



# Concentraciones de progesterona durante el ciclo estral en ovinos en el trópico colombiano

Paola Alvarado García<sup>1,2</sup> ; Mónica Torres Cruz<sup>1,2</sup> ; Henry Grajales Lombana<sup>1,2,3\*</sup> .

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Colombia. Grupo de investigación: Gestión Tecnológica e Innovación en Sistemas Pecuarios – SIGETEC. Bogotá, Colombia.

<sup>2</sup>Universidad Nacional de Colombia. Centro de investigación, desarrollo tecnológico y extensión ovino – CIDTEO. Cundinamarca, Colombia.

<sup>3</sup>Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia. Departamento de Producción Animal. Bogotá, Colombia.

\*Correspondencia: [hagrajalesl@unal.edu.co](mailto:hagrajalesl@unal.edu.co)

Recibido: Octubre 2021; Aceptado: Marzo 2022; Publicado: Julio 2022.

## RESUMEN

**Objetivo.** Se evaluó la eficiencia en detección de calores, determinación de la duración y tipo de ciclo estral y concentración de progesterona en biotipos raciales ovinos, en el trópico alto. **Materiales y Métodos.** En 32 ovejas adultas, biotipo Criolla, Hampshire, Romney Marsh y Corriedale, durante el periodo posparto, se determinó la Eficiencia en Detección de Calores - EDC, tipo de ciclo: Corto - CC, Regular - CR y Largo - CL, Duración del Ciclo Estral - DCE y concentraciones de progesterona - CP<sub>4</sub>. Las CP<sub>4</sub> se valoraron mediante técnica de ELISA. El análisis estadístico usó un modelo completamente al azar y medidas repetidas en el tiempo. **Resultados.** La EDC en promedio fue de 64.88%, presentándose 35.12% CC, 59.92% CR y 4.96% CL. El promedio de DCE regular fue de 16.9±0.89 días. El grupo Criollo presentó los mayores rangos de variación de la CP<sub>4</sub>, evidenciando cambios en su actividad esteroideogénica del cuerpo luteo semejante a lo observado con el grupo Hampshire. Entre el día 4 y 12 el grupo Romney Marsh presentó los menores CP<sub>4</sub>, siendo semejante al comportamiento del grupo Corriedale. **Conclusiones.** Las CP<sub>4</sub> incrementan los días 2 a 6, manteniéndose altos y constantes entre los días 10 - 12, disminuyendo gradualmente hasta el día 18, evidenciando progresivamente una posible luteolisis funcional que conduce a una luteolisis estructural. Las CP<sub>4</sub> pueden estar asociadas a fenómenos de adaptación de algunos grupos raciales, que afectan la eficiencia reproductiva que se observa es diferenciada entre ellos.

**Palabras clave:** Fisiología reproductiva; ciclo estral; detección del estro; progesterona (*Fuentes: DeCS, TAC, AIMS*).

## ABSTRACT

**Objective.** Efficiency in heat detection, determination of the duration and type of estrous cycle and progesterone concentration in sheep racial biotypes in the high tropics was evaluated. **Materials and methods.** In 32 adult ewes, biotype Criolla, Hampshire, Romney Marsh and Corriedale, during the postpartum period, Heat Detection Efficiency - EDC, cycle type: Short - CC, Regular - CR and Long -

### Como citar (Vancouver).

Alvarado GP, Torres CM, Grajales-Lombana HA. Concentraciones de progesterona durante el ciclo estral en ovinos en el trópico colombiano. Rev MVZ Córdoba. 2022; 27(Supl):e2156. <https://doi.org/10.21897/rmvz.2156>



©El (los) autor (es) 2022. Este artículo se distribuye bajo los términos de la licencia internacional Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>), que permite a otros distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir de su obra de modo no comercial, siempre y cuando den crédito y licencien sus nuevas creaciones bajo las mismas condiciones.

CL, Cycle Duration was determined. Oestrus – DCE and progesterone concentrations – CP4. CP4 were assessed by ELISA technique. Statistical analysis used a completely randomized model and repeated measures over time. **Results.** The average EDC was 64.88%, presenting 35.12% CC, 59.92% CR and 4.96% CL. The average of regular DCE was  $16.9 \pm 0.89$  days. The Criollo group presented the highest ranges of variation of CP4, showing changes in its steroidogenic activity of the corpus luteum similar to that observed with the Hampshire group. Between days 4 and 12, the Romney Marsh group presented the lowest CP4., being similar to the behavior of the Corriedale group. **Conclusions.** CP4 increases from days 2 to 6, remaining high and constant between days 10-12, gradually decreasing until day 18, progressively evidencing a possible functional luteolysis that leads to structural luteolysis. The CP4 may be associated with adaptation phenomena of some racial groups, which affect the reproductive efficiency that is observed to be differentiated between them.

**Keywords:** Reproductive physiology; estrous cycle; oestrus detection; progesterone (Sources: DeCS; TAC; AIMS).

## INTRODUCCIÓN

El ciclo estral es definido como el periodo comprendido entre la aparición de un estro fisiológico y el comienzo del siguiente, constituyendo un punto importante para maximizar la fertilidad en las ovejas (1); este evento se caracteriza por presentarse de manera rítmica, teniendo una duración de 17 días en promedio (2). Alrededor del 77% de las hembras ovinas adultas cíclicas presentan ciclos estrales regulares (14 a 20 días de duración), el 14% presentan ciclos cortos (8 a 13 días) y el 9% ciclos largos (>20 días) (3).

Tradicionalmente el ciclo estral está dividido en dos fases: la fase folicular de 2 a 3 días y la fase luteal de 12 a 14 días de duración (4,5). La fase folicular es el período que involucra la receptividad al macho hasta la ovulación, caracterizada por el aumento en la concentración de estrógenos ( $E_2$ ) (1). La fase luteal es el periodo donde se forma el cuerpo lúteo (CL), considerado como una glándula endocrina transitoria que secreta la progesterona ( $P_4$ ), y culmina con la luteolisis (6).

La  $P_4$  es el esteroide ovárico más importante durante la vida productiva de la oveja y es fundamental para regular el ciclo estral (5). La presencia de altas concentraciones de  $P_4$  reduce los pulsos de GnRH a nivel hipotalámico (3). Durante la fase folicular, se inicia una disminución de las concentraciones de  $P_4$ , caracterizada por el aumento de las gonadotropinas y la secreción de estrógenos (7).

El aumento en la circulación de  $E_2$  durante el proestro, induce el pico preovulatorio de la hormona luteinizante (LH) (5), causado por el continuo y frecuente aumento de la hormona

liberadora de las gonadotropinas (GnRH). Se ha demostrado que la  $P_4$  tiene efectos reguladores sobre el aumento y frecuencia de los pulsos de la LH (2), posiblemente teniendo efectos centrales a largo plazo (3), vinculados al comportamiento sexual, mediante un sistema de pre-exposición para la expresión de estrógenos. El comportamiento sexual dura entre 24 a 36 horas (8) y la eficiencia en la detección de calores está dentro del rango de 60 a 90% en ovejas cíclicas (9). La expresión del estro está influenciada por factores ambientales, nutricionales, interacciones sociales, estrés, genética y las concentraciones de  $P_4$  (10,11).

El ciclo estral en la hembra ovina es dependiente del útero; así, la exposición del endometrio a la  $P_4$  durante el diestro, no solamente prepara al útero para el establecimiento de la preñez (12), sino que también activa el mecanismo para la producción endometrial de la  $PgF_{2\alpha}$  luteolítica en el momento que la preñez no sea establecida (14 días del ciclo estral) (12,13). La  $PgF_{2\alpha}$  inicia la luteolisis funcional que consiste en la pérdida de la capacidad de sintetizar  $P_4$ , seguida por la luteolisis estructural que se completa con la involución del CL (4,3).

El objetivo de este estudio fue evaluar la eficiencia en la detección de calores, determinar el tipo y duración del ciclo estral y los niveles de progesterona en cuatro tipos raciales ovinos, bajo condiciones del trópico alto colombiano, a partir de la reanudación de la ciclicidad posparto.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Sitio de estudio y condiciones.** Se llevó a cabo en el Centro de investigación, desarrollo

tecnológico y extensión ovino (CIDTEO), ubicado en el Centro Agropecuario Marengo, Universidad Nacional de Colombia, en Mosquera, Cundinamarca, a 4°42' de latitud norte y 74°12' de longitud oeste, altitud de 2650 msnm, temperatura variable entre 6.4°C y 20.9°C, humedad relativa de 80% a 87% y una precipitación que oscila entre 21.5 mm y 104 mm (en época de sequía o lluvia, respectivamente), durante un periodo de ocho meses, correspondiente a la época de pariciones.

**Selección y manejo de animales.** Se realizó el seguimiento de 32 ovejas adultas, entre 2 a 3 partos, clínicamente sanas. Ocho (8) hembras por cada uno de cuatro biotipos raciales: Criolla Colombiana - lana, Corriedale, Hampshire y Romney Marsh, fueron monitoreadas, desde el parto hasta el reinicio de la ciclicidad ovárica posparto, mediante la valoración del primer estro observado y, a partir de este momento se hizo monitoreo cada dos días en promedio, durante los tres primeros ciclos estrales completos consecutivos, confirmados con los perfiles de  $P_4$ . La detección de calores se realizó con ayuda de un macho adulto vasectomizado provisto con arnés y tizas marcadoras. Las montas se registraron diariamente para obtener una fecha estimada del estro o calor por observación. Los animales fueron manejados en potreros con sistema de cría libre y praderas compuestas principalmente de Kikuyo (*Cenchrus clandestinum*) y Ray-grass italiano (*L. multiflorum*) en una proporción 70/30 respectivamente. Las hembras fueron suplementadas con 500 gramos de concentrado, 300 g de ensilado de maíz, 6ml de glicerol, 10 g de sal y agua a disposición, para mantener el cubrimiento de las necesidades nutricionales de los animales y procurar durante todo el periodo de evaluación un comportamiento fisiológico normal.

#### **Obtención de muestras y ensayo hormonal.**

A partir del día 5-7 posparto y durante todo el seguimiento se realizó la toma de muestras de sangre, cada dos días en promedio, mediante la técnica de venopunción de la yugular (5 ml) en tubos vacutainer con heparina (Becton Dickinson® Rutherford, NJ, USA) para evaluar los niveles séricos de  $P_4$ . A partir de las muestras se obtuvo el plasma sanguíneo en el que se midieron las concentraciones de  $P_4$  por medio del kit comercial ELISA inmunoensayo DSI-EIA-STEROID-PROGESTERONE®RH/351-Italy. Las muestras del experimento se analizaron en duplicado mediante una curva lineal de calibración con un rango de calibradores entre

0.1 a 3.5 ng/ml de  $P_4$  en plasma. El calibrador 4 del kit y el calibrador 0 fueron utilizados como control positivo y negativo respectivamente. El ensayo contó con el 95% de certeza, un límite inferior de sensibilidad de 0.1 ng/ml y un coeficiente de variación inter-ensayo de 4.2% e intraensayo de 3.6%. El trabajo se realizó bajo el concepto aprobatorio del Comité de Bioética de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia - UNAL Bogotá emitido el 1° de noviembre de 2012 (Acta 10).

#### **Criterios para el manejo de las variables respuesta.**

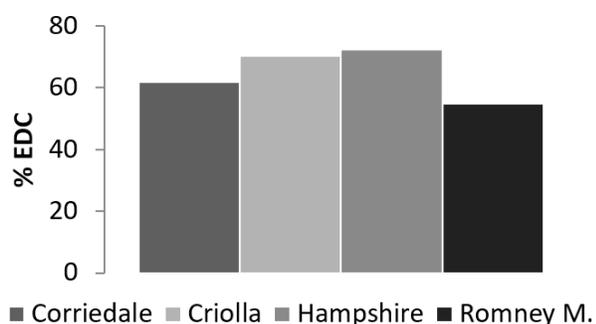
Las variables respuesta fueron: eficiencia en la detección de calores (EDC), que se calcula considerando los posibles calores presentes en los intervalos de tiempo, en relación a los efectivamente observados, teniendo en cuenta una duración promedio de un ciclo estral; clasificación de los tipos de ciclo estral según longitud: ciclo corto (CC) de 8 a 13 días, regular (CR) de 14 a 20 días, largo (CL) mayor de 21 días (3), duración del ciclo estral (DCE); y, niveles de progesterona ( $NP_4$ ) durante el ciclo estral. Un ciclo estral se consideró iniciaba cuando los niveles de  $P_4$  se encontraban por debajo de 1 ng/ml, con o sin manifestación de calor observado, respaldado posteriormente por una función esteroidogénica luteal basada en el mantenimiento de  $P_4$  por encima de 1 ng/ml durante al menos tres muestreos consecutivos (3).

**Análisis de resultados.** Utilizando un ANOVA que presenta la estadística descriptiva, analizando el comportamiento de las variables dentro y entre biotipos raciales. Las variables cuantitativas se expresaron como medias ( $\pm$ EEM) y fueron probadas con análisis factorial (4 biotipos raciales); se utilizó la prueba-t para comparar las medias. La comparación de medias se realizó empleando el método de Tukey. Los perfiles de  $P_4$  durante el ciclo estral se analizaron en función del grupo racial; los datos se validaron en relación a la posible ovulación (día 0) y posteriormente analizados usando medidas repetidas - General Lineal Model (PROC GLM) procedimiento SAS (2011).

## **RESULTADOS**

El promedio de eficiencia en la detección de calores o estros (EDC) por observación fue de 64.05%. En las hembras Hampshire la eficiencia en la detección de calores fue de 72.52% y en las Criollas de 70.24%. El menor valor corresponde

al grupo Romney Marsh con 55.01% y el grupo intermedio Corriedale con 61.78% (Figura 1). Estadísticamente no se evidenciaron diferencias significativas por biotipo racial ( $p>0.115$ ).



**Figura 1.** Estros detectados por observación según el tipo racial.

El porcentaje y número de ciclos estrales clasificados según la longitud se relaciona en la Tabla 1. El análisis estadístico mostró diferencias en la presentación de ciclos regulares (CR) con respecto a los tipos raciales ( $p<0.016$ ), presentando la mayor proporción el biotipo Criolla, sin diferencias con el grupo Hampshire; siendo los de menor proporción las Corriedale y las Romney Marsh, que no tienen diferencia con el grupo Hampshire, pero si con las Criollas. Los CC y CL, sin presentar diferencias significativas entre grupos, se mostraron en mayor proporción para las hembras del grupo Romney Marsh.

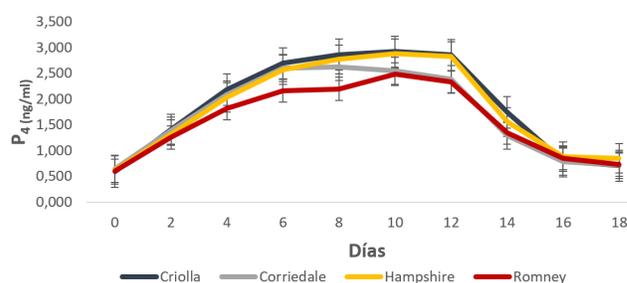
**Tabla 1.** Clasificación de los tipos de ciclo estral.

Biotipo racial	Estros	Tipos de ciclo (duración)					
		Corto-CC		Regular-CR		Largo-CL	
		N	%	N	%	N	%
Criolla	60	21.67	13	76.67 <sup>a</sup>	46	1.66	1
Corriedale	62	43.55	27	53.23 <sup>b</sup>	33	3.22	2
Hampshire	61	31.15	19	63.93 <sup>ab</sup>	39	4.92	3
Romney Marsh	59	44.07	26	45.76 <sup>b</sup>	27	10.17	6
<b>Total</b>	<b>242</b>	<b>35.12</b>	<b>85</b>	<b>59.92</b>	<b>145</b>	<b>4.96</b>	<b>12</b>

Clasificación tipos de ciclos estral según longitud: ciclo corto (8 a 13 días), regular (14-20 días), largo (> a 21). a,b Diferencias ( $p<0.05$ ) entre biotipo racial.

El promedio de duración del ciclo estral (DCE) en condiciones de trópico alto fue de  $16.8\pm 0.9$  días. Respecto a cada uno de los biotipos las criollas tuvieron una duración del ciclo de  $17.4\pm 0.9$  días, las Corriedale de  $16.7\pm 0.8$  días, Hampshire  $16.7\pm 0.3$  días y Romney Marsh  $16.3\pm 1.1$  días; estadísticamente no se evidenciaron diferencias significativas ( $p=0.129$ ).

Los valores obtenidos en la cuantificación sérica de  $P_4$  ( $CP_4$ ) a través del ciclo estral regular aparecen en la Figura 2. Las lecturas de las  $CP_4$  oscilaron, desde un valor mínimo de  $0.36$  ng/ml para el día 18, correspondiente al periodo de la ovulación; y hasta un valor máximo de  $3.33$  ng/ml el día 10, dentro de la fase luteal media, siendo el grupo Criollo el que presentó los mayores rangos de variación en las  $CP_4$ , con un valor mínimo el día 0 de  $0.04$  ng/ml y un valor máximo el día 12 de  $3.57$  ng/ml, evidenciando una importante variación en la actividad esteroidogénica en el cuerpo luteo.



**Figura 2.** Concentración de progesterona durante el ciclo estral en los biotipos evaluados. Día 0 representa el inicio del estro (ovulación).

Entre el día 4 y 12 del ciclo estral, las  $CP_4$  fueron en promedio superiores a  $2$  ng/ml, a excepción del grupo Romney Marsh que presentó los menores valores promedio en general. Los resultados evidencian un comportamiento de incremento entre los días 2 a 6 del ciclo estral, etapa del metaestro o fase luteal temprana, manteniéndose en niveles altos y constantes entre los días 10-12, con una concentración promedio de  $P_4$ , que alcanza un máximo valor de  $2.75\pm 0.57$  ng/ml; luego se evidencia una disminución de la actividad esteroidogénica luteal, que para el día 14 presenta un promedio de  $1.517\pm 0.89$  ng/ml, cuando termina el diestro, fase luteal tardía, cayendo a  $CP_4$  de  $0.833\pm 0.40$  ng/ml el día 16, y finalmente llegando a  $0.755\pm 0.4$  ng/ml el día 18. No se

encontraron diferencias significativas en la concentración de progesterona entre los días 6 al 8 y entre los días 8 al 12, respectivamente ( $p > 0.05$ ).

Respecto al comportamiento de las  $CP_4$ , entre grupos raciales no se encontraron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ); al analizarlos expresados en los tiempos puntuales evaluados (día 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 y 18), se encontraron diferencias entre el día 10 ( $2.750 \pm 0.58$  ng/ml) y el día 0 ( $0.622 \pm 0.22$  ng/ml) ( $p > 0.006$ ), evidentemente siendo los días de mayor y menor concentración de  $P_4$ , respectivamente. Los valores observados entre los días 8 y 12 presentan diferencias respecto a los valores observados en los días 0, 2, 4, 6 y los días 14, 16 y 18 ( $p < 0.002$ ).

El grupo Romney Marsh presentó la menor actividad esteoridogénica luteal para los días 2 al 14, teniendo menores  $CP_4$  en todas las fases observadas, fase luteal temprana (días 2 a 6), media (días 6 al 12) y tardía (días 12 al 14), con respecto a los otros grupos raciales, siendo este comportamiento semejante a lo que se observó para el grupo Corriedale, en contraste a lo presentado por las hembras Criollas y Hampshire (Tabla 2). Por el contrario, para los días 0 y 18, momento correspondiente al de la fase folicular u ovulatoria, las  $CP_4$  fueron similares entre todos los grupos.

**Tabla 2.** Concentraciones plasmáticas de progesterona durante el ciclo estral en los cuatro tipos raciales evaluados.

Día	Criolla		Corriedale		Hampshire		Romney Marsh		Total		Pr > F
	CP4	DS	CP4	DS	CP4	DS	CP4	DS	CP4	DS	
0	0.596	0.226	0.65	0.230	0.634	0.203	0.612	0.233	0.622 <sup>f</sup>	0.219	0.9134
2	1.410	0.395	1.392	0.350	1.317	0.535	1.258	0.437	1.346 <sup>d</sup>	0.440	0.5210
4	2.185	0.551	2.086	0.590	2.037	0.624	1.823 <sup>**</sup>	0.585	2.046 <sup>c</sup>	0.595	0.0650
6	2.698	0.486	2.604	0.554	2.575	0.591	2.163	0.613	2.538 <sup>b</sup>	0.584	0.0013
8	2.865	0.446	2.630	0.762	2.772	0.529	2.198	0.541	2.650 <sup>ab</sup>	0.616	0.0002
10	2.923	0.422	2.554	0.752	2.887	0.488	2.487	0.587	2.750 <sup>a</sup>	0.577	0.0060
12	2.857	0.712	2.389	0.888	2.832	0.586	2.338	0.835	2.651 <sup>ab</sup>	0.776	0.0002
14	1.747	1.059	1.289	0.708	1.558	0.839	1.349	0.802	1.517 <sup>d</sup>	0.892	0.0115
16	0.796	0.380	0.792	0.358	0.887	0.396	0.856	0.518	0.833 <sup>e</sup>	0.408	0.7929
18	0.713	0.674	0.719	0.328	0.855	0.441	0.733	0.115	0.755 <sup>ef</sup>	0.397	0.1244

Concentración de progesterona  $CP_4$  (ng/ml) durante el ciclo estral regular de hembras ovinas adultas en trópico alto. Día 0 representa la ovulación. a,b Diferencias ( $p < 0.05$ ) entre tipo racial.

## DISCUSIÓN

Basados en las  $CP_4$  se totalizaron 242 ciclos estrales, de los cuales fueron confirmados por observación 155, lo que corresponde a una eficiencia en la detección de calores (EDC) de 64.05%, acorde con valores reportados por Moonmanee T y Yammuen-art S (10) (Figura 1). Aunque no se encontraron diferencias ( $p < 0.05$ ) entre los grupos, si se observa una mayor expresión de estros en ovejas del grupo Criolla y Hampshire en contraste a los tipos Romney Marsh y Corriedale, en las cuales no es tan evidente y manifiesto su comportamiento sexual, representando baja intensidad y corta duración, observando un comportamiento leve, que posiblemente lleva a que el macho vasectomizado no pueda percibir el evento y no logre la detección (15). Autores como Rodríguez et al (3), reportaron una proporción de eficiencia

en la detección de calores del 82.1% en la raza Corriedale, siendo consistentemente alto en comparación de los resultados obtenidos, aunque el ensayo usó sincronización del estro. En contraste, en Etiopia señalan una EDC de 87% en animales de raza Bonga (16).

Por otra parte, en ovejas Pelibuey en México, se evaluó el comportamiento sexual durante 105 días posparto, encontrando un porcentaje de eficiencia en la detección de calores del 64.7% (17); resultados que coinciden con los arrojados en esta investigación, pese a la dificultad de detectar calores en esta especie sobre todo en condiciones naturales de apareamiento (18). Adicionalmente, el estrés puede tener implicaciones importantes en el comportamiento sexual, debido a que la hembra ovina es altamente influenciada por el fenómeno psicosocial (18).

Se reconoce la importancia de la eficiencia en la detección de calores para el mantenimiento de una adecuada eficiencia reproductiva (control de montas o inseminación en el tiempo exacto) y debe implementarse como un indicador clave para evaluar la ciclicidad estral en determinadas épocas y condiciones medioambientales (9,20), puesto que la reproducción exitosa requiere de la expresión de la conducta sexual dentro de un marco de tiempo ajustado, el cual es evidente siempre y cuando exista un apropiado ritmo endocrino (19). El estradiol es reconocido como la principal hormona que estimula la secreción de GnRH y los subsecuentes eventos causados por el aumento en la frecuencia de secreción de la LH durante la fase folicular del ciclo estral (22); sin embargo, Stouffer et al (5) enfatizan que la  $P_4$  actúa con un efecto facilitador para la secreción de  $E_2$  - GnRH y/o la expresión de receptores de GnRH hipotalámicos, demostrando la importancia de la exposición previa a la  $P_4$  en concentraciones adecuadas (3), lo que permite el aumento, en gran medida, de la magnitud de  $E_2$  y GnRH, lo que se podría relacionar con la mayor expresión de estros en los biotipos Hampshire y Criolla. Con lo anterior, se sugiere que una mayor concentración de  $P_4$  en la fase lútea tardía, correspondiente a los días 12 a 16 aproximadamente (Figura 2), podría estar representando un mejor éxito reproductivo, permitiendo una más clara o evidente expresión durante el ciclo estral en los biotipos sobresalientes.

Con base en los datos, que en general indican que el 35.12% de los ciclos observados corresponde a ciclos cortos (CC), el 59.92% a ciclos regulares (CR) y el 4.96% a ciclos largos (CL) (Tabla 1), es evidente que los ciclos regulares representan la mayor proporción, como es característico en ovejas adultas cíclicas (1) y adicionalmente, se evidenció diferencias significativas entre los tipos raciales ( $p < 0.016$ ). La mayor presentación de ciclos irregulares corresponde a las hembras de los tipos raciales Romney Marsh y Corriedale, lo que sugiere problemas de adaptación, incluyendo "estrés térmico", dado el enorme rango de variación de las temperaturas en el transcurso del día, lo cual puede inducir a una luteolisis anticipada, que afectaría la dinámica hormonal (2). En contraste, los resultados de los tipos Criolla y Hampshire representan mayor tendencia a la normalidad, respecto a la duración del ciclo estral, demostrando una mejor regularidad y posible acondicionamiento y adaptación

al trópico. Los resultados obtenidos son comparables con lo revisado en un sistema de cría libre, los cuales reportan un 14 % en ciclos cortos, 77% regulares y 9% largos (1); adicionalmente, el trabajo de Rodríguez et al (3) destaca que existe mayor porcentaje de fases lúteas regulares (14–20 días de duración) en grupos con el mismo sistema productivo.

La Duración del ciclo estral regular (DCE) encontrada ( $16.8 \pm 0.9$  días) concuerda con el promedio de 17 días, reportado por Bartlewski et al (1) y Cox et al (22), bajo época reproductiva, demostrando que el ciclo estral regular en las ovejas es relativamente constante entre y dentro de las razas, con sólo una ligera variación de 1-2 días.

Los resultados de cuantificación hormonal ( $CP_4$ ) se encuentran dentro del rango de los perfiles de  $P_4$  reportado por otras investigaciones en ovejas (2) y se confirma que la técnica de cuantificación hormonal de  $P_4$  (ELISA) empleada permitió evaluar la correcta función esteroidogénica luteal. El momento en que las concentraciones de  $P_4$  se encuentran basales coinciden en la mayoría de casos con la detección del estro (5) y corresponden al tiempo estimado de la ovulación (día 0, 18 del ciclo estral), presentando valores promedios de  $P_4$  de  $0.76 \pm 0.4$  ng/ml (Figura 2). De igual manera, la investigación de Tera Dolebo (16) reporto concentraciones de  $P_4$ , que coinciden con los de este estudio. Estudios en razas autóctonas, revelan que las concentraciones de  $P_4$  fueron de  $0.82 \pm 0.02$  ng/mL al inicio del ciclo estral (27).

Los perfiles de  $P_4$  graficados en la (Figura 2) comienzan a aumentar en el día dos después de la ovulación, justo cuando el nuevo cuerpo lúteo inicia la actividad secretora de  $P_4$  (metaestro), aumentando los niveles gradualmente desde el día 2 y hasta el día 12 del ciclo estral, presentando la mayor variabilidad. Así mismo, los datos obtenidos fueron similares a lo reportado por Valasi et al (26), los cuales describen un incremento gradual a partir del día 3, posteriormente los niveles se mantienen altos y constantes durante los días 6-12. Lo anterior se explica fisiológicamente por los cambios en la actividad esteroidogénica luteal, que conduce a establecer diferencias en la tasa de fecundación cuando hay bajas concentraciones de  $P_4$  endógena (28).

Los máximos en  $CP_4$ , encontrados para el día 12, de  $2.75 \pm 0.57$  ng/ml en promedio, son comparables con reportes de países como Turquía, que referencian valores de  $P_4$  de  $3.50 \pm 1.50$  ng/ml hacia el día 15 en hembras Karaman (29). En la fase lútea media, que se asume se da entre los días 6 a 12, el cuerpo lúteo se conforma por células lúteas maduras, por lo que la secreción de  $P_4$  suele presentar menores variaciones, manteniendo los niveles altos, en crecimiento constante. Hacia el final del ciclo estral, en la fase luteal tardía, entre los días 12 a 16, pueden empezar a descender las concentraciones de  $P_4$ , como consecuencia de una posible luteolisis funcional que conduce a una posterior luteolisis estructural, llegando a concentraciones menores a 1 ng/ml para los días 16 a 18, dando lugar a la ovulación.

Los perfiles de  $P_4$  tuvieron el mismo comportamiento en los cuatro grupos raciales evaluados (Tabla 2) y se ajusta a lo reportado en investigaciones recientes con análisis en genotipos diferentes (2). Particularmente, las hembras Romney Marsh presentaron menor actividad esteroidogénica del cuerpo lúteo, tanto para el metaestro como para el diestro en general, correspondiente al periodo entre los días 2 al 14 del ciclo estral, siendo muy semejante a los que se observó para el grupo Corriedale, teniendo como referencia los valores presentados por el grupo Criolla y Hampshire, evidenciado una mayor variación de secreción de  $P_4$  para los dos primeros grupos. Con lo anterior se sugiere que las hembras Criollas y Hampshire pueden tener una mejor relación de los esteroides ováricos en cuanto al momento, tiempo y duración de su acción y de los efectos coordinados que deben regular la expresión de receptores tanto de la misma  $P_4$ , como de los receptores para estrógenos y oxitocina en estas fases, los cuales modulan los pulsos luteolíticos de la  $PgF_2\alpha$  por el endometrio (30) y conforma el mecanismo conveniente que le permite desempeñarse con mejor eficiencia reproductiva. Por el contrario, los resultados de las hembras Romney Marsh y Corriedale concuerdan a lo referenciado por Fierro et al (25) específicos para la raza, indicando que las variaciones de las concentraciones de  $P_4$  durante los días 6 a 12 (fase luteal media) y 12 – 16 (fase luteal tardía) del ciclo estral, conllevan a modificaciones en la dinámica folicular y en la

maduración del oocito, reflejándose en un pobre desempeño reproductivo (20), evidente en la reducción de la fertilidad (21). Lo anterior, se asocia a un más pobre rendimiento reproductivo de las hembras Romney Marsh y Corriedale y se relaciona con los perfiles de  $P_4$ . En contraste, y basados en el estudio de Bartlewski et al (2), el aumento de las concentraciones de  $P_4$  más allá del diestro (día 14 del ciclo estral), resultan en la regresión folicular y disminución de la tasa de ovulación debido a la alteración de los niveles de FSH y  $E_2$  (4); efectos directos en el ovario que implican alteraciones en el desarrollo folicular y la capacidad de respuesta a efectos gonadotrópicos y/o a la biosíntesis de promotores locales para el desarrollo folicular antral.

Las concentraciones séricas de  $P_4$  están correlacionadas positivamente con el volumen total de tejido lúteo (3) ewes, does and cows frequently develop a short-lived corpora lutea (SLCL) and varían entre razas prolíficas y no prolíficas de ovejas (31). En este sentido, Laghrour et al (32), analizaron el efecto de la suplementación en parámetros reproductivos, evidenciando valores similares a los encontrados en esta investigación.

En conclusión, la eficiencia en la detección de calores fue de 64.05%, encontrando 59.92% de ciclos estrales regulares y un 35.12% de ciclos cortos, presentando diferencias significativas entre tipos raciales, que posiblemente tienen relación con el desempeño reproductivo.

El promedio de duración del ciclo estral regular fue de  $16.8 \pm 0.9$  días, observándose que la presentación de ciclos regulares con respecto a los tipos raciales tuvo mayor proporción para el biotipo Criolla y la menor para las Corriedale y Romney Marsh.

Los grupos Romney Marsh y Corriedale presentaron las menores concentraciones de progesterona en la fase lútea media (días 6 a 12) y tardía (días 12 a 16) en comparación con los grupos Criollo y Hampshire, sugiriendo una menor actividad esteroidogénica lútea, lo cual puede ser un factor de modulación del ciclo estral, del desarrollo folicular y del modelo endocrino, posiblemente relacionado con la diferencia en la eficiencia reproductiva que presentan unos u otros, respectivamente.

## Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses. Los financiadores no tuvieron ningún papel en el diseño del estudio; en la recopilación, análisis o interpretación de datos; en la redacción del manuscrito o en la decisión de publicar los resultados.

## Agradecimiento

Al apoyo financiero del Proyecto de Investigación: Apoyo Científico para el Mejoramiento de la Producción Ovina en la Zona Tropical de Altura en Colombia para la creación de un centro de investigación tecnológica. Coopération Universitaire au Développement (CUD), actualmente ARES (CUD-PIG 2010) y la Dirección General de Cooperación al Desarrollo (DGCD) Bélgica.

## REFERENCIAS

1. Bartlewski PM, Baby TE, Giffin JL. Reproductive cycles in sheep. *Anim Reprod Sci.* 2011; 125(3-4):259–268. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2011.02.024>
2. Bartlewski PM, Sohal J, Paravinja V, Baby T, Oliveira MEF, Murawski M, et al. Is progesterone the key regulatory factor behind ovulation rate in sheep? *Domest Anim Endocrinol.* 2017; 58:30–38. <https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2016.06.006>
3. Rodríguez Iglesias RM, Ciccioli NH, Ferrería J, Pevsner DA, Rosas CA, Rodríguez MM, et al. Short-lived corpora lutea syndrome in anoestrous ewes following 17 $\beta$ -oestradiol or MAP treatments applied before an allogenic sexual stimulation with rams and oestrous ewes. *Anim Reprod Sci.* 2013; 136(4):268–279. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2012.11.009>
4. Fatet A, Pellicer-Rubio MT, Leboeuf B. Reproductive cycle of goats. *Anim Reprod Sci.* 2011; 124(3-4):211–219. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2010.08.029>
5. Stouffer RL, Hennebold JD. *Knobil and Neill's Physiology of Reproduction.* Oregon Health and Science University: Beaverton, OR, USA; 2015. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-397175-3.00023-5>
6. Kraison A, Redmer DA, Bass CS, Navanukraw C, Dorsam ST, Valkov V, et al. Corpora lutea in superovulated ewes fed different planes of nutrition. *Domest Anim Endocrinol.* 2018; 62:16–23. <https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2017.08.002>
7. Grazul-Bilska AT, Dorsam ST, Reyaz A, Valkov V, Bass CS, Kaminski SL, et al. Follicle-stimulating hormone receptors expression in ovine corpora lutea during luteal phase: effect of nutritional plane and follicle-stimulating hormone treatment. *Domest Anim Endocrinol.* 2020;71:106391. <https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2019.106391>
8. Alhamada M, Debus N, Lurette A, Bocquier F. Automatic oestrus detection system enables monitoring of sexual behaviour in sheep. *Small Rumin Res.* 2017; 149:105–111. <http://dx.doi.org/10.1016/j.smallrumres.2017.02.003>
9. Theodosiadou E, Tsiligianni T. Determination of the proper time for mating after oestrous synchronisation during anoestrous or oestrous by measuring electrical resistance of cervical mucus in ewes. *Vet Med (Praha).* 2015; 60(2):87–93. <http://dx.doi.org/10.17221/7982-VETMED>
10. Moonmanee T, Yammuen-art S. Relationships among Feed Intake, Blood Metabolites, Follicle Size and Progesterone Concentration in Ewes Exhibiting or Not Exhibiting Estrus after Estrous Synchronization in the Tropics. *Agric Agric Sci Procedia.* 2015; 5:151–158. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.08.023>
11. Narayan E, Parisella S. Influences of the stress endocrine system on the reproductive endocrine axis in sheep (*Ovis aries*). *Italian Journal of Animal Science.* 2017; 16:640–651. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2017.1321972>

12. Dorniak P, Bazer FW, Spencer TE. Biological role of interferon tau in endometrial function and conceptus elongation. *Anim Reprod.* 2013; 10(3):239–251. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5845>
13. O'Connell AR, Hurst PR, Davis GH, McNatty KP, Taylor SL, Juengel JL. An earlier rise in systemic progesterone and increased progesterone in the uterine vein during early pregnancy are associated with enhanced embryonic survival in the ewe. *Theriogenology.* 2013; 80(3):269–274. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2013.04.006>
14. Bazer FW, Satterfield MC, Song G. Modulation of uterine function by endocrine and paracrine factors in ruminants. *Anim Reprod. Colégio Brasileiro de Reprodução Animal;* 2012; 9(3):305-311. <https://www.animalreproduction.org/article/5b5a6058f7783717068b46ea>
15. Miranda VO, Oliveira FC, Dias JH, Vargas JúniorSF, GoularteKL, SáFilhoMF, et al. Estrus resynchronization in ewes with unknown pregnancy status. *Theriogenology.* 2018; 106:103–107. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2017.10.019>
16. Tera Dolebo A, Melesse A, Porcu C, Getachew T, Haile A, Rouatbi M, et al. Increased number of large non-atretic follicles and co-dominance effects account for high litter sizes in Bonga sheep. *Anim Sci J.* 2020;91(1):e13384. <https://doi.org/10.1111/asj.13384>
17. Ledezma JA, Escobar MAC, Serrano NYÃ, Hoffman JA. Influenced of restricted female - lamb contact in length of postpartum anestrous in Pelibuey sheep. *Trop Subtrop Agroecosystems.* 2011; 14(2):643–648. <http://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/834>
18. Dobson H, Fergani C, Routly JE, Smith RF. Effects of stress on reproduction in ewes. *Anim Reprod Sci.* 2012; 130(3–4):135–140. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2012.01.006>
19. Fergani C, Saifullizam AK, Routly JE, Smith RF, Dobson H. Estrous behavior, luteinizing hormone and estradiol profiles of intact ewes treated with insulin or endotoxin. *Physiol Behav.* 2012; 105(3):757–765. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2011.09.025>
20. Corner-Thomas R, Ridler A, Morris S, Kenyon P. Ewe lamb live weight and body condition scores affect reproductive rates in commercial flocks. *New Zeal J Agric Res.* 2015; 58(1):26–34. <https://doi.org/10.1080/00288233.2014.974766>
21. Oliveira MEF, Ayres H, Oliveira LG, Barros FFPC, Oba E, Bicudo SD, et al. Effects of season and ovarian status on the outcome of long-term progesterone-based estrus synchronization protocols and ovulatory follicle development in Santa Inês ewes under subtropical conditions. *Theriogenology.* 2016; 85(3):452–460. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2015.09.024>
22. Cox JF, Navarrete F, Carrasco A, Dorado J, Saravia F. Effect of bST administration on plasma concentrations of IGF-I and follicular dynamics and ovulation during the interovulatory cycle of sheep and goats. *Theriogenology.* 2019; 123:159–166. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2018.10.003>
23. Goff KJ, Knight JW, Pelzer KD, Akers RM, Notter DR. Circannual changes in progesterone secretion in intact ewes, luteinizing hormone secretion in ovariectomized estradiol-implanted ewes, and prolactin secretion in three sheep breeds anticipated to differ in seasonality of reproduction. *Anim Reprod Sci.* 2013; 138(3–4):194–202. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2013.03.004>
24. De K, Sahoo A, Shekhawat I, Kumawat P, Kumar D, Naqvi SMK. Effect of selenium-yeast feeding on amelioration of simulated heat stress and reproductive performance in Malpura ewe under semi-arid tropical environment. *Indian J Anim Sci.* 2017; 87(2):163–167. <https://eurekamag.com/research/066/329/066329682.php>

25. Fierro S, Viñoles C, Olivera-Muzante J. Concentrations of steroid hormones, estrous, ovarian and reproductive responses in sheep estrous synchronized with different prostaglandin-based protocols. *Anim Reprod Sci.* 2016; 167:74–82. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2016.02.009>
26. Valasi I, Theodosiadou E, Fthenakis GC, Papanikolaou T, Deligiannis C, Kalogiannis D, et al. Endocrinological profile and follicular development in cyclic ewes subjected to repeated ovum pick-up. *Anim Reprod Sci.* 2013; 138(3–4):180–187. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2013.02.026>
27. Rahman MM, Naher N, Isam MM, Hasan M, Naznin F, Bhuiyan MMU, et al. Natural vs synchronized estrus: determinants of successful pregnancy in ewes using frozen-thawed Suffolk semen. *J Anim Reprod Biotechnol.* 2020; 35(2):183–189. <https://doi.org/10.12750/JARB.35.2.183>
28. Gonzalez-Bulnes A, Menchaca A, Martin GB, Martinez-Ros P. Seventy years of progestagen treatments for management of the sheep oestrous cycle: where we are and where we should go. *Reprod Fertil Dev.* 2020; 32(5):441–452. <https://doi.org/10.1071/RD18477>
29. Arsoy D, Sağmanlıgil V. Reproductive cycles in white karaman ewes: Comparison of ovarian hormone secretion and reproductive behavior in non-pregnant and pregnant ewes in semi-intensive conditions. *Acta Sci - Anim Sci.* 2018; 40(1):e39908. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v40i1.39908>
30. Fierro S, Gil J, Viñoles C, Olivera-Muzante J. The use of prostaglandins in controlling estrous cycle of the ewe: A review. *Theriogenology.* 2013; 49:399–408. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2012.10.022>
31. Kocakaya A, Özbeyaz C. Akkaraman Koyunlarının Bazı Üreme Özellikleri Üzerine. The effects of progesterone and estrogen hormone levels on some reproductive characteristics of the Akkaraman sheep. *KSU J. Agric Nat.* 2019; 22(2):424–430. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdoga.vi.583400>
32. Laghrour W, Safsaf B, Alleg N, Tlidjane M y Ouarest A. Effect of feeding different ratios of concentrate roughage during induced estrus on hormonal and reproductive performances of ewes. *Investigación ganadera para el desarrollo rural. LRRD.* 2020; 32(3):32039 <http://www.lrrd.org/lrrd32/3/laghr32039.html>