

Relación de la hormona Anti-Mülleriana (AMH) y la respuesta ovulatoria en corderas de tres meses con su eficiencia reproductiva en la edad adulta

B. Lahoz*, J.L. Alabart y J. Folch

Unidad de Producción y Sanidad Animal, Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA). Instituto Agroalimentario de Aragón - IA2 (CITA-Universidad de Zaragoza), Avda. Montañana 930, 50059, Zaragoza, España

Resumen

En ovino, los retrasos en la edad al primer parto dan lugar a una disminución de la vida productiva del animal, lo que genera importantes pérdidas económicas. En corderas de raza Rasa Aragonesa de 3 meses estimuladas con eCG se ha observado una relación entre la concentración de la hormona Anti-Mülleriana (AMH) y la respuesta ovulatoria con su fertilidad temprana. El objetivo de este trabajo fue relacionar ambos parámetros con la vida productiva de esas corderas ($n = 73$) con AMH ALTA (≥ 97 pg/ml) o BAJA (< 97 pg/ml). Para ello se controlaron las cubriciones y partos de las ovejas hasta los 3,5 años. Tanto la presencia de cuerpos lúteos como la concentración plasmática de AMH se correlacionaron negativamente con la edad al primer parto (ambas $r = -0,24$; $P < 0,05$), de manera que el grupo de AMH ALTA tuvo una edad al primer parto 82 días menor que el grupo de AMH BAJA ($P < 0,01$). Además, el grupo de AMH ALTA presentó 0,17 partos y 0,38 corderos extra por oveja y año (ambas $P < 0,01$). En conclusión, en las condiciones de este trabajo, la concentración de AMH en la cordera impúber estimulada con eCG, además de relacionarse con la edad al primer parto, parece tener una correlación positiva con el número de partos, la fertilidad y el número de corderos en la vida adulta. Esto hace pensar en su interés como criterio de selección temprana de las corderas reproductivamente más eficientes, aunque todavía es necesario confirmar su utilidad en otras condiciones productivas.

Palabras clave: Fertilidad, ovulación, precocidad, primer parto, prolificidad, sustancia inhibidora mülleriana.

Abstract

Relationship between Anti-Müllerian hormone (AMH) and the ovulatory response measured in three-month old ewe lambs with their reproductive efficiency in adulthood

In sheep, delays in age at first lambing give rise to unproductive periods and a decrease on productive life, resulting in significant economic losses. A relationship between the plasma Anti-Müllerian hormone (AMH) concentration and the ovulatory response with early fertility has been found in three-month old ewe lambs of Rasa Aragonesa breed stimulated with eCG. The aim of this study was to relate both parameters with the subsequent reproductive performance of those ewe lambs ($n = 73$) with HIGH (≥ 97 pg/ml) or LOW (< 97 pg/ml) AMH. With this purpose, mating and lambing were recorded until they aged 3.5 years. Both the presence of corpora lutea and the AMH concentration were negatively correlated

* Autor para correspondencia: blahozc@aragon.es

<https://doi.org/10.12706/itea.2016.024>

with age at first lambing (both: $r = -0.24$, $P < 0.05$), so the HIGH AMH group was 82 days younger at first lambing than the LOW AMH group ($P < 0.01$). In addition, the HIGH AMH group presented 0.17 extra lambings and 0.38 extra lambs per ewe and year ($P < 0.01$ for both). In conclusion, in the conditions of our study, the plasma AMH concentration in eCG-stimulated prepubertal ewe lambs, besides being related with age at first lambing, it seems to be positively correlated with the number of lambings, fertility and the number of lambs produced in adulthood. This suggests its utility as a potential criterion for early selection of the most reproductively efficient ewe lambs, although it is still necessary to confirm its suitability in different productive conditions.

Key words: Müllerian-inhibiting substance, fertility, first lambing, ovulation, precocity, prolificacy.

Introducción

Conseguir que las corderas queden gestantes dentro de su primer año de vida reduce el coste de la reposición, aumenta la vida productiva, reduce el intervalo entre generaciones (Fogarty *et al.*, 2007), y disminuye el riesgo de eliminación por improductividad (Kern *et al.*, 2010). En el caso de la raza Rasa Aragonesa, el adelanto de la edad al primer parto tiene como consecuencia un aumento del número de partos a lo largo de la vida reproductiva de la oveja (Gabiña 1989a; Jurado y Jiménez, 2013). Por ello, seleccionar las ovejas más precoces aumentaría la eficiencia del rebaño con su correspondiente impacto económico. Sin embargo, aunque la precocidad sexual está bajo control genético, su heredabilidad es moderada-baja, situándose según autores entre 0,02 y 0,14 (Gabiña 1989b; Jurado y Jiménez, 2013; Newton *et al.*, 2014), si bien en la raza Polypay se ha estimado una heredabilidad mayor de la edad al primer parto (Vanimisetti y Notter, 2012), lo que hace difícil establecer un programa clásico de selección. Además del componente genético, hay numerosos factores ambientales que van a influir en la entrada en pubertad. Uno de ellos es el peso del animal, ya que la pubertad no aparece hasta que el animal no ha alcanzado un peso vivo y condición corporal adecuados (Foster *et al.*, 1985), por lo que la alimentación postnatal es determinante (Robinson *et al.*, 2006). En razas moderadamente estacionales

en las que los manejos reproductivos suponen que haya varias épocas de cubrición a lo largo del año, todavía hay un factor que complica más la entrada en pubertad, y es la coincidencia con el periodo de anestro. De esta manera, en las corderas nacidas en otoño se retrasa la primera cubrición fértil, aunque hayan alcanzado el peso suficiente (López Sebastián *et al.*, 1985; Gabiña 1989a; Forcada *et al.*, 1991), ya que el fotoperiodo creciente impide la primera ovulación. El manejo de los machos de la explotación condiciona también la primera cubrición, ya que algunas corderas responden al estímulo provocado por el "efecto macho" mostrando ovulación y celo incluso en periodo de anestro (Gabiña 1989a; Folch y Alabart, 1999; Knights *et al.*, 2002). Todos estos factores hacen difícil establecer un programa de selección basado en la precocidad sexual.

Por ello, últimamente se están llevando a cabo algunos trabajos de investigación centrados en la búsqueda de marcadores biológicos relacionados con la precocidad sexual, con el objetivo de que puedan ser medidos en el animal joven y ser utilizados para elegir las mejores hembras de reposición. En uno de los primeros trabajos, Bodin *et al.* (1988) encontraron en corderas de raza Lacaune una relación entre las concentraciones de FSH a las 5 semanas y la fertilidad en su primera cubrición. Más recientemente, se han llevado a cabo diversos estudios sobre el papel de la leptina como marcador de estado metabólico y de crecimiento (Chilliard *et al.*, 2005). En la

raza Merina se ha visto que las ovejas sexualmente más precoces son las de crecimiento post natal más rápido, estando ambos parámetros asociados a la concentración de leptina (Rosales Nieto et al., 2013). Recientemente, se evaluó en corderas Rasa Aragonesa de unos tres meses de edad la concentración plasmática de la hormona anti-Mülleriana (AMH) y la tasa de ovulación en respuesta a la aplicación de eGG como posibles indicadores de un estatus ovárico más avanzado en unos animales respecto de otros (Lahoz et al., 2012). El objetivo de aplicar la eCG a corderas de tan corta edad fue poder estudiar la relación entre la AMH y la existencia de una mayor o menor población folicular sensible a las gonadotropinas, estimada a partir de la tasa de ovulación observada. En ese estudio, las ovejas se sometieron posteriormente a dos periodos de cubrición natural consecutivos y se pudo comprobar que ambos parámetros estaban correlacionados tanto entre sí como con la fertilidad de las dos primeras cubriciones, la primera a los 10 meses de edad y la segunda 4 meses después. En concreto, las corderas que quedaron gestantes en la primera cubrición habían tenido a los tres meses de edad unos niveles de AMH y una respuesta ovulatoria significativamente mayores que las gestantes en la segunda oportunidad, y las corderas que quedaron vacías tras esas dos oportunidades habían presentado los menores niveles de AMH. La explicación de estos resultados se basa en que a las 12-14 semanas tras el nacimiento ya existe en los ovarios una importante población de folículos sensibles a las gonadotropinas (Bartlewski et al., 2006; Mahdi y Khallili, 2008), y en que la AMH ha demostrado ser un buen marcador de los folículos sensibles a gonadotropinas en varias especies domésticas (Monniaux et al., 2013). Estas observaciones previas sugirieron que la AMH y la respuesta ovulatoria a la eCG en corderas de tres meses de edad podrían ser indicadores de la precocidad sexual, siendo una edad en la que el ganadero

todavía puede decidir qué corderas va a guardar para reposición. No obstante, la aplicabilidad de este test como herramienta de selección de los animales más precoces tendría que ser confirmada con el estudio de su productividad en su vida reproductiva adulta, lo cual constituye el objetivo del presente trabajo.

Material y métodos

Animales y diseño experimental

El experimento se llevó a cabo en las instalaciones del CITA de Aragón en la provincia de Zaragoza, España. Se utilizaron 73 corderas de raza Rasa Aragonesa que fueron controladas desde su nacimiento hasta una edad media de 3 años y medio. En el presente trabajo se completa el estudio anterior realizado por Lahoz et al. (2012), analizando los resultados reproductivos de esas ovejas (73 de las 76 del trabajo anterior, ya que 3 murieron), a lo largo de 32 meses desde la primera oportunidad de cubrición. Para ello, se ha seguido un sistema de ordenación de cubriciones de 3 partos en dos años, que es el más habitual en esta raza.

Manejo reproductivo

Durante el estudio los animales permanecieron en la finca de secano "El vedado bajo del horno" (41°52'22"N, 0°39'20"O), situada en el término municipal de Zuera, Zaragoza, España. Las corderas nacieron durante los meses de marzo y abril de 2009 y desde entonces han formado un único rebaño con el mismo manejo. La alimentación consistió en pastoreo permanente con una carga ganadera de 2 ovejas/ha en una rotación de praderas a base de alfalfa de secano, triticale, cebada, y *Atriplex halimus* con vegetación natural. Cuando las corderas alcanzaron los 10 meses de edad (312 ± 2 días), se pusieron a cubrir por primera

vez (enero de 2010). Desde esa fecha se realizó un seguimiento de los animales durante 32 meses. Las épocas de cubrición durante todo el periodo de estudio (enero 2010 – octubre 2012) correspondieron a los meses de enero, mayo y septiembre, de manera que los partos se registraron durante los meses de junio, octubre y febrero, respectivamente.

Durante el estudio han tenido lugar un total de 8 periodos de cubrición, siendo 4 el número máximo de partos alcanzable por oveja en este sistema de explotación (un parto y medio por oveja y año). Las cubriciones se realizaron mediante monta natural, sin tratar hormonalmente las reproductoras, y tuvieron una duración de 34 días. Se realizó “efecto macho” utilizando 5 moruecos adultos de raza Rasa Aragonesa de fertilidad probada (proporción hembras/macho: entre 6,4 y 14,6, según cubrición). En las fechas cercanas al parto, las ovejas se colocaron en jaulas de parición y permanecieron en estabulación permanente durante la lactación, alimentadas con heno de festuca y alfalfa, o bien con una mezcla comercial de concentrado y paja. Con el fin de evitar errores de asignación, en el momento del parto se utilizó un lector de bolos ruminales (SIRA, Azasa, Madrid, España) para registrar el bolo de la madre con la fecha, y asignarle manualmente la identificación de los corderos nacidos.

Determinación de los parámetros ováricos a los 3 meses

La metodología para determinar la presencia de folículos sensibles a gonadotropinas a la edad de 3 meses (109 ± 18 días), y peso vivo de $25,0 \pm 2,4$ kg (medias \pm DS), está detallada en Lahoz et al. (2012). De manera resumida, se aplicó a todos los animales una inyección de 600 UI de eCG (Sincropart PMSG, CEVA Salud Animal S.A., Barcelona, España) y seis días después se verificó la presencia de ovulaciones mediante observación laparoscópica. Se de-

terminó la concentración de AMH mediante un kit comercial ELISA (Active MIS/AMH ELISA Kit; Beckman Coulter France, Roissy CDG, Francia) en una muestra de plasma (heparina de litio) de cada animal tomada en el momento de la aplicación de la eCG. Se midieron los pesos el día de la administración de eCG, así como al inicio de la primera cubrición.

El punto de corte óptimo calculado previamente (Lahoz et al., 2012) para predecir la fertilidad en la primera cubrición en función de la concentración de AMH se ha utilizado en el presente trabajo para definir dos grupos: el grupo AMH ALTA (≥ 97 pg/ml) y el grupo AMH BAJA (< 97 pg/ml), en los que se han estudiado las variables reproductivas que se describen a continuación.

Análisis estadístico

Se estudiaron las siguientes variables (se presentan los rangos entre paréntesis): Edad al primer parto (405-704 días); AMH (0-590 pg/ml), que es la concentración en plasma sanguíneo a los 3 meses de edad; Presencia de ovulación (0-1), que se corresponde con las corderas que no ovularon o que presentaron una o más ovulaciones a los 3 meses en respuesta a la eCG; Tasa de ovulación (0-7), que son el número de ovulaciones a los 3 meses en respuesta a la eCG; Número total de oportunidades a lo largo del periodo de estudio (4-7), según hayan quedado gestantes en todas las cubriciones o en una, respectivamente: un número mayor indica que se han perdido más oportunidades de quedar gestantes, ya que las ovejas que quedan vacías en una cubrición vuelven a tener una nueva oportunidad en la cubrición siguiente; Número de oportunidades en primavera (1-3), que se corresponde con la cubrición de mayo de los 3 años consecutivos de estudio; Número total de partos a lo largo del periodo de estudio (1-4); Número de partos de cubriciones de primavera (0-3); Número de partos

por oveja y año (0,4-1,5), calculado como el número total de partos de cada animal dividido entre el número de años de estudio (32 meses; 2,67 años); Fertilidad (0-100%), que es el número de partos de cada oveja dividido entre el número de oportunidades; Fertilidad en primavera (0-100%), que es el número de partos de cubriciones de primavera de cada oveja dividido entre el número de oportunidades en primavera; Fertilidad adulta (14,3-100%), que es el número de partos de cada oveja dividido entre el número de oportunidades a partir de la primera oportunidad en la que quedaron gestantes; Número total de corderos a lo largo del periodo de estudio (1-7); Número de corderos a partir del segundo parto (0-6), calculado con el fin de evitar el sesgo producido por la menor prolificidad de las corderas en el primer parto; Número de corderos por oveja y año (0,4-2,6), calculado como el producto de la prolificidad media por el número medio de partos por oveja y por año; Prolificidad media (1-2,3), que es el número total de corderos nacidos dividido entre el número total de partos; Prolificidad media adulta (1-2,5), que es la prolificidad a partir del segundo parto; Prolificidad al primer parto (1-2). No se ha tenido en cuenta la mortalidad de los corderos en los cálculos de fertilidad ni prolificidad.

Las diferencias entre los grupos de AMH ALTA (≥ 97 pg/ml) y BAJA (< 97 pg/ml) en las variables expresadas como porcentajes se analizaron mediante regresión logística utilizando el procedimiento LOGISTIC del paquete estadístico SAS (SAS, 2012). El resto de variables, expresadas por oveja y año, o por parto, se analizaron mediante ANOVA para variables categóricas utilizando el procedimiento CATMOD de SAS. Los coeficientes de correlación de Pearson y las regresiones entre variables se obtuvieron mediante los procedimientos CORR y REG de SAS, respectivamente. A menos que se indique lo contrario, los datos se expresan como medias \pm error estándar. El nivel de significación se estableció en $P < 0,05$.

Resultados y discusión

Edad al primer parto

La edad media al primer parto fue de 551 ± 11 días, lo que supone alrededor de 18 meses. Este dato es similar al descrito para esta misma raza en sistemas de 3 partos en 2 años hace más de 25 años (536 días; Gabiña 1989a), así como a la media actual de los rebaños pertenecientes al programa de selección de UPRA-Grupo Pastores, con distintos sistemas de ordenación de cubriciones (586 y 667 días; Jurado 2014 y 2015, respectivamente). Los resultados del presente trabajo, si bien se corresponden con un número limitado de animales, parecen ser un reflejo de lo que acontece en la mayoría de explotaciones de esta raza, y parecen indicar que en los últimos años no se ha mejorado lo suficiente. Posiblemente no exista una única causa de este retraso observado en las ganaderías y sea un compendio de factores los que hagan que se esté todavía muy lejos de la optimización de este parámetro, ya que la edad al primer parto está influenciada tanto por factores genéticos y fisiológicos, como por multitud de factores ligados al manejo, como son la alimentación y la organización de las cubriciones.

Relaciones entre respuesta ovulatoria, edad al primer parto y parámetros reproductivos

En el trabajo previo se consiguió relacionar la concentración de AMH a los tres meses con la respuesta ovulatoria a esa edad, y ambas variables a su vez con la precocidad sexual. En el presente trabajo se ha vuelto a observar que la presencia de ovulación (ovular vs. no ovular), al igual que la concentración de AMH a los 3 meses, se correlacionaron negativamente con la edad al primer parto (ambas $r = -0,24$; $P < 0,05$) de manera que las corderas que habían ovulado, independientemente de su tasa de ovulación, presentaban una edad al primer parto menor. Sin embargo, a diferencia de la AMH, la presencia de ovulación

no se correlacionó con otras variables de la vida productiva adulta, como se verá más adelante. Por ello, no se considera que la observación de la ovulación inducida por eCG a los 3 meses de edad sea en sí una técnica para aplicar en las ganaderías, teniendo además en cuenta la creciente sensibilización del consumidor y las previsible políticas de restricción sobre la aplicación de tratamientos hormonales (Pellicer-Rubio *et al.*, 2009).

No obstante, merece la pena destacar que se observó una correlación positiva entre la tasa de ovulación a los 3 meses (rango 0-7) y el número total de corderos ($r = 0,25$), la prolificidad media ($r = 0,27$), la prolificidad en la edad adulta ($r = 0,26$) y el número de corderos por oveja y año ($r = 0,24$; todas ellas, $P < 0,05$). También se encontró una tendencia hacia la significación con la prolificidad en el primer parto ($r = 0,22$; $P < 0,1$). En ganado ovino, hace algunos años diversos autores ya relacionaron la tasa de ovulación de animales jóvenes tratados con hCG o PMSG con su prolificidad adulta (Driancourt *et al.*, 1990; Gootwine *et al.*, 1993). En Rasa Aragonesa también se llevó a cabo un trabajo similar (Folch *et al.*, 1997), en el cual se observó una relación con la prolificidad, pero también con el número de partos, lo que conducía finalmente a una mayor productividad. Los resultados de nuestro trabajo parecen confirmar estos resultados previos, y sugieren que existe una repercusión de la población folicular existente a edades tempranas con los parámetros reproductivos en la vida adulta. El aumento de progesterona que ocurre en la vaca antes del inicio de la pubertad parece un requisito necesario para el desarrollo de ciclos normales. La inducción exógena del aumento de progesterona conlleva un aumento del crecimiento folicular y de la cantidad de estrógenos y LH (Patterson *et al.*, 1992; Anderson *et al.*, 1996). Según esto, en las actuales condiciones de estudio, la aplicación de eCG a corderas impúberes capaces de ovular tras el estímulo hormonal, podría haber favorecido

la posterior secreción de gonadotropinas y haber acelerado así la activación del eje hipotálamo-hipofisis-gonadal. Por ello, en futuros trabajos sería necesario determinar el perfil endocrino de las corderas impúberes sin la aplicación de eCG.

Relaciones entre AMH, edad al primer parto y parámetros reproductivos

Edad al primer parto

En la Figura 1 se muestra el porcentaje acumulado de ovejas que tienen su primer parto a lo largo del tiempo, en función de que su concentración de AMH a los 3 meses de edad fuese mayor o menor de 97 pg/ml (grupos AMH ALTA y AMH BAJA, respectivamente). Como puede verse, en el grupo AMH ALTA el 48% de las corderas había tenido su primer parto en torno a los 460 días, mientras que en el grupo de AMH BAJA hubo que esperar hasta los 575 días para alcanzar el mismo porcentaje de corderas paridas. Así, en promedio, el grupo de AMH ALTA tuvo su primer parto 82 ± 19 días antes que el grupo de AMH BAJA (Tabla 1).

La edad al primer parto estuvo correlacionada significativamente con el número de oportunidades ($r = 0,52$; $P < 0,001$), el número total de partos ($r = -0,43$; $P < 0,001$), la fertilidad ($r = -0,54$; $P < 0,001$), el número total de corderos ($r = -0,27$; $P < 0,05$), el número de corderos por oveja y año ($r = -0,28$; $P < 0,05$) y el número de partos por oveja y año ($r = -0,44$; $P < 0,001$). Por lo tanto, como la edad al primer parto fue menor en el grupo de AMH ALTA, esto dio lugar a diferencias significativas entre grupos de AMH en las variables mencionadas, como se verá a continuación. Al estudiar la relación entre la edad al primer parto y la fertilidad adulta, con el objetivo de evitar el posible sesgo al contabilizar las primeras oportunidades fallidas de cubrición, se observó que la correlación no fue significativa ($r = -0,07$; NS). Esto indicaría que los fallos de

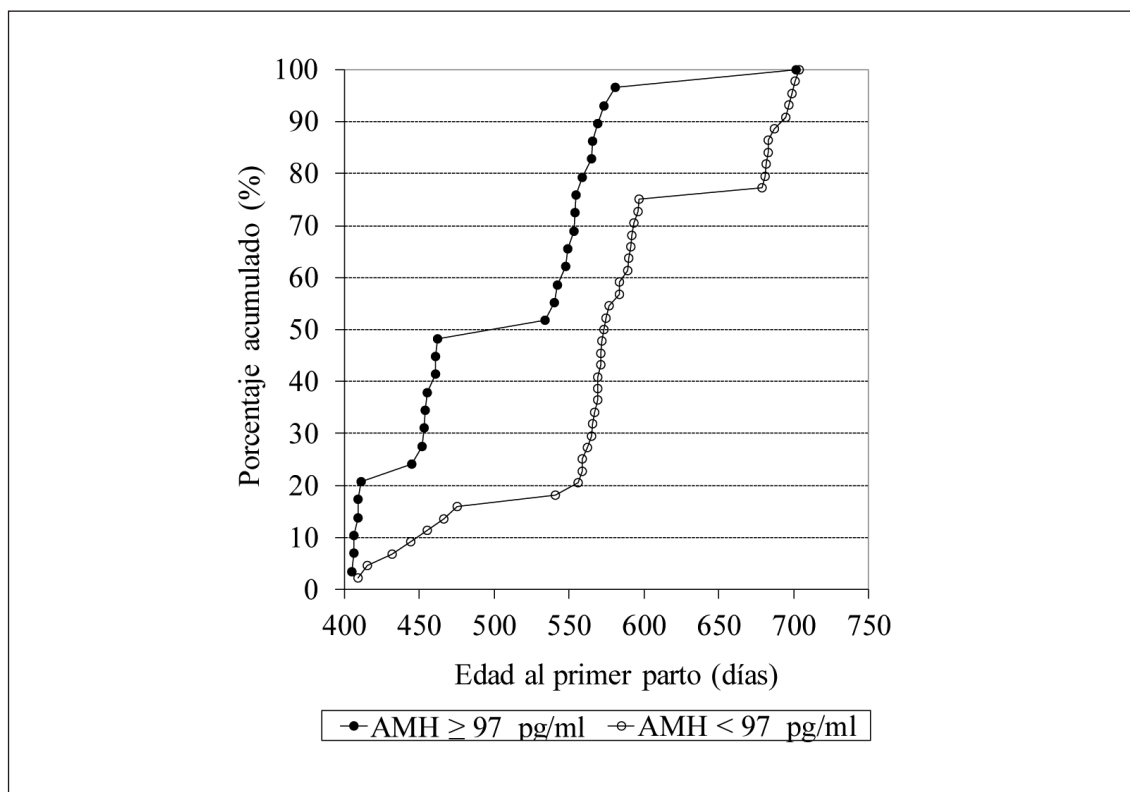


Figura 1. Porcentaje acumulado de ovejas que tienen su primer parto a lo largo del periodo de estudio en función de la concentración de la hormona Anti-Mülleriana (AMH) a los 3 meses de edad. Cada punto representa una oveja.

Figure 1. Percentage of ewes presenting their first lambing depending on plasma Anti-Müllerian hormone (AMH) concentration at 3 months of age.

fertilidad en las primeras cubriciones podrían deberse a un retraso en la pubertad más que a problemas de fertilidad en general. No obstante, algunos autores observaron que la fertilidad en una cubrición era menor en aquellas ovejas que no habían quedado gestantes en la cubrición anterior (Fogarty *et al.*, 2007; Vanimiseti y Notter, 2012), y algo similar se observó en ovejas de Rasa Aragonesa inseminadas sucesivamente (Galeote *et al.*, 2006).

Estos resultados evidencian la repercusión negativa que tiene retrasar la edad al primer parto sobre la vida productiva futura del ani-

mal. Estos coeficientes son similares a los descritos por Gabiña (1989a), que encontró una relación directa entre la edad al primer parto y el número de corderos vivos producidos a una determinada edad. En este sentido, también Jurado y Jiménez (2013) demostraron en esta misma raza que adelantar el primer parto suponía una mayor duración de la vida productiva, de manera que las corderas que tuvieron su primer parto antes de los 15 meses presentaban hasta 1,2 partos adicionales respecto a las que lo tuvieron a partir de los 24 meses. En la raza Polypay se observó que

Tabla 1. Parámetros reproductivos (media \pm error estándar) en ovejas Rasa Aragonesa en función de la concentración plasmática de hormona Anti-Mülleriana (AMH) a los 3 meses de edad en el periodo enero 2010 – octubre 2012

Table 1. Reproductive parameters (mean \pm standard error) in Rasa Aragonesa ewes controlled in the period of January 2010 – October 2012 depending on plasma Anti-Müllerian hormone (AMH) concentration at 3 months of age

	Concentración de AMH ¹		Nivel de significación ²
	ALTA	BAJA	
Número de ovejas (n)	29	44	
PARÁMETROS REPRODUCTIVOS			
Edad 1 ^{er} parto (días)	503 \pm 14	584 \pm 13	**
Oportunidades totales (n)	4,8 \pm 0,1	5,3 \pm 0,1	**
Partos totales (n)	3,5 \pm 0,1	3,0 \pm 0,1	**
Fertilidad (%)	72,9	57,5	**
Fertilidad adulta (%)	82,3	72,4	*
Partos / oveja / año (n)	1,31 \pm 0,04	1,14 \pm 0,04	**
Corderos totales (n)	5,3 \pm 0,3	4,4 \pm 0,2	**
Corderos totales tras primer parto (n)	4,2 \pm 0,2	3,1 \pm 0,2	**
Corderos / oveja / año (n)	2,02 \pm 0,10	1,64 \pm 0,08	**
Prolificidad media	1,53 \pm 0,06	1,44 \pm 0,05	NS
Prolificidad primer parto	1,24 \pm 0,08	1,16 \pm 0,06	NS
Prolificidad adulta	1,67 \pm 0,07	1,52 \pm 0,06	NS
PARÁMETROS REPRODUCTIVOS EN PRIMAVERA			
Oportunidades primavera (n)	1,7 \pm 0,1	2,1 \pm 0,1	**
Partos de cubriciones primavera (n)	1,3 \pm 0,1	1,1 \pm 0,1	NS
Fertilidad cubriciones primavera (%)	74,0	53,8	*
Corderos de cubriciones primavera (n)	1,90 \pm 0,19	1,48 \pm 0,16	†
Prolificidad de cubriciones primavera	1,47 \pm 0,09	1,26 \pm 0,06	*

¹ ALTA: \geq 97 pg/ml; BAJA: $<$ 97 pg/ml.

² † = P < 0,1; * = P < 0,05; ** = P < 0,01; NS = no significativo.

las corderas que quedaban gestantes en su primera oportunidad presentaban más de un parto y medio adicional durante un periodo de estudio de 38 meses (Vanimisetti y Notter, 2012).

Oportunidades totales

Como puede verse en la Tabla 1, el grupo de AMH ALTA presentó 0,5 oportunidades menos que el grupo de AMH BAJA ($P < 0,01$). Esto se explicaría porque la edad al primer parto fue menor en el grupo de AMH ALTA, de manera que las ovejas que se cubrieron más tarde, también perdieron un mayor número de oportunidades de quedar gestantes. La presencia en la explotación de ovejas poco productivas pero que generan gastos se traduce en pérdidas económicas. En este sentido, en Rasa Aragonesa se ha calculado que el coste de mantenimiento de una oveja adulta es de 80,15 €/año (dato de 2007; Pardos y Fantova, 2009).

Partos totales

El grupo de AMH ALTA presentó 0,5 partos adicionales en el periodo de estudio respecto al grupo de AMH BAJA, lo que se tradujo en 0,17 partos extra por oveja y año (ambas $P < 0,01$; Tabla 1). La correlación entre la concentración de AMH y el número de partos a lo largo del periodo de estudio fue de $r = 0,35$ ($P < 0,01$).

Como puede verse en la Figura 2(a), existió una gran variabilidad en el número de partos por oveja y año, situándose entre 0,4 y 1,5. Cuando se agruparon las ovejas en función del número de partos por año, se observó también una correlación positiva con la concentración media de AMH.

Fertilidad

El grupo de AMH ALTA presentó una fertilidad 15,4 puntos porcentuales mayor que el grupo de AMH BAJA ($P < 0,01$; Tabla 1). El coeficiente de correlación entre la AMH y la fertilidad fue $r = 0,32$ ($P < 0,01$).

Como puede verse en la Tabla 1, la fertilidad adulta de las corderas de AMH ALTA también fue significativamente mayor que la del otro grupo. Esto podría explicarse por lo observado por Ireland et al. (2011) en un trabajo reciente, en el que sugirieron que el número de folículos antrales en crecimiento presentes en los ovarios de terneras jóvenes podía estar relacionado con su fertilidad adulta.

Corderos totales

El grupo de AMH ALTA presentó casi un cordero adicional a lo largo del periodo de estudio, lo que se tradujo en 0,38 corderos adicionales por oveja y año (ambas $P < 0,01$; Tabla 1). La correlación entre la AMH y el número total de corderos o el número de corderos por oveja y año fue significativa ($r = 0,30$, $r = 0,29$; ambas $P < 0,05$). Como puede verse en la Figura 2(b), el número de corderos por oveja y año presentó una gran variabilidad individual, situándose entre 0,4 y 2,6. Cuando se agruparon las ovejas en función del número de corderos por oveja y año se observó una correlación positiva con la concentración media de AMH. Las grandes diferencias entre animales en las variables estudiadas sugieren la posibilidad de la utilización de estos parámetros para la futura selección de los más eficientes.

Prolificidad

Respecto a la prolificidad, en la Tabla 1 puede verse que si bien las diferencias de prolificidad entre los grupos de AMH ALTA y BAJA no fueron estadísticamente significativas, fueron del orden de +0,1 corderos a favor del grupo de AMH ALTA, lo cual sí que podría tener cierta importancia práctica y debería confirmarse con un mayor número de datos. Cuando se estudió la correlación entre la AMH y la prolificidad media, ésta tampoco llegó a ser significativa ($r = 0,19$; $P < 0,1$). Al interpretar estos datos, se podría pensar que como los animales más precoces tienen más partos a lo largo de su vida, indirectamente podrían ob-

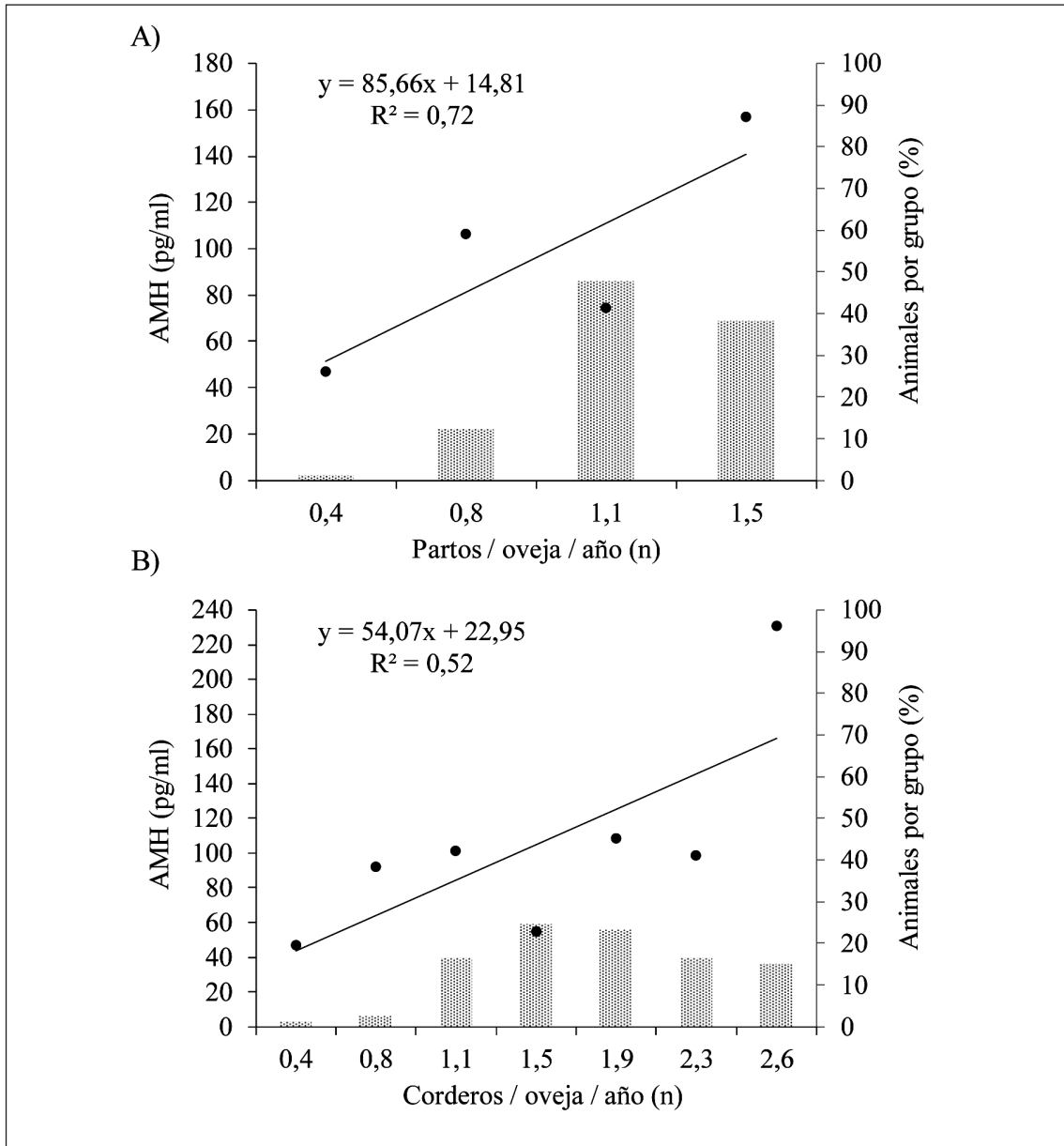


Figura 2. Número de partos por oveja y año (A) y número de corderos por oveja y año (B) según la concentración de AMH de corderas estimuladas a los 3 meses de edad, durante el periodo enero 2010 – octubre 2012 (gráfico de dispersión, eje principal). El gráfico de barras (eje secundario) representa el porcentaje de ovejas de cada grupo respecto del total.
 Figure 2. Number of lambings per ewe and year (A) and number of lambs per ewe and year (B) related to plasma AMH concentrations of 3 month-old stimulated ewe lambs, during January 2010 – October 2012 (scatter graph, primary axis). The bar graph (secondary axis) represents the percentage of ewes in each group.

tener mejores índices de prolificidad, ya que tienen más partos después de un primer parto que siempre es menos prolífico (Kenyon et al., 2014). Por ello, se calculó la prolificidad adulta, pero aun así se encontró la misma tendencia de correlación entre la AMH y la prolificidad adulta ($r = 0,22$; $P < 0,1$). Así mismo, las diferencias entre los grupos de AMH tampoco fueron estadísticamente significativas (+0,15 corderos en el grupo AMH ALTA).

Relaciones entre AMH y cubriciones en primavera

Independientemente de la concentración de AMH, la fertilidad en primavera estuvo correlacionada positivamente con el número de partos ($r = 0,71$), con el número total de corderos ($r = 0,50$), con el número de partos por oveja y año ($r = 0,72$) y con el número de corderos por oveja y año ($r = 0,51$; todas $P < 0,001$). Estos resultados pueden tener importancia desde el punto de vista de la desestacionalización en ovino de carne. Por un lado, mejorar la fertilidad en primavera conduce a un mayor número de corderos y a un mayor precio de los mismos, pero por otro, parece evidenciarse una mejora de la fertilidad de esos animales a lo largo de todo el año. En esta misma raza se demostró que el mayor porcentaje de corderos vendidos en el segundo semestre se traduce en mayores ingresos procedentes de la venta de los mismos por oveja y en un mayor precio medio por cordero (Fantova et al., 2011).

Cuando se analizó esta variable en función de la concentración de AMH a los 3 meses, se observó que durante todo el periodo de estudio el grupo de AMH ALTA presentó en las cubriciones en contra-estación una mayor fertilidad (+20,2 puntos porcentuales) y una mayor prolificidad (+0,21; ambas $P < 0,05$). Con el presente trabajo no se pueden dilucidar las causas de dichas diferencias de fertilidad en fotoperiodo creciente, si bien se podría especular con que fuesen debidas a diferencias en la población folicular de los grupos con alta y

baja AMH, que podrían responder de manera diferente a las gonadotropinas segregadas en respuesta al efecto macho.

En **conclusión**, los resultados del presente estudio confirman que la concentración de la hormona Anti-Mülleriana medida en corderas de tres meses que han recibido una dosis de eCG, tiene una relación directa con la precocidad sexual, y este adelanto de la edad al primer parto tiene una gran influencia sobre el rendimiento reproductivo en la edad adulta. En concreto, sobre el número de partos, la fertilidad y el número de corderos totales, así como en la fertilidad y prolificidad en las cubriciones en época de anestro. Estos resultados hacen pensar en la posibilidad de realizar selección temprana (antes de los 3 meses) de las corderas de reposición a través de un criterio fisiológico, como es la concentración de AMH en respuesta a un estímulo, lo que unido a un correcto manejo, permitiría una mejora considerable de la edad al primer parto y consecuentemente de la mayoría de índices de eficiencia reproductiva en la edad adulta.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto INIA (RTA 2011-00128) y por el Convenio de colaboración que el CITA de Aragón mantiene con Carnes Oviaragón S.C.L.

Bibliografía

- Anderson LH, McDowell CM, Day ML (1996). Progestin-induced puberty and secretion of luteinizing hormone in heifers. *Biology of Reproduction* 54: 1025-1031.
- Bartlewski PM, Beard AP, Rawlings NC (2006). Ultrasonographic study of antral follicle development during sexual maturation in ewe lambs. *Small Ruminant Research* 63: 189-198.

- Bodin L, Bibé B, Blanc MR, Ricordeau G, Mollaret R, Poirier JC (1988). Genetic relationship between prepubertal plasma FSH levels and reproductive performance in Lacaune ewe lambs. *Genetics Selection Evolution* 20: 489-498.
- Chilliard Y, Delavaud C, Bonnet M (2005). Leptin expression in ruminants: nutritional and physiological regulations in relation with energy metabolism. *Domestic Animal Endocrinology* 29: 3-22.
- Driancourt MA, Bodin L, Boomarov O, Thimonier J, Elsen JM (1990). Number of mature follicles ovulating after a challenge of human chorionic gonadotropin in different breeds of sheep at different physiological states. *Journal of Animal Science* 68: 719-724.
- Fantova E, Pardos L, Bru Ch, Buñuel M, Cuartielles I, Larraz V (2011). Influencia de la estacionalidad de la producción de corderos en explotaciones ovinas de carne en Aragón. XXXVI Jornadas de la Sociedad Española de Ovinotecnia y Caprinotecnia, 5-7 octubre 2011, San Sebastián, España, pp. 265-268.
- Fogarty NM, Ingham VM, Gilmour A, Afolayan RA, Cummins LJ, Edwards JEH, Gaunt GM (2007). Genetic evaluation of crossbred lamb production. 5. Age of puberty and lambing performance of yearling crossbred ewes. *Australian Journal of Agricultural Research* 58: 928-34.
- Folch J, Alabart JL, Echegoyen E, Sánchez P (1997). Relación entre el número de ovulaciones inducidas en la oveja prepúber mediante PMSG con la fertilidad y prolificidad en estado adulto. Resultados preliminares. VII Jornadas sobre Producción Animal AIDA-ITEA, 20-22 mayo 1997, Zaragoza, España, Tomo II, pp. 502-504.
- Folch J, Alabart JL (1999). Respuesta al efecto macho de ovejas rasa aragonesa según su estado cíclico tratadas o no con melatonina en primavera. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 20 (II): 651-653.
- Forcada F, Abecia JA, Zarazaga LA (1991). A note on the attainment of puberty of september-born early maturing ewe lambs in relation to level of nutrition. *Animal Production* 53: 407-409.
- Foster DL, Yellon SM, Olster DH (1985). Internal and external determinants of the timing of puberty in the female. *Journal of Reproduction and Fertility* 75: 327-344.
- Gabiña D (1989a). Improvement of the reproductive performance of Rasa Aragonesa flocks in frequent lambing systems. I. Effects of management system, age of ewe and season. *Livestock Production Science* 22: 69-85.
- Gabiña D (1989b). Improvement of the reproductive performance of Rasa Aragonesa flocks in frequent lambing systems. II. Repeatability and heritability of sexual precocity. *Livestock Production Science* 22: 87-98.
- Galeote AI, Sevilla E, Folch J, Blasco ME, Quintín FJ, Martí JI, Esteban J, Lahoz B, Hernández M, Fantova E, Alabart JL (2006). Resultados de inseminación artificial (IA) obtenidos en el programa de selección genética de Carnes Oviaragón S.C.L. Influencia de las IA repetidas sobre la fertilidad. XXXI Jornadas de la SEOE. 20-22 septiembre 2006, Zamora, España, pp. 394-396.
- Gootwine E, Braw-Tal R, Shalhevet D, Bor A, Zenou A (1993). Reproductive performance of Assaf and Booroola-Assaf crossbred ewes and its association with plasma FSH levels and induced ovulation rate measured at prepuberty. *Animal Reproduction Science* 3: 69-81.
- Ireland JJ, Smith GW, Scheetz D, Jimenez-Krassel F, Folger JK, Ireland JLH, Mossa F, Lonergan P, Evans ACO (2011). Does size matter in females? An overview of the impact of the high variation in the ovarian reserve on ovarian function and fertility, utility of AMH as a diagnostic marker for fertility and causes of variation in the ovarian reserve in cattle. *Reproduction Fertility and Development* 23: 1-14.
- Jurado JJ, Jiménez MA (2013). Relación entre vida productiva y edad al primer parto en ovejas de carne y leche. XV Jornadas sobre Producción Animal AIDA, 14-15 mayo 2013, Zaragoza, España, pp. 454-456.
- Jurado JJ (2014). Programa de selección genética de UPRA-Grupo Pastores. 21º Catálogo de reproductores.
- Jurado JJ (2015). Programa de selección genética de UPRA-Grupo Pastores. 22º Catálogo de reproductores.
- Kenyon PR, Thompson AN, Morris ST (2014). Breeding ewe lambs successfully to improve lifetime performance. *Small Ruminant Research* 118(1-3): 2-15.

- Kern G, Kemper N, Traulsen I, Henze C, Stamer E, Krieter J (2010). Analysis of different effects on longevity in four sheep breeds of northern Germany. *Small Ruminant Research* 90: 71-74.
- Knights M, Baptiste QS, Lewis PE (2002). Ability of ram introduction to induce LH secretion, estrus and ovulation in fall-born ewe lambs during anestrus. *Animal Reproduction Science* 69: 199-209.
- Lahoz B, Alabart JL, Monniaux D, Mermillod P, Folch J (2012). Anti-Mullerian hormone plasma concentration in prepubertal ewe lambs as a predictor of their fertility at a young age. *BMC Veterinary Research* 8: 118.
- López Sebastián A, Gómez Brunet A, Pinilla A, Cabellos B (1985). Influencia de la época de nacimiento y del efecto de los machos sobre la aparición de la pubertad en las corderas manchegas. *ITEA-Información Técnica Económica Agraria* 58: 45-50.
- Mahdi D, Khallili K (2008). Relationship between follicle growth and circulating gonadotropin levels during postnatal development of sheep. *Animal Reproduction Science* 106: 100-112.
- Monniaux D, Drouilhet L, Rico C, Estienne A, Jarrier P, Touze JL, Sapa J, Phocas F, Dupont J, Dalbès-Tran R, Fabre S (2013). Regulation of anti-Mullerian hormone production in domestic animals. *Reproduction Fertility and Development* 25: 1-16.
- Newton JE, Brown DJ, Dominik S, van der Werf JHJ (2014). Genetic and phenotypic parameters between yearling, hogget and adult reproductive performance and age of first oestrus in sheep. *Animal Production Science* 54(6): 753-761.
- Pardos L, Fantova E (2009). Evolución de la rentabilidad económica en explotaciones de ovino de carne en Aragón. *Albéitar* 123: 26-28.
- Patterson DJ, Perry RC, Kiracofe GH, Bellows RA, Staigmiller RB, Corah LR (1992). Management considerations in heifer development and puberty. *Journal of Animal Science* 70(12): 4018-4035.
- Pellicer-Rubio MT, Ferchaud S, Freret S, Tournadre H, Fatet A, Boulot S, Pavie J, Leboeuf B, Bocquier F (2009). Available methods for the control of reproduction in domestic mammals and their interest for organic animal production. *Inra Productions Animales* 22(3): 255-270.
- Robinson JJ, Ashworth CJ, Rooke JA, Mitchell LM, McEvoy TG (2006). Nutrition and fertility in ruminant livestock. *Animal Feed Science and Technology* 126: 259-276.
- Rosales Nieto CA, Ferguson MB, Macleay CA, Briegel JR, Martin GB, Thompson AN (2013). Selection for superior growth advances the onset of puberty and increases reproductive performance in ewe lambs. *Animal* 7(6): 990-997.
- SAS Institute Inc (2012). SAS OnlineDoc® 9.3. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Vanimiseti HB, Notter DR (2012). Opportunities for genetic evaluation of reproductive performance in accelerated lambing systems. *Livestock Science* 148: 134-145.

(Aceptado para publicación el 10 de marzo de 2016)