



Artículo de investigación

Características de la pubertad en corderos de pelo y sus cruces en Colombia en condiciones de baja altitud

Liliana Chacón J^{1*} Ph.D; Harvey Lozano M² Ph.D; Jaumer Orozco C¹ MV; Ariosto Ardila S¹ Ph.D.

¹Universidad de La Salle, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Bogotá, Colombia.

²Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Bogotá, Colombia.

*Correspondencia: lchacon@unisalle.edu.co

Received: July 2018; Accepted: October 2018; Publicado: Diciembre 2018.

RESUMEN

Objetivo. Describir las características del inicio de la pubertad en corderos machos (Ovino de Pelo Colombiano, OPC) y sus cruces en una granja ubicada en Villavicencio, Meta. **Materiales y métodos.** Se evaluaron 15 corderos de tres razas: OPC x OPC (OPC), Santa Inés x OPC (SO) y Katahdin X OPC (KO), a partir de los cuatro meses de edad, cinco corderos por cruzamiento, manejados en pastoreo rotacional, con sal mineralizada comercial y agua a voluntad. Mensualmente hasta los doce meses de edad, se evaluó el peso corporal (PC), circunferencia escrotal (CE), volumen testicular (VT), y se determinó la concentración de testosterona en suero mediante la prueba de Elisa, se determinó la presencia del mediastino testicular mediante ecografía y se evaluó el desprendimiento de la prolongación uretral. Finalmente se determinaron las características macroscópicas y microscópicas del eyaculado. **Resultados.** El efecto racial o de cruzamiento fue significativo para los resultados del PC, CE y VT en el tiempo. Los cruces OPC y KO presentaron los valores más altos en PC, mientras que los corderos OPC mantuvieron un valor menor de PC hasta el final de la investigación. Se realizaron al menos cuatro evaluaciones seminales hasta la presentación de una concentración mínima de 150 millones de espermatozoides por ml con un 30% de motilidad progresiva individual. **Conclusiones.** En condiciones tropicales no estacionales en Colombia (Orinoquia), para las variables peso corporal, desarrollo testicular, morfología del pene, calidad del semen, concentración de espermatozoides y niveles de testosterona, se postula que alrededor de los seis meses de edad, se presenta el inicio de la pubertad en los tres biotipos.

Palabras clave: oveja criolla, madurez sexual, testosterona, desarrollo testicular (*Fuente: CAB, AgroVoc, MeSH*).

ABSTRACT

Objective. Aimed to describe the characteristics of the onset of puberty in males in Colombian hair ram lambs (*Ovino de Pelo Colombiano*, OPC), and their crosses with Katahdin and Santa Inés sheep in a farm located in Villavicencio, Meta. **Materials and methods.** 15 lambs of three biotypes: OPC x OPC (OPC), Santa Inés x OPC (SO) and Katahdin X OPC (KO) from four until 12 months old. Ram lambs were grazing and they had supplementation with commercial salt and water *ad libitum*. Monthly body weight (BW), scrotal circumference (SC), testicular volume (TV) were measured and testosterone level were determined by Elisa test, and ultrasound of the two testicles was performed to determine the presence of the testicular mediastinum, also evaluating the presence and detachment of the urethral prolongation and then electro ejaculation was performed to determine the macroscopic and microscopic characteristics of the semen. **Results.** Genotype effect was significant for evolution of body BW, SC, TV over time. The SO and KO crosses presented the highest values in BW, whereas OPC lambs maintained a lower value until the end of the assay. At six months old, the three biotypes presented a minimum concentration of 150 million of sperm per ml with 30% of individual progressive motility. **Conclusions.** In non-seasonal tropical conditions in Colombia (Orinoquia), depending on the variables included, body weight, testicular development, penis morphology, semen quality, sperm concentration and testosterone levels, it is postulated that around six months of age, the onset of puberty is displayed in the three biotypes.

Keywords: Creole sheep ram semen, sexual ram maturity, testosterone, testicular development (*Source: CAB, AgroVoc, MeSH*).

Como citar (Vancouver).

Chacón JL, Lozano MH, Orozco CJ, Ardila SA. Características de la pubertad en corderos de pelo y sus cruces en Colombia en condiciones de baja altitud. Rev MVZ Córdoba. 2019; 24(1):7097-7103. DOI: <https://doi.org/10.21897/rmvz.1413>



©El (los) autor (es), Revista MVZ Córdoba 2018. Este artículo se distribuye bajo los términos de la licencia internacional Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>), que permite el uso sin restricciones, la distribución y la reproducción en cualquier medio, siempre que se otorgue el crédito apropiado al autor o autores originales y la fuente.

INTRODUCCIÓN

En la selección de machos, la heredabilidad alta de características sexuales tales como precocidad y fertilidad tienen gran impacto sobre el éxito económico de las granjas de ovinos. En general, el desarrollo sexual de corderos machos parece estar más asociado con el crecimiento corporal que con la edad. El peso corporal puede ser un mejor criterio para el logro de la pubertad que la edad cronológica únicamente (1-3). La tasa de crecimiento testicular ha sido reportada más rápida en corderos de razas altamente prolíficas, tales como Landrace finlandesa, que en menos prolíficas como la Awassi (4). Nazari et al (3) después de observar el crecimiento testicular encontraron diferencias consistentes en el desarrollo de la actividad sexual y de la producción espermática, sugiriendo que corderos jóvenes de razas prolíficas (Romanov y Landrace finlandés), pueden diferir en su futuro desempeño reproductivo. El desarrollo temprano de la pubertad asociado con el incremento del peso corporal es deseable en el desempeño reproductivo mejorado (5). De acuerdo con la relación entre estas características, la selección de corderos en edades juveniles podría mejorar la eficiencia de selección (6).

La pubertad corresponde a la transición hacia la adultez y se puede definir en machos como el periodo de tiempo cuando los espermatozoides fértiles están presentes en el eyaculado (7). Una de las definiciones es el momento en el que los machos muestran interés por las hembras en celo y las montan con eyaculación exitosa (2). También ha sido descrita la pubertad como el estado de madurez sexual cuando el cordero macho es capaz de expresar comportamiento sexual completo para producir y liberar gametos (8). De acuerdo con algunos autores, el 80% de los corderos machos muestra desprendimiento del proceso uretral al inicio de la pubertad (9,10). Otra definición en corderos se basa en la producción sostenida de testosterona plasmática (1 ng/ml) durante tres muestras sanguíneas consecutivas realizadas en una semana y confirmadas por la presencia de espermatozoides en el eyaculado con al menos 30% de motilidad progresiva (7,11).

Información acerca del inicio de la pubertad se considera de importancia para el éxito del manejo reproductivo (12). La precocidad sexual y la fertilidad proveen un gran impacto en el éxito económico de los rebaños ovinos con un incremento en el número de corderos por año.

Actualmente existe poca información disponible relacionada con la concentración de testosterona, calidad seminal, libido y desempeño sexual en corderos en condiciones de baja altitud en un país tropical no estacional (13).

El objetivo de este estudio fue evaluar el desarrollo de la habilidad reproductiva con relación a la calidad seminal, características morfológicas (testículos-pene) y testosterona plasmática en animales jóvenes Ovino de Pelo Colombiano (OPC) y sus cruces raciales, Katahdin (KO) y Santa Inés (SO) que crecieron bajo condiciones tropicales de baja altitud en Colombia (Orinoquia).

MATERIALES Y METODOS

Animales y ubicación geográfica. Todos los procedimientos fueron aprobados por el Comité de Bioética de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de La Salle (protocolo número 141, Septiembre de 2015).

El estudio se desarrolló en la finca experimental de La Congregación, de propiedad de la universidad de La Salle, localizada en el sur oeste de Colombia a 04° 09' 12"N + 73°38'06"W y altitud de 650 msnm. Quince corderos machos, con edades entre 3 y 4 meses al inicio del experimento, de tres cruces raciales diferentes (n=5 por grupo racial), se mantuvieron en el estudio hasta los doce meses de edad. Las razas estudiadas fueron Ovino de Pelo Colombiano (OPC) y sus cruces con razas foráneas Katahdin x OPC (KO) y Santa Inés x OPC (SO). Los corderos nacieron en la misma finca y se escogieron por apareamiento o cruzamiento de los padres. Los corderos crecieron en un mismo grupo contemporáneo en pastoreo rotacional (*Brachiaria* sp.), hasta finalizar la investigación. Se ofreció sal mineral y agua *Ad libitum*.

Peso corporal, circunferencia escrotal y volumen testicular. Mensualmente el mismo operador durante todo el experimento registró estas variables. Se realizó ecografía (Pie Medical Aquila Pro VET™) en cada testículo observando el mediastino testicular (*rete testis*) indicando su presencia o ausencia (14).

La circunferencia escrotal (SC) se midió utilizando una cinta flexible en la parte más ancha del diámetro escrotal. El peso corporal se determinó utilizando una báscula electrónica. El volumen testicular se calculó (TV) mediante la fórmula para un esferoide prolato:

$$a = \frac{4}{3} \pi \left(\frac{b-k}{2} \right) \left(\frac{c-k}{2} \right)^2$$

donde a=volumen testicular (ml), b=largo testículo (cm), c=ancho testículo (cm) and k=grosor testículo (0.2 cm en este experimento), de un solo testículo, b y c, donde se derivan de las medidas tomadas con el caliper y el volumen testicular total= volumen testicular izquierdo + volumen testicular derecho (15,16).

El desprendimiento del proceso uretral se observó en los corderos machos retrayendo el prepucio y exponiendo el pene con el propósito de observar esta pieza anatómica (9).

Evaluación de las características seminales en corderos. Una vez al mes, desde los cuatro hasta los doce meses de edad, el semen se colectó por electroeyaculación (Ideal® ElectroJac®6, Neogen Animal Safety, Lexington, KY), el pene se expuso desde la cavidad prepuccial y el proceso uretral se introdujo gentilmente dentro de un tubo cónico a inicio del proceso de la eyaculación. El semen se colocó en un baño serológico a 37°C y sujeto a las siguientes pruebas: 1.) evaluación del volumen en un tubo cónico graduado con intervalos visibles ópticamente de 0.1 mL. 2.) la motilidad masal se determinó por el tipo de ondas en una escala subjetiva de ondas de 1 a 5, donde uno correspondió ausencia de ondas y 5, cuando las ondas presentaron un movimiento espermático vigoroso. La motilidad progresiva individual (%) se

determinó de acuerdo con el procedimiento propuesto por Masoudi et al (17). 3.) La concentración espermática se determinó por espectrofotometría (540 nm). La proporción de espermatozoides morfológicamente normales y anormales se realizó mediante la tinción de eosina-nigrosina, contando 200 espermatozoides con aceite de inmersión y aumento de objetivo (1000X) en campos al azar. Los espermatozoides anormales se clasificaron como cabezas anormales, anormalidades de pieza media, anormalidades de cola, gotas citoplasmáticas proximales y distales, cabezas sueltas (18). Todos los exámenes fueron realizados por la misma persona.

Concentración plasmática de testosterona. Se colectaron muestras de sangre por punción de la vena yugular desde los cuatro a los doce meses de edad (cada dos meses) durante 5 horas (6 a.m. a 11 a.m.) con intervalos de 45 minutos utilizando tubos al vacío con heparina (10). El plasma se obtuvo por centrifugación a 1500 g durante 15 min dentro de la hora siguiente a su colecta y se conservó a -70°C. La concentración de testosterona en las muestras de plasma se midió en duplicado utilizando un paquete comercial de un inmunoensayo enzimático (DS-EIA-Steroid-Testosterone RH-353, Italy). Se utilizó una curva de calibración con el propósito de determinar las concentraciones en un rango de 1.25 a 40 nmol/l de testosterona en plasma. Muestras conocidas de un macho adulto y de una hembra ovariectomizada se utilizaron como controles positivos y negativos respectivamente. El límite inferior de detección fue de 0.2 nmol/l y el coeficiente de variación inter e intra ensayo fue de 6.7% y 5.5% respectivamente.

En cada macho, las curvas de testosterona se elaboraron sobre un periodo de 5 horas para determinar el valor máximo y la media. El área bajo la curva se analizó para esta variable.

Análisis estadístico. Los datos para las características del semen, concentración de testosterona (AUC, media) y las mediciones corporales y testiculares se analizaron por el efecto de edad (tiempo), genotipo, e interacción de tiempo-genotipo, usando el análisis de varianza de mediciones repetidas, procedimiento GLM. Se utilizó una

prueba de Duncan para la comparación de las medias. Los datos se presentan como medias y SEM. EL nivel de significancia utilizado en todas las pruebas fue de $p < 0.05$. Los datos se analizaron mediante SAS System (SAS version 9.12, SAS Institute Inc.).

RESULTADOS

La totalidad de los parámetros de los corderos involucrados en esta investigación en edades desde los cuatro hasta los doce meses de edad se presentan en la tabla 1, resumidos en la media y el error estándar de las mediciones corporales (PC, CE, VT), *rete testis*, proceso uretral.

Observando algunas características durante el desarrollo sexual de los corderos, a los seis meses de edad la mayoría de los animales de todos los grupos raciales presentaron la *rete testis* por ultrasonido, lo cual es considerado como una evidencia de presencia de espermatozoides en este túbulo colector provenientes de los tubulos seminíferos como evidencia de maduración sexual. Algo similar ocurrió con el desprendimiento del proceso uretral, otra evidencia de desarrollo sexual durante la pubertad en los machos.

En la tabla 2 se incluye la concentración de testosterona, AUC, media y error estándar de la calidad seminal (concentración, motilidad progresiva, individual), en los tres grupos raciales evaluados.

EL efecto del genotipo fue significativo para la evolución del desarrollo corporal (PC, CE, VT) en el tiempo ($p < 0.05$). Los cruces de Santa Inés y Katahdin presentaron los valores más altos en PC durante la investigación mientras que los corderos OPC mantuvieron los valores más bajos hasta el final de la investigación; un desarrollo similar se observó para CE y VT en los corderos (Figura 1).

En este estudio, se observaron diferencias significativas entre grupos genéticos (Tabla 1), con los valores menores para OPC en la circunferencia escrotal y volumen testicular ($p < 0.05$).

Tabla 1. Mediciones corporales medias, presencia de *processus urethrae* en diferentes meses en la raza Ovino de Pelo Colombiano (OPC) y sus cruces con Katahdin (KO) y Santa Inés (SO).

| Item | Genotype | Año (Meses) | | | | | SEM ¹ | P-value ² | | |
|---|----------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------------|----------------------|------------|------------|
| | | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | | Genotipo | Mes | GXM |
| Peso corporal (kg) | KO | 19.00 ^{Ba} | 23.33 ^{Bb} | 28.67 ^{Bc} | 31.67 ^{Bc} | 33.67 ^{Bc} | 1.47 | | | |
| | OPC | 14.10 ^{Aa} | 15.60 ^{Aa} | 17.20 ^{Ab} | 20.20 ^{Ab} | 25.80 ^{Aa} | 1.16 | $p < 0.05$ | $p < 0.05$ | $p < 0.05$ |
| | SO | 15.20 ^{Aa} | 20.00 ^{Bb} | 22.90 ^{Bb} | 27.80 ^{Bc} | 32.00 ^{Bc} | 1.02 | | | |
| Circunferencia escrotal (cm) | KO | 17.38 ^{Ba} | 21.38 ^{Bb} | 23.00 ^{Bb} | 26.38 ^{Bc} | 27.63 ^{Bc} | 0.23 | | | |
| | OPC | 9.60 ^{Aa} | 12.00 ^{Ab} | 14.50 ^{Ab} | 18.20 ^{Ac} | 22.30 ^{Ac} | 0.61 | $p < 0.05$ | $p < 0.05$ | $p < 0.05$ |
| | SO | 13.90 ^{Ba} | 18.70 ^{Bb} | 21.50 ^{Bc} | 24.10 ^{Bc} | 27.00 ^{Bc} | 0.53 | | | |
| Volumen total testicular (cm ³) | KO | 19.08 ^{Ba} | 69.63 ^{Bb} | 108.25 ^{Bc} | 126.05 ^{Bc} | 136.60 ^{Bc} | 3.21 | | | |
| | OPC | 4.02 ^{Aa} | 18.70 ^{Ab} | 40.73 ^{Ac} | 71.51 ^{Ac} | 101.23 ^{Ad} | 2.47 | $p < 0.05$ | $p < 0.05$ | $p < 0.05$ |
| | SO | 10.36 ^{Ba} | 30.88 ^{Bb} | 69.42 ^{Ac} | 113.39 ^{Bd} | 132.95 ^{Bd} | 2.86 | | | |
| <i>Rete testis</i> ³ | KO | + | + | + | + | + | | | | |
| | OPC | - | + | + | + | + | | | | |
| | SO | - | + | + | + | + | | | | |
| Proceso uretral ⁴ | KO | + | + | + | + | + | | | | |
| | OPC | - | - | + | + | + | | | | |
| | SO | - | + | + | + | + | | | | |

A,B Diferencias ($p < 0.05$) entre genotipo dentro del tiempo. a-c Diferencias ($p < 0.05$) entre los puntos de tiempo dentro de genotipo. 1 Se muestran las mayores SEM. 2 P-value para genotipo (G), edad (meses) y su interacción (G x M). 3 *Rete testis*: si o no (+ / -); 4 Proceso uretral: desprendida si o no (+ / -).

Tabla 2. Características medias de testosterona y espermatozoides a diferentes meses de edad en *Ovino de Pelo Colombiano* (OPC) y sus cruces con Katahdin (KO) y *Santa Inés* (SO).

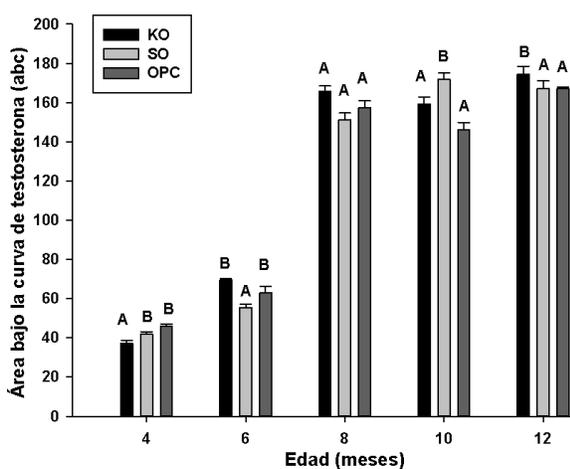
| Item | Genotipo | Edad (Meses) | | | | | SEM ¹ | P-value ² | | |
|---|---------------------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|----------------------|--------|--------|
| | | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | | Genotipo | Mes | GXM |
| Testosterona media (ng/ml) | KO | 0.71 ^{Aa} | 2.68 ^{Ab} | 3.43 ^{Ac} | 3.59 ^{Ac} | 3.47 ^{Ac} | 0.20 | NS | NS | NS |
| | OPC | 0.86 ^{Aa} | 2.39 ^{Ab} | 3.30 ^{Ac} | 3.12 ^{Ac} | 3.77 ^{Ac} | 0.20 | | | |
| | SO | 0.87 ^{Aa} | 2.17 ^{Ab} | 3.66 ^{Ac} | 3.20 ^{Ac} | 3.65 ^{Ac} | 0.26 | | | |
| Testosterona media AUC (aiu) ³ | KO | 37.22 ^{Aa} | 69.62 ^{Bb} | 165.60 ^{Ac} | 159.32 ^{Ac} | 174.27 ^{Bc} | 2.51 | p<0.05 | p<0.05 | p<0.05 |
| | OPC | 46.11 ^{Ba} | 62.93 ^{Bb} | 157.31 ^{Ac} | 146.07 ^{Ac} | 167.05 ^{Ac} | 2.50 | | | |
| | SO | 41.99 ^{Ba} | 55.50 ^{Ab} | 151.06 ^{Ac} | 171.89 ^{Bc} | 167.22 ^{Ac} | 2.68 | | | |
| Calidad semen | Concentración (spz x10 ⁶) | KO | 30±10 ^{Ba} | 490±130 ^{Bb} | 1220±422 ^{Bc} | 1480±250 ^{Bc} | 1510±175 ^{Bc} | p<0.05 | p<0.05 | p<0.05 |
| | | OPC | 0 ^{Aa} | 200±180 ^{Ab} | 430±35 ^{Ac} | 790±290 ^{Ad} | 950±332 ^{Ad} | | | |
| | | SO | 0 ^{Aa} | 345±220 ^{Bb} | 615±324 ^{Ac} | 910±317 ^{Ad} | 1015±440 ^{Ad} | | | |
| Motilidad individual progresiva (%) | KO | 10±5 ^{Ba} | 65±20 ^{Bb} | 80±10 ^{Ab} | 85±10 ^{Ab} | 80±10 ^{Ab} | p<0.05 | p<0.05 | NS | |
| | OPC | 0 ^{Aa} | 40±10 ^{Ab} | 80±15 ^{Ac} | 80±10 ^{Ac} | 80±15 ^{Ac} | | | | |
| | SO | 0 ^{Aa} | 70±20 ^{Bb} | 70±20 ^{Ab} | 75±10 ^{Ab} | 70±20 ^{Ab} | | | | |

A, B Diferencias (p<0.05) entre genotipo dentro de puntos de tiempo. a-c Diferencias (p<0.05) entre puntos de tiempo dentro de genotipo. 1 Se muestran los mayores SEM. 2 P-value para genotipo (G), edad (Meses) y su interacción (G x M); 3 AUC: Área bajo la curva de testosterona. 6 Desviación estándar (± SD).

En conclusión, el patrón de testosterona circulante fue similar en los tres grupos pero en la AUC este patrón mostró diferencias significativas para efecto de edad, tiempo y su interacción (p<0.05). La figura 2 muestra la evolución detallada del AUC en el tiempo y en función del genotipo.

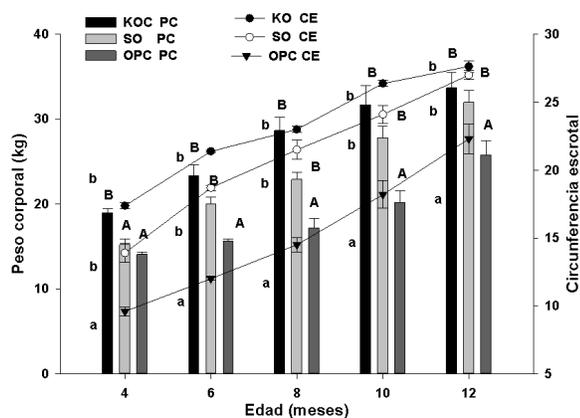
El efecto del genotipo y tiempo se observó para la calidad seminal (concentración y motilidad) (p<0.05). La tabla 2 muestra la evolución detallada de estas variables en el tiempo y en función del genotipo.

La concentración máxima de testosterona y la amplitud en los tres grupos raciales y en el tiempo mostró valores mas altos para el grupo racial SO. Estos datos no fueron incluidos en la tabla y en su lugar se incluyeron el área bajo la curva y la media, debido a que mostraron diferencias significativas entre los grupos en el efecto tiempo (p<0.05). No se presentaron asociaciones entre los niveles de testosterona y calidad seminal o mediciones corporales.



A,B Diferencias (p<0.05) entre genotipo dentro de meses.

Figura 2. Edad relacionada al área bajo la curva de testosterona en corderos machos *Ovino de Pelo Colombiano* (OPC) y sus cruces con Katahdin (KO) y *Santa Inés* (SO).



A,B Diferencias (p<0.05) entre genotipo dentro de meses para el peso corporal (PC). a,b Diferencias (p<0.05) entre genotipo dentro de meses para circunferencia escrotal (CE).

Figure 1. Relación entre la edad (meses), el peso corporal y la circunferencia escrotal en corderos machos *Ovino de Pelo Colombiano* (OPC) y cruces con Katahdin (KO) y *Santa Inés* (SO).

DISCUSIÓN

El objeto de este estudio fue describir el desarrollo reproductivo en corderos jóvenes durante el primer año de vida de grupos raciales de ovinos de pelo bajo condiciones de baja altitud en un país tropical no estacional. La determinación de la edad al inicio de la pubertad varía entre investigadores y depende de las metodologías o variables seleccionadas por ellos. Es importante mencionar los diferentes criterios usados para determinar este momento fundamental del desarrollo de los corderos. La presencia de espermatozoides con motilidad en un eyaculado, el logro de peso corporal adulto (50 a 60%), el desprendimiento del proceso uretral y la habilidad del cordero para detectar el celo son variables consideradas para determinar el inicio de la pubertad (19–22).

La ganancia diaria de peso es un factor determinante en el desarrollo sexual y el inicio de la pubertad en corderos se alcanza cuando los corderos obtienen entre el 50 y 60% de su peso corporal adulto (19). Las razas puras Katahdin y Santa Inés son razas especializadas para la producción de carne en USA y Brasil y en esos rebaños la selección de individuos superiores se ha enfocado en la conformación y peso corporal los cuales tienden un incremento en talla y peso de animales adultos y en consecuencia la reducción en la edad a su madurez (23–26).

Por esta razón, los cruces para las razas seleccionadas en este estudio se basaron en un grupo racial criollo, el *Ovino de pelo colombiano* (OPC), y sus cruces con Katahdin y Santa Inés. La raza OPC es considerada una raza criolla la cual ha tenido una muy adecuada adaptación a la región a pesar de no hacerse mejoramiento genético desde su arribo con los españoles al territorio colombiano durante la conquista (27,28). Por esto es importante realizar cruces con razas mejoradas (29), tales como KO y SO, los dos grupos raciales seleccionados para esta investigación, los cuales alcanzan la pubertad a pesos similares a diferencia de los corderos OPC que llegaron a la pubertad con pesos más bajos y mayor edad, lo que indica que el peso corporal es una medida relevante para la selección de animales para la reproducción.

La pubertad en los machos se relaciona estrechamente con el crecimiento testicular (6). Durante esta investigación se observó en los corderos un incremento significativo en el volumen testicular sugiriendo que los animales presentaron un desarrollo sexual rápido desde los cuatro meses; resultados similares a los obtenidos por Emsen (4), quien observó un incremento marcado de los 90 a los 180 días de edad.

El volumen testicular y el peso vivo más altos se obtuvieron con corderos K y SO ya que el volumen testicular esta relacionado con el peso corporal y también a la alimentación del animal (30–32). Los resultados del volumen testicular son muy similares a los reportados en razas puras Awasi (A), y Red Karaman (R), de Turkia con 17.7 ± 2.6 ml y 21.3 ± 2.6 ml respectivamente y sus cruces a los 6 meses de edad (4).

El inicio de la pubertad también se define por el diámetro medio de los túbulos seminíferos, que divergen en el mediastino testicular y están altamente correlacionados con el peso testicular (33). El mediastino testicular aparece en la parte central del testículo como una línea hiper ecogénica (34), el tipo de ecogenicidad puede estar involucrado en una puntuación que indique claramente su presencia, sí o no. Luego, esta apariencia anatómica puede asociarse con la presencia de espermatozoides en este conducto proveniente de los diversos túbulos seminíferos, lo que podría considerarse un elemento importante para determinar el inicio de la pubertad; el 80% de los corderos carneros KO y SO mostraron el mediastino durante el tiempo considerado como inicio de la pubertad en comparación con el 40% de la OPC. La presencia o no de la *rete testis* evaluada por ultrasonido se asoció a la presencia de espermatozoides en la eyaculación.

Comparando los resultados de un estudio en Brasil con la raza Santa Inés en la determinación del inicio de la pubertad basado en el desprendimiento del proceso uretral, se observan resultados similares entre KO y SO con la raza brasileña, mientras que los corderos OPC alcanzaron el desprendimiento uretral con ocho meses de edad (10). Se pudo observar una alta relación en el inicio de la pubertad y la aparición de mediastino y el desprendimiento del proceso uretral.

Con respecto a todos los datos obtenidos del análisis de testosterona, se observa cómo la concentración difiere de los resultados anteriores de los autores colombianos (12), probablemente porque ellos tenían solo una medida, en comparación con la presente investigación, donde la media provino de muestras recolectadas durante 5 horas con un intervalo de 45 minutos, ya que esta prueba se diseñó para obtener al menos uno de los picos de testosterona que se producen fisiológicamente en un carnero en 24 horas. Avellaneda (13) informó, con una extracción de sangre, los siguientes valores para la Mora colombiana (0.41 ± 0.08 ng/ml), Romney Marsh (0.55 ± 0.25 ng/ml), OPC (0.46 ± 0.09 ng/ml) y Hampshire (1.69 ± 0.32 ng/ml). Los resultados de esta investigación fueron similares con los datos de Hampshire, que son 1.3 ± 0.1 ng/ml, 1.4 ± 0.1 ng/ml, 1.5 ± 0.2 ng/ml para OPC, SO y KO respectivamente.

Otra evaluación realizada durante el análisis de testosterona fue el área bajo la curva (AUC), un parámetro que podría considerarse muy útil, ya que muestra los niveles de testosterona durante 5 horas, se pudieron obtener los niveles más altos, los más bajos y el delta, lo que hace de esta herramienta otra manera mucho más completa de analizar la concentración hormonal. Estos resultados de la testosterona permitieron concluir cómo todos los animales a los ocho meses de edad mostraron niveles de testosterona expresados en el AUC similares a los adultos, logrando concluir cómo durante este tiempo ya son carneros adultos jóvenes y expresan una especie de madurez sexual.

Al analizar la concentración de espermatozoides y la motilidad progresiva individual durante el desarrollo de los corderos machos, esta relación con el aumento de las variables de calidad del semen, especialmente desde el mes 6 de edad e incrementando hasta los diez meses de edad, cuando se produjo una estabilización de valores. La concentración y la motilidad progresiva mantuvieron la similitud hasta los 12 meses de edad cuando finalizó el ensayo y se observaron diferencias significativas entre los grupos raciales a lo largo del experimento ($p < 0.05$). Los corderos KO mostraron mayor precocidad en los parámetros de calidad seminal. En este estudio, las variables de semen aumentaron rápidamente de forma lineal, comenzando con seis meses de edad en general, y esto se observó particularmente entre los 7 y 10 meses de edad, cuando las variables de semen alcanzaron niveles estables similares a los parámetros de los carneros adultos.

En conclusión, las condiciones tropicales no estacionales en Colombia, dependiendo de las variables incluidas, el peso corporal, el desarrollo testicular, la morfología del pene, la calidad del semen, la concentración de espermatozoides y los niveles de testosterona, se postula

que alrededor de los seis meses de edad, se muestra el inicio de la pubertad en los tres biotipos. La metodología utilizando las diferentes variables reproductivas propuestas en este estudio para evaluar el desarrollo sexual, resulta ser una herramienta útil para determinar el inicio de la pubertad en los corderos machos.

Conflictos de interés

Los autores informan no tener ningún conflicto de interés.

Agradecimientos

A la Congregación de los Hermanos de las Escuelas Cristianas Distrito Centro Oriente por facilitar el desarrollo de esta investigación.

REFERENCIAS

- Dulaimi MKHAL, Tapaloaga D, Tapaloaga P-R, Petcu CD. Results Regarding Some Morphometric Features of Spermatozoa in Ram. *Agric Agric Sci Procedia*. 2015; 6:232-235. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.08.064>
- Belibasaki S, Kouimtzis S. Sexual activity and body and testis growth in prepubertal ram lambs of Friesland, Chios, Karagouniki and Serres dairy sheep in Greece. *Small Rumin Res*. 2000; 37(1):109-113. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(99\)00131-5](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(99)00131-5)
- Nazari-Zenouz F, Moghaddam G, Hamidian G, Ashrafi J, Rafat SA, Qasemi-panahi B. Postnatal testicular development and testosterone changes in Ghezel ram lambs. *Small Rumin Res*. 2016; 141:70-76. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2016.07.001>
- Emsen E. Testicular development and body weight gain from birth to 1 year of age of Awassi and Redkaraman sheep and their reciprocal crosses. *Small Rumin Res*. 2005; 59(1):79-82. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2004.11.012>
- Jafarihangari Y, Smith S, Sharma RK, Zerehdaran S, Blair H. The effect of pre-natal maternal environment on live weight, reproductive and semen characteristics in ram lambs. *Small Rumin Res*. 2012; 103(2-3):200-204. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2011.08.010>
- Elmaz Ö, Dikmen S, Cirit Ü, Demir H. Prediction of postpubertal reproductive potential according to prepubertal body weight, testicular size, and testosterone concentration using multiple regression analysis in Kivircik ram lambs. *Turk J Vet Anim Sci*. 2008; 32(5):335-343. Available in URL: <http://journals.tubitak.gov.tr/veterinary/issues/vet-08-32-5/vet-32-5-3-0701-39.pdf>
- Kridli RT, Abdullah AY, Momani SM, Al-Momani AQ. Age at puberty and some biological parameters of Awassi and its first Crosses with Charollais and Romanov Rams. *Ital J Anim Sci*. 2006; 5(2):193-202. DOI: <https://doi.org/10.4081/ijas.2006.193>
- Uthlout VA, Moss GE, Stobart RH, Larson BA, Alexander BM. Sexual performance and production traits in white-faced yearling rams. *Small Rumin Res*. 2011; 100(1):63-66. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2011.05.015>
- Fuenmayor C, Martínez de Acuro M, Valle A, Quintana H, Regueiro C. Observaciones sobre el desarrollo testicular y desprendimiento del prepucio en corderos West African, Barbados y Persa Cabeza Negra. *Zootec Trop*. 1990; 8(1-2):73-84. URL Available in: <http://www.sian.inia.gob.ve/revistas/ci/ZootecniaTropical/zt0812/texto/obsecciones.htm>
- Souza C, Araújo A, Oliveira J, Lima Souza A, Neiva J, Moura A. Reproductive Development of Santa Inês Rams During the First Year of Life: Body and Testis Growth, Testosterone Concentrations, Sperm Parameters, Age at Puberty and Seminal Plasma Proteins. *Reprod Domest Anim*. 2009; 45(4):644-53. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2008.01322.x>
- Wańkowska M, Polkowska J, Wójcik-Gładysz A, Romanowicz K. Influence of gonadal hormones on endocrine activity of gonadotroph cells in the adenohipophysis of male lambs during the postnatal transition to puberty. *Anim Reprod Sci*. 2010; 122(3-4):342-52. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2010.10.009> PMID: 21035969
- Kridli R, Al-Yacoub AN. Sexual performance of Awassi ram lambs reared in different sex composition groups. *Appl Anim Behav Sci*. 2006 Feb;96(3-4):261-7. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2005.06.011>
- Avellaneda Y, Rodríguez F, Grajales H, Martínez R, Vasquez R. Determination of puberty in lambs in the Colombian high tropics by corporal characteristics, ejaculate quality and testosterone assessment. *Livest Res Rural Dev*. 2006; 18:(Article#138). URL Available in: <http://www.lrrd.org/lrrd18/10/avel18138.htm>
- Bartlewski PM, Giffin JL, Oluwole OA, Hahnel AC. Prospective ultrasonographic and endocrine predictors of spermatogenic onset in ram lambs. *Anim Reprod Sci*. 2017; 179:44-48. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2017.01.015> PMID: 28190662
- Milczewski V, Chahad-Ehlers S, Spencoski KM, Morais RN, Thomaz Soccol V. Quantifying the effect of seasonality on testicular function of Suffolk ram in lower latitude. *Small Rumin Res*. 2015; 124:68-75. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2014.12.012>

16. Al-kawmani AA, Alfuraiji MM, Abou-Tarboush FM, Alodan MA, Farah MA. Developmental changes in testicular interstitium in the Najdi Ram Lambs. *Saudi J Biol Sci.* 2014; 21(2):133–7. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2013.09.001> PMID:24600305
17. Masoudi R, Zare Shahneh A, Towhidi A, Kohram H, Akbarisharif A, Sharafi M. Fertility response of artificial insemination methods in sheep with fresh and frozen-thawed semen. *Cryobiology.* 2017; 74:77–80. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cryobiol.2016.11.012> PMID:27908687
18. Casali R, Pinczak A, Cuadro F, Guillen-Mu-oz JM, Mezzalira A, Menchaca A. Semen deposition by cervical, transcervical and intrauterine route for fixed-time artificial insemination (FTAI) in the ewe. *Theriogenology.* 2017; 103:30–5. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2017.07.021> PMID:28772112
19. Swelum AA-A, Ayadi M, Alhidary I, Alowaimer A, Abouheif M. The relationships between body fatness, leptin, testosterone, and reproductive performance in ram lambs as affected by level and frequency of feeding. *Theriogenology.* 2017; 89:79–85. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.10.013> PMID:28043374
20. Damián JP, Beracochea F, Hötzel MJ, Banchemo G, Ungerfeld R. Reproductive and sexual behaviour development of dam or artificially reared male lambs. *Physiol Behav.* 2015; 147:47–53. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2015.04.004> PMID:25846838
21. Kafi M, Safdarian M, Hashemi M. Seasonal variation in semen characteristics, scrotal circumference and libido of Persian Karakul rams. *Small Rumin Res.* 2004; 53(1–2):133–9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2003.07.007>
22. Valencia J, Trujillo MJ, Espinosa MA, Arroyo J, Berruecos JM. Pubertad en corderos Puberty in Pelibuey lambs born of sheep with seasonal or continuous reproduction. *Rev Científica [Internet].* 2005; 15(005). Available in URL: <https://www.saber.ula.ve/handle/123456789/28360>
23. da Silva LSA, Fraga AB, da Silva F de L, Guimarães Beelen PM, de Oliveira Silva RM, Tonhati H, et al. Growth curve in Santa Inês sheep. *Small Rumin Res.* 2012; 105(1–3):182–185. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2011.11.024>
24. López-Carlos MA, Ramírez RG, Aguilera-Soto JI, Aréchiga CF, Rodríguez H. Size and shape analyses in hair sheep ram lambs and its relationships with growth performance. *Livest Sci.* 2010; 131(2–3):203–11. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.04.001>
25. Turner KE, Belesky DP, Cassida KA, Zerby HN. Carcass merit and meat quality in Suffolk lambs, Katahdin lambs, and meat-goat kids finished on a grass–legume pasture with and without supplementation. *Meat Sci.* 2014; 98(2):211–9. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.06.002> PMID:24971809
26. Wildeus S. Hair sheep genetic resources and their contribution to diversified small ruminant production in the United States. *J Anim Sci.* 1997; 75(3):630–640. DOI: <https://doi.org/10.2527/1997.753630x> PMID:9078477
27. Espinal F, Martínez H, Amézquita J. La cadena ovinos y caprinos en Colombia [Internet]. Bogotá, Colombia: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural; 2006. Available from: http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/3914/1/20078611357_caracterizacion_ovinosycaprinos.pdf
28. Albarraçín W, Sánchez I. Caracterización del sacrificio de corderos de pelo a partir de cruces con razas criollas colombianas. *Rev MVZ Córdoba.* 2013; 18(1):3370–3378. DOI: <https://doi.org/10.21897/rmvz.200>
29. Kridli RT, Abdullah AY, Shaker MM, Masa'Deh MK. Sexual activity and puberty in pure Awassi and crosses and backcrosses with Charollais and Romanov sheep breeds. *N Z J Agric Res.* 2007; 50(4):429–436. DOI: <https://doi.org/10.1080/00288230709510310>
30. Fourie P, Schwalbach L, Naser FW, Van der Westhuizen C. Scrotal, testicular and semen characteristics of young Dorper rams managed under intensive and extensive conditions. *Small Rumin Res.* 2004; 54(1–2):53–59. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2003.10.011>
31. Orihuela A, Aguirre V. Ontogeny of mating competence and some sexual characteristics in sexually naive yearling rams (*Ovis aries*). *J Vet Behav Clin Appl Res.* 2011; 6(3):205–207. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jveb.2010.12.005>
32. Koyuncu M, Kara S, Ozis S, Duru S. Development of testicular dimensions and size, and their relationship to age and body weight in growing Kivircik (Western Thrace) ram lambs. *Czech J Anim Sci.* 2005; 50(6):243–248. DOI: <https://doi.org/10.17221/4164-CJAS>
33. Ford JJ, Wise TH. Assessment of pubertal development of boars derived from ultrasonographic determination of testicular diameter. *Theriogenology.* 2011; 75(2):241–247. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2010.08.010> PMID:20961607
34. Ahmad N, Noakes DE, Subandrio AL. B-mode real time ultrasonographic imaging of the testis and epididymis of sheep and goats. *Vet Rec.* 1991; 128(21):491–6. DOI: <https://doi.org/10.1136/vr.128.21.491> PMID:1866875