros machos adultos, presentan signos de actividad sexual durante su primer anestro estacional más evidentes que con corderos criados en presencia de machos adultos, activados o no sexualmente en primavera. El grupo de corderos que también se crió en aislamiento, pero fue expuesto a días largos entre los 5 meses y 6 meses de edad, tuvo un comportamiento sexual algo mejor que los corderos criados en compañía de adultos, pero sin llegar al nivel de los que permanecieron en aislamiento y fotoperiodo natural, por lo que parece que los tratamientos lumínicos a edad tempranas en macho ovinos nacidos en otoño, para adelantar su pubertad, no son eficientes, al menos en razas mediterráneas.

Agradecimientos

Proyecto PP.AVA.2019.001. Financiado por fondos FEDER.

Referencias bibliográficas

- Abecia JA, Chemineau P, Gómez A, Keller M, Forcada F, Delgadillo JA (2016). Presence of photoperiod-melatonin-induced, sexually activated rams in spring advances puberty in autumn-born ewe lambs. *Animal Reproduction Science* 170: 114-120. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2016.04.011>.
- Abecia JA, Gave M, García AI, Casao A, Carvajal-Serna M, Palacios C, Keller M, Chemineau P, Delgadillo JA (2021). Long days in winter or the presence of adult sexually active rams did not influence the timing of puberty of autumn-born Rasa Aragonesa ram-lambs. *Biological Rhythm Research* 52: 462-473. <https://doi.org/10.1080/09291016.2019.1613321>.
- Ayad A, Benhanifia M, Benbarek H (2018). The ability of human electrochemiluminescence immunoassay to measure testosterone and progesterone in ovine plasma. *Malaysian Journal of Veterinary Research* 9: 22-30.
- Calderón-Leyva G, Meza-Herrera CA, Rodríguez-Martínez R, Ángel-García O, Rivas-Muñoz R, Delgado-Bermejo JV, Véliz-Deras FG (2018). Influence of sexual behavior of Dorper rams treated with glutamate and/or testosterone on reproductive performance of anovulatory ewes. *Theriogenology* 106: 79-86. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2017.10.016>.
- Chasles M, Chesneau D, Moussu C, Abecia JA, Delgadillo JA, Chemineau P, Keller M (2019). Highly precocious activation of reproductive function in autumn-born goats (*Capra hircus*) by exposure to sexually active bucks. *Domestic Animal Endocrinology* 68: 100-105. <https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2019.01.004>.
- Chemineau P, Malpoux B, Delgadillo JA, Guérin Y, Ravault JP, Thimonier J, Pelletier J (1992). Control of sheep and goat reproduction: use of light and melatonin. *Animal Reproduction Science* 30: 157-184. [https://doi.org/10.1016/0378-4320\(92\)90010-B](https://doi.org/10.1016/0378-4320(92)90010-B).
- Colas G, Guérin Y, Briois M, Ortavant R (1987). Photoperiodic control of testicular growth in the ram lamb. *Animal Reproduction Science* 13: 255-262. [https://doi.org/10.1016/0378-4320\(87\)90062-5](https://doi.org/10.1016/0378-4320(87)90062-5).

- Courot M, de Reviers MM, Pelletier J (1975). Variation in pituitary and blood LH during puberty in the male lamb. Relation to time of birth. *Annales de Biologie Animale, Biochimie, Biophysique* 15: 509-516.
- Damián JP, Beracochea F, Hötzel MJ, Banchemo G, Ungerfeld R (2015). Reproductive and sexual behaviour development of dam or artificially reared male lambs. *Physiology & Behavior* 47: 47-53. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2015.04.004>.
- Foster DL, Jackson LM, Padmanabhan V (2006). Programming of GnRH feedback controls timing puberty and adult reproductive activity. *Molecular and Cellular Endocrinology* 254-255: 109-119. <https://doi.org/10.1016/j.mce.2006.04.004>.
- Foster DL, Hileman SM (2015). Puberty in the Sheep. En: Knobil and Neill's Physiology of Reproduction (Ed. Plant TM, Zeleznik AJ), pp. 1441-1485, Elsevier, Amsterdam.
- González-López J (1995). Caracterización del control reproductivo en la oveja merina. *Ovis* 41: 71.
- Illius AW, Haynes NB, Purvis K, Lamming GE (1976). Plasma concentrations of testosterone in developing ram in different social environments. *Journal of Reproduction and Fertility* 48: 17-24. <https://doi.org/10.1530/jrf.0.0480017>.
- Khalifa EI, Ahmed ME, Hafez YJ, El-Zolaky OA, Bahera KM, Abido AA (2013). Age at puberty and fertility of Rahmani sheep fed on biological inoculated corn silage. *Annals of Agricultural Sciences* 58: 163-172. <https://doi.org/10.1016/j.aosas.2013.07.003>.
- Kilgour RJ, Whale RG (1980). The relation between mating activity of rams in pens and subsequent flock mating performance. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 20: 5-8.
- Price EO, Katz LS, Wallach SJR, Zenchak JJ (1988). The relationship of male-male mounting to the sexual preferences of young rams. *Applied Animal Behaviour Science* 21: 347-355. [https://doi.org/10.1016/0168-1591\(88\)90069-X](https://doi.org/10.1016/0168-1591(88)90069-X).
- Rosa HJD, Silva CC, Bryant MJ (2012). The effect of melatonin treatment in rams on seasonal variation of testicular size and semen production parameters. *Small Ruminant Research* 102: 197-201. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2011.06.012>.
- Santiago-Moreno J, Gómez-Brunet A, Gonzalez-Bulnes A, Toledano-Díaz A, Malpoux B, López-Sebastián A (2005). Differences in reproductive pattern between wild and domestic rams are not associated with interspecific annual variations in plasma prolactin concentrations. *Domestic Animal Endocrinology* 28: 416-429. <https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2005.02.002>.
- Ungerfeld R, Lacuesta L (2010). Social rank during pre-pubertal development and reproductive performance of adult rams. *Animal Reproduction Science* 121: 101-105. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2010.05.007>.
- Valasi I, Chadio S, Fthenakis GC, Amiridis GS (2012). Management of pre-pubertal small ruminants: Physiological basis and clinical approach. *Animal Reproduction Science* 130: 126-134. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2012.01.005>.
- Wheaton JE, Godfrey RW (2003). Plasma LH, FSH, testosterone, and age at puberty in ram lambs actively immunized against an inhibin α -subunit peptide. *Theriogenology* 60: 933-941. [https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(03\)00104-3](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(03)00104-3).
- Yarney TA, Sanford LM, Palmer WM (1990). Pubertal development of ram lambs: body weight and testicular size measurements as indices of postpubertal reproductive function. *Canadian Journal of Animal Science* 70: 139-147. <https://doi.org/10.4141/cjas90-016>.

(Aceptado para publicación el 10 de marzo de 2021)