



## Dinámica folicular ovárica en vacas criollas bajo condiciones de pastoreo en la zona altoandina del Perú

### Ovarian follicular dynamics of a creole cattle under grazing conditions in high Andean areas of Peru

Miriam Ibet Alfaro-Astorima<sup>1,2,\*</sup> ; Huziel Héctor Ormachea-Sánchez<sup>2</sup> ; Armando Enrique Alvarado-Malca<sup>3</sup> 

<sup>1</sup> Estación Experimental Agraria Illpa, Instituto Nacional de Innovación Agraria, Rinconada de Salcedo S/N, Puno. Peru.

<sup>2</sup> Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Av. De la Cultura 733, Cusco. Peru.

<sup>3</sup> Universidad Nacional Agraria La Molina, Av. La Molina 15024, Lima. Peru.

Received June 23, 2020. Accepted November 22, 2020.

#### Resumen

El vacuno criollo es un recurso potencial para mejorar la productividad en la zona altoandina del Perú; sin embargo, el cruce indiscriminado con razas mejoradas está llevando a la erosión de su material genético. Estudios de los procesos fisiológicos que rigen su ciclo reproductivo son fundamentales para la aplicación exitosa de biotecnologías reproductivas que aseguren su preservación, uso y posterior difusión. Con el fin de estudiar su dinámica folicular ovárica, se evaluaron 15 animales bajo condiciones de pastoreo en dos épocas del año (seca y lluviosa). El crecimiento folicular se evaluó mediante seguimiento ultrasonográfico, la actividad lútea mediante dosaje hormonal y se realizó el análisis proximal del pasto por época. La duración promedio del ciclo estral fue de  $21,39 \pm 1,17$  días para la época de lluvias y  $22,07 \pm 1,04$  días para la época seca, no observando diferencia estadística ( $p > 0,05$ ). Se pudieron observar ciclos con 2 (16%), 3 (78%) y hasta 4 (6%) ondas foliculares. El diámetro máximo alcanzado del folículo ovulatorio fue de  $17,11 \pm 1,59$  y  $17,67 \pm 1,21$  mm en la época lluviosa y seca respectivamente. De las 49 ovulaciones estudiadas, 27 (55%) correspondieron al ovario derecho y 22 (45%) al ovario izquierdo. No hubo diferencia ( $p > 0,05$ ) en la tasa de crecimiento ni diámetro de los folículos por época. El diámetro máximo del cuerpo lúteo  $20,87 \pm 1,48$  y  $21,30 \pm 1,86$  mm con una tasa de crecimiento de  $1,01 \pm 0,16$  y  $1,0 \pm 0,15$  mm/día. Estos resultados reflejan el potencial del ganado criollo de mantener su ciclicidad aún en ambientes desfavorables.

**Palabras clave:** Dinámica folicular; vacas criollas; zona altoandina; ciclo estral; folículos ováricos.

#### Abstract

Creole cattle are a potential resource to improve productivity in the high Andean zone of Peru; however, indiscriminate crossing with improved breeds is leading to the erosion of their genetic material. Studies of the physiological processes that govern its reproductive cycle are essential for the successful application of reproductive biotechnologies that ensure their preservation, use and subsequent dissemination. In order to study the follicular dynamics of creole cattle, 15 animals were evaluated under grazing conditions in two seasons of the year (rainy and dry). Follicular growth was evaluated by ultrasonographic monitoring, luteal activity by hormonal dosing, and proximal analysis of grass was performed by season. The average length of the estrous cycle was  $21.39 \pm 1.17$  days for the rainy season and  $22.07 \pm 1.04$  days for the dry season, with no statistical difference ( $p > 0.05$ ). Cycles with 2 (16%), 3 (78%) and 4 (6%) follicular waves was observed. The maximum diameter of the ovulatory follicle reached was  $17.11 \pm 1.79$  and  $17.67 \pm 1.21$ mm in the rainy and dry seasons, respectively. Of the 49 ovulations studied, 27 (55%) corresponded to the right ovary and 22 (45%) to the left ovary. There was no difference ( $p > 0.05$ ) in growth rate or follicle diameter by season. The maximum diameter of the corpus luteum was  $20.87 \pm 1.48$  and  $21.30 \pm 1.86$  mm with a growth rate of  $1.01 \pm 0.16$  and  $1.0 \pm 0.15$  mm/day. These results reflect the potential of creole cattle to maintain their cyclicity even in unfavorable environments.

**Keywords:** Follicular dynamics; Creole cattle; High Andean zone; Estrous cycle; Ovarian follicles.

#### Cite this article:

Alfaro-Astorima, M.I.; Ormachea-Sánchez, H.H.; Alvarado-Malca, A.E. 2020. Dinámica folicular ovárica en vacas criollas bajo condiciones de pastoreo en la zona altoandina del Perú. Scientia Agropecuaria 11(4): 621-628.

\* Corresponding author  
E-mail: [ibetalfaro@gmail.com](mailto:ibetalfaro@gmail.com) (M.I. Alfaro-Astorima).

## 1. Introducción

La ganadería altoandina es una actividad económica muy importante en el Perú, se estima que el 87% de los 824 mil productores agropecuarios se centran en la sierra (MINAGRI, 2017), donde el ganado constituye una fuente de trabajo para el poblador andino; además de proporcionar carne, leche y tracción para el arado, es en muchos casos, el único sustento de la familia debido a que las condiciones ambientales no permiten desarrollar muchos cultivos de pan llevar (Rivas *et al.*, 2007).

La actividad ganadera altoandina se basa en el aprovechamiento de los pastos naturales, cuya disponibilidad varía de acuerdo a la época del año (Delgado *et al.*, 2019). El aumento de las precipitaciones en la época lluviosa da como resultado una mayor disponibilidad de recursos vegetales y agua que son los principales impulsores del éxito reproductivo (Mastromonaco y Gonzalez, 2020); y en la época seca hay una marcada disminución de estos recursos, a los que se suma la disminución de la temperatura, que se sabe, influye de manera similar a la lluvia (Caro *et al.*, 2013).

El ganado que se ha adaptado a estas condiciones a lo largo de los años por selección natural, se denominan vacunos “criollos”, éstos son animales que se han vuelto extremadamente resistentes al clima seco, bajas temperaturas, pastos de baja calidad y enfermedades en general (Zárate *et al.*, 2010). Debido a dichas características, el ganado criollo ha atraído el interés de algunos investigadores como recurso potencial para mejorar la productividad en la zona altoandina; sin embargo, no se cuenta con información necesaria para su mejoramiento, manejo e inserción a la ganadería productiva del país, y por considerarlas poco productivas, los animales criollos están siendo poco a poco sustituidos o absorbidos por otras razas (Hidalgo *et al.*, 2015).

El uso de biotecnologías reproductivas puede contribuir en gran medida a la preservación, uso y difusión de grupos de animales en riesgo como el ganado criollo, por lo que estudios de los procesos fisiológicos que rigen su ciclo reproductivo (ciclo estral) son fundamentales (Mastromonaco y Gonzalez, 2020).

El ciclo estral del ganado vacuno ha sido ampliamente descrito y, en los últimos años, el estudio de la dinámica folicular ha contribuido grandemente a su entendimiento (Komatsu y Masubuchi, 2017). La comprensión actual de la dinámica folicular es la suma de estudios endocrinológicos e histológicos que se apoyan siempre con técnicas

ecográficas (Abdelnaby *et al.*, 2020), las variaciones en la dinámica folicular se pueden deber a factores externos como la estación, la alimentación o el manejo, pero también pueden variar por factores internos como la raza (Kojima, 2003).

El entendimiento de estas diferencias resultan de importancia para la aplicación práctica de las biotecnologías reproductivas (Dorneles *et al.*, 2017), sobre todo porque actualmente son escasos los reportes de dinámica folicular de vacas criollas en la zona altoandina del Perú. Por lo tanto, el objetivo fue estudiar la dinámica folicular de vacas criollas bajo condiciones de pastoreo en la época de lluvias y seca.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1. Lugar de estudio

El trabajo se realizó en el distrito de Carapo, provincia de Huancasancos, departamento de Ayacucho, Perú; a una altitud de 3 320 a 3850 msnm., Latitud:13°83'89"; Longitud: 74° 31'19"; temperatura media anual de 11,4 °C y precipitación media anual de 702 mm (SENAMHI, 2017).

### 2.2. Animales

Se utilizaron 15 vacas criollas de entre 4 a 6 años de edad, con una condición corporal de 2,5 a 3 en la escala de 1 a 5, vacías y con ciclo regular previa evaluación ginecológica. No se realizó ningún tipo de sincronización debido a que el objetivo fue estudiar la dinámica folicular de los ciclos estrales espontáneos que el animal presentaba naturalmente en un ambiente altoandino, tanto en la estación lluviosa (enero- marzo) como en la estación seca (julio - setiembre).

### 2.3. Composición del pasto

Se obtuvieron muestras de pasto natural que era consumido por los animales, tanto en la época de lluvias como en la época seca. Las muestras fueron tomadas al azar, por método directo, siguiendo el desplazamiento del animal y simulando el movimiento que éstos realizan al alimentarse (Herrera, 2007).

**Tabla 1**

Resultados del análisis proximal del pasto natural en la estación lluviosa y seca

Contenido (%)	Estación lluviosa	Estación seca
Humedad	25,78	0,00
Proteína	14,37	11,69
Ext. etéreo	3,04	1,65
Fibra cruda	24,55	40,50
Cenizas	8,52	7,24
Extracto No Nitrogenado	49,52	38,92

Las muestras fueron llevadas al el Laboratorio de Bioquímica, Nutrición y Alimentación Animal de la Facultad de Medicina Veterinaria de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, donde se realizó el análisis proximal para determinar el contenido de humedad, proteína cruda (nitrógeno total), fibra cruda, lípidos, ceniza y extracto libre de nitrógeno (Tabla 1).

#### 2.4. Seguimiento ecográfico

Las vacas fueron evaluadas por ecografía transrectal cada 48 horas durante al menos dos ciclos consecutivos por época del año (lluviosa y seca), utilizando un ecógrafo portátil Esaote Tringa Linear Vet®, con un transductor lineal de 7,5 MHz.

Para realizar la ecografía transrectal se inmovilizó al animal en un brete de manejo, se realizó el lavado de los genitales externos, se procedió a lubricar e insertar la mano enguantada con el transductor. Los ovarios fueron observados minuciosamente en dos planos (latero medial y dorsoventral) tratando de abarcar toda su superficie, de esta manera se obtuvieron al menos 4 imágenes por ovario.

Se registraron las variaciones en el tamaño del cuerpo lúteo y el folículo para cada observación, lo que permitió determinar la tasa de crecimiento restando el tamaño máximo alcanzado menos el tamaño inicial dividido entre los días de persistencia. El perfil de la dinámica folicular de cada animal se determinó recapitulando todos los datos obtenidos en la ecografía de cada folículo observado a partir de 4 mm.

#### 2.5. Actividad del cuerpo lúteo

La actividad lútea se evaluó mediante la medición de los niveles de progesterona plasmática para lo cual se tomaron muestras de sangre semanalmente que se obtuvieron por punción en la vena coccígea usando agujas N° 18 G x 1” en tubos vacutainer sin anticoagulante. Las muestras se mantuvieron refrigeradas, se separó el suero por centrifugación dentro de las 2 horas y se

conservaron a -20 °C hasta su procesamiento.

Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Reproducción Animal de la Facultad de Medicina Veterinaria de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, los análisis para la determinación de progesterona plasmática se realizaron mediante la técnica de radioinmunoanálisis (RIA) en fase sólida, usando un antiP4 monoclonal y <sup>125</sup>I progesterona como trazador, validados para plasma bovino (Ramirez, 2001).

Se ordenó el ciclo estral de acuerdo a la concentración de P4, las imágenes ultrasonográficas o la observación visual de celo, asumiendo como día 0 de cada ciclo la presentación de celo, el nivel basal de P4 o el día previo a la imagen de ovulación.

#### 2.6. Análisis estadístico

Los datos fueron analizados en un diseño completamente al azar (DCA), las diferencias en las variables de respuesta por época fueron evaluadas mediante análisis de varianza (ANOVA) desbalanceado con un nivel de significancia de  $\alpha = 0,05$ . Los valores se expresan como media  $\pm$  desviación estándar (DS) del conjunto de observaciones. Las figuras fueron generadas con el paquete “ggplot2” del programa estadístico R.

### 3. Resultados y discusión

#### 3.1. Duración del ciclo estral

En la época de lluvias, 2 de 15 vacas fueron evaluadas en 3 ciclos esterales, 7 en 2 ciclos esterales y los 6 restantes fueron evaluadas en un solo ciclo estral completo, haciendo un total de 26 ciclos esterales observados con un promedio de duración de  $21,39 \pm 1,17$  días. En la época seca, 8 de las 15 vacas fueron evaluadas en 2 ciclos esterales y los 7 restantes en un ciclo estral completo, haciendo un total de 23 ciclos esterales observados con un promedio de duración de  $22,07 \pm 1,04$  días (Tabla 2). No hubo diferencia estadística entre épocas del año.

**Tabla 2**

Duración del ciclo estral y características de la dinámica folicular de vacas criollas al pastoreo en la época de luvias y seca

Características	Época de lluvias		Época seca	
	n	X $\pm$ DS	n	X $\pm$ DS
Duración del ciclo estral (días)	26	21,39 $\pm$ 1,17 <sup>a</sup>	23	22,07 $\pm$ 1,04 <sup>a</sup>
Diámetro máximo (mm) del folículo dominante	42	11,69 $\pm$ 0,98 <sup>a</sup>	51	11,25 $\pm$ 0,76 <sup>a</sup>
Diámetro (mm) del folículo ovulatorio	26	17,11 $\pm$ 1,59 <sup>a</sup>	23	17,67 $\pm$ 1,21 <sup>a</sup>
Diámetro máximo (mm) del cuerpo lúteo	26	20,87 $\pm$ 1,48 <sup>a</sup>	23	21,30 $\pm$ 1,86 <sup>a</sup>
Tasa de crecimiento (mm/día) del Folículo dominante	42	1,19 $\pm$ 0,45 <sup>a</sup>	51	1,08 $\pm$ 0,73 <sup>a</sup>
Tasa de crecimiento (mm/día) del Folículo ovulatorio	26	1,95 $\pm$ 0,25 <sup>a</sup>	23	1,92 $\pm$ 0,12 <sup>a</sup>
Tasa de crecimiento (mm/día) del Folículo subordinado	185	0,74 $\pm$ 0,47 <sup>a</sup>	198	0,81 $\pm$ 0,24 <sup>a</sup>
Tasa de crecimiento (mm/día) del Cuerpo lúteo	26	1,01 $\pm$ 0,16 <sup>a</sup>	23	1,0 $\pm$ 0,15 <sup>a</sup>

<sup>a,b</sup> Valores con letra diferente en la misma fila difieren significativamente ( $p < 0,05$ ).

La duración del ciclo estral en ambas épocas se encuentra dentro del rango reportado para la especie, pues la mayoría de los estudios muestran que el 60% a 70% de los *Bos taurus* presentan un ciclo estral que oscila entre 19 y 23 días (Adams *et al.*, 2008), esto depende de la duración de las ondas y la influencia del cuerpo lúteo; por lo tanto, el proverbial ciclo estral de 21 días del ganado vacuno existe solo como un promedio (Adams y Singh, 2014).

Se han realizado estudios de dinámica folicular en ganado Brown Swiss en condiciones de altura en Perú como el de Quispe *et al.* (2013), que reporta un promedio de  $20,5 \pm 2,3$  días. Por otro lado, Satheshkumar *et al.* (2015) realizó estudios sobre la influencia de la estación en vacunos mestizos de Jersey en la India, reportando que la duración del ciclo estral fue mayor en la época calurosa ( $22,2 \pm 0,9$  días) que en la fría ( $20,7 \pm 0,4$  días).

### 3.2. Desarrollo folicular y de cuerpo lúteo

El diámetro máximo del folículo dominante y el tamaño del folículo ovulatorio no muestran diferencias significativas por época del año (Tabla 2).

El folículo dominante puede llegar a medir de entre 11,2 a 22,2 mm, hasta que una nueva onda se imponga o se den las condiciones para su desarrollo y posterior ovulación (Satheshkumar *et al.*, 2015); sin embargo, también se han reportado diámetros menores los cuales podrían estar asociados a una meseta más corta, lo que contribuiría a aumentar el número de ondas, descrito a profundidad en ganado *Bos indicus* (Ginther y Hoffman, 2014).

El tamaño del folículo ovulatorio en ambas épocas fue menor al reportado para la especie, que va desde los 18 a 20 mm (Ginther *et al.*, 2016; Adams y Singh, 2014). Las diferencias podrían atribuirse a las características fenotípicas de tamaño y conformación propias del grupo estudiado, pues More (2016) evaluó vacunos criollos de la misma zona, llegando a la conclusión que este grupo de animales presentaba menor altura a la cruz ( $113,53 \pm 1,15$  cm), perímetro torácico ( $157,09 \pm 1,03$  cm) y longitud corporal ( $127,56 \pm 1,51$  cm). Por otro lado, García *et al.* (2017) asoció las diferencias de tamaño al genotipo bovino en su investigación sobre perfiles de crecimiento folicular en vacas portadoras y no portadoras del gen “Trio”, reportando  $14,9 \pm 0,4$  mm como diámetro mínimo encontrado en un folículo peri ovulatorio en animales que no portaban el gen.

De los 49 folículos ovulatorios observados, 27 (55%) correspondieron al ovario derecho y 22 (45%) al ovario izquierdo. La asimetría

en la dinámica del folículo en los ovarios izquierdo y derecho se ha utilizado para dilucidar los mecanismos locales de control de la función ovárica frente a los sistémicos. Algunos autores han informado una mayor actividad folicular y proporción de ovulaciones en el ovario derecho (> 60%), mientras que otros no reportan tales diferencias (Adams y Singh, 2014).

En cuanto al diámetro máximo alcanzado del cuerpo lúteo en ambas épocas (Tabla 2), fueron menores a los reportados por Quispe *et al.* (2013) de 26,8 mm en los días  $10,8 \pm 3,7$ . Por otro lado, nuestros resultados fueron más cercanos al estudio de Satheshkumar *et al.* (2015) quien hizo estudios de la influencia de la estación natural en la dinámica ovárica de vacas mestizas de la India, reportando diámetros de  $22,1 \pm 0,4$  mm para la época calurosa y  $22,6 \pm 0,8$  mm para la época fría no habiendo diferencia entre épocas.

### 3.3. Tasa de crecimiento folicular y del cuerpo lúteo

La tasa de crecimiento del folículo dominante en ambas épocas (Tabla 2), es muy cercana al reportada por Ginther (2018) de  $1,5 \pm 0,1$  a  $1,8 \pm 0,1$  mm / día, clasificándola como un crecimiento común. Por otro lado, Pérez *et al.* (2019) estudió tasas de crecimiento del folículo dominante por etapa de lactación en ganado sometido a sincronización de celo en el altiplano peruano, reportando valores que van desde  $2,3 \pm 1,5$  a  $2,4 \pm 1,8$  mm/día.

Gran parte de las variaciones en el crecimiento folicular se deben a factores nutricionales pues existe estrecha relación entre el balance energético y fertilidad (Martins *et al.*, 2019). Aunque los mecanismos bioquímicos son complejos y numerosos, se ha demostrado que el desarrollo de los folículos depende de los factores de crecimiento en una etapa temprana y de su capacidad de respuesta gonadotrópica, esteroidogénica para la proliferación celular en una etapa tardía (Luo *et al.*, 2020). Por lo tanto, los cambios nutricionales actúan directamente sobre el ovario para provocar cambios en los patrones de crecimiento folicular (Armstrong *et al.*, 2001). Sin embargo, al no encontrarse diferencias en la tasa de crecimiento entre épocas, resulta interesante debido a que si existe variación del porcentaje de nutrientes disponibles en el pasto natural que las vacas criollas consumen a lo largo del año (Tabla 1). Un adecuado aporte de nutrientes, sobre todo energéticos, promueven cambios metabólicos plasmáticos como la glucosa y el colesterol (Martins *et al.*, 2019), teniendo en cuenta que los

receptores de insulina, factores de crecimiento y precursores esteroideos están ampliamente distribuidos por todo el ovario (Shimizu, 2016), debe haber un delicado equilibrio de contenido en la dieta. En este caso, podríamos suponer que la vaca criolla posee mecanismos aún desconocidos para mantener sus procesos reproductivos regulares, aún en condiciones precarias de alimentación.

### 3.4. Ondas de crecimiento folicular

Se pudieron observar ciclos con 2 (16%), 3 (78%) y hasta 4 (6%) ondas de crecimiento folicular, presentándose en mayor porcentaje los ciclos con tres ondas foliculares (Figura 1); a diferencia de Quispe *et al.* (2013), quién reportó ciclos con dos (83,3%), tres (11,1%) y cuatro (5,5%) ondas foliculares. La mayoría de los ciclos estrales bovinos *Bos taurus* (> 95%) están compuestos por dos o tres ondas de crecimiento folicular, siendo la presentación de 4 ondas de crecimiento folicular muy reducida (Ginther *et al.*, 2015; Adams y Singh, 2014).

Un aumento en el número de ondas de crecimiento folicular se ha asociado con factores raciales (Moreira *et al.*, 2000), de manejo y nutrición (Zárate *et al.*, 2010). Resaltando con este último, debido a que bajos niveles nutricionales en el alimento conducen a bajas concentraciones del factor de crecimiento insulínico tipo 1 (IGF-I), traduciéndose en una reducción del diámetro y persistencia del foliculo dominante de todas las ondas; por lo tanto, los foliculos no llegan a

diámetros pre ovulatorios y el ciclo se alarga (Aerts y Bols, 2010).

Gomez *et al.* (2019) y Satheshkumar *et al.* (2015) manifiestan que existe gran influencia de los diferentes mecanismos hormonales, sobre todo la actividad endocrina lútea, que impulsa el crecimiento y desviación de foliculos. Por otro lado, Jaiswal *et al.* (2009) asoció el dominio de la primera onda con un retraso posterior en el logro del diámetro máximo del foliculo dominante de la segunda onda, así como con el inicio temprano de la luteólisis; llegando a la conclusión que los factores que influyen en el desarrollo del foliculo dominante de la primera onda son los responsables de regular el patrón de ondas.

Por lo tanto, un estudio minucioso de la interacción de los foliculos de una misma onda podría dar mejores luces para aclarar este mecanismo.

### 3.5. Número de foliculos observados por onda de crecimiento folicular

El número de foliculos observados por onda de crecimiento folicular (Tabla 3) se encuentra dentro del rango reportado por Komatsu y Masubuchi (2017) que es de 5 a 10 para la especie. Sin embargo, en los estudios de Satheshkumar *et al.* (2015) indica un promedio de  $3,9 \pm 0,4$  foliculos en la estación calurosa y  $7,0 \pm 0,3$  para la estación fría. Es necesario tener en cuenta que la observación de foliculos puede verse afectada por la técnica de exploración, experticia o calidad del equipo ecográfico que se use.

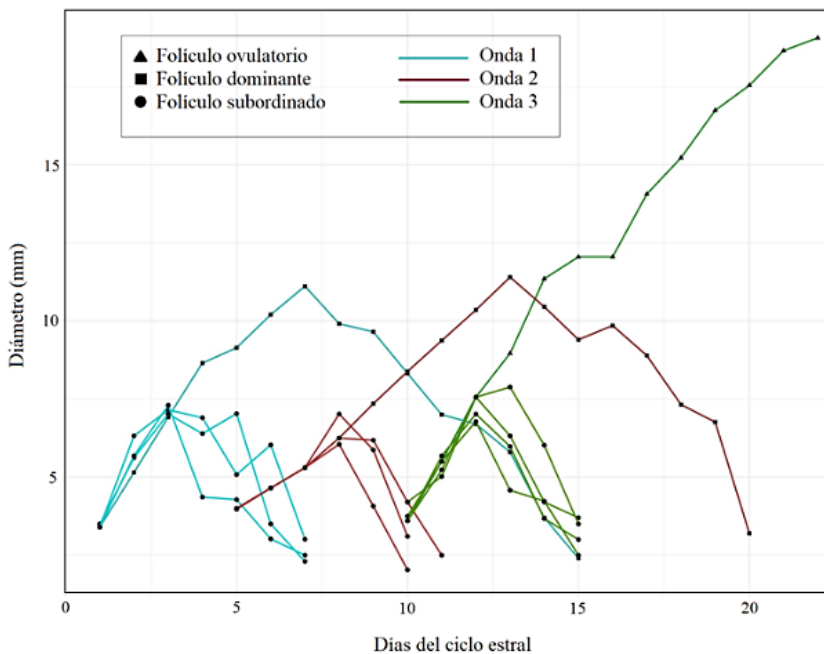
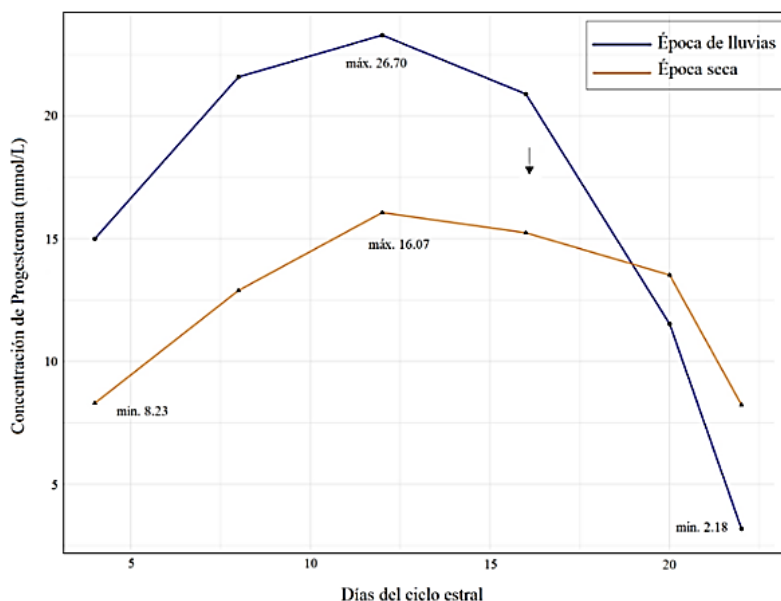


Figura 1. Patrón de crecimiento folicular con tres ondas durante el ciclo estral.

**Tabla 3**

Características de la dinámica folicular de vacas criollas al pastoreo por ondas de crecimiento folicular

Características	Onda 1	Onda 2	Onda 3	Onda 4
Presentaciones por ciclo (%)	-	16	78	6
Número de folículos por onda	4,95 ± 1,07	5,07 ± 1,06	5,17 ± 0,80	5,01 ± 0,71
Folículo dominante				
Diámetro máximo (mm)	12,07 ± 0,94	11,04 ± 0,72	11,38 ± 0,93	11,43 ± 0,96
Tasa de crecimiento (mm/día)	1,39 ± 0,48	1,03 ± 0,63	1,12 ± 0,82	1,10 ± 0,93
Día de divergencia	4,10 ± 1,72	11,35 ± 1,03	15,75 ± 1,01	18,35 ± 1,06
Persistencia (Días)	4,10 ± 1,26	6,26 ± 1,20	6,52 ± 2,43	6,50 ± 1,18
Inicio de la atresia (días)	8,75 ± 0,96	13,32 ± 0,78	17,05 ± 0,75	-

**Figura 2.** Patrón de las concentraciones de progesterona plasmática por estación.

### 3.6. Características del folículo dominante por onda de crecimiento folicular

El diámetro máximo y tasa de crecimiento del folículo dominante de la primera onda es superior a las demás ondas, esto puede estar asociado a su entorno endocrino; pues [Miura \*et al.\* \(2014\)](#) sustenta que la menor concentración de progesterona inicial, la concentración de estrógenos en el líquido folicular y el aumento del flujo sanguíneo, contribuyen a una mayor actividad metabólica del mismo. Por otro lado, [Ginther \*et al.\* \(2015\)](#) explica que la oleada preovulatoria de la hormona folículo estimulante (FSH) también podría inducir el crecimiento folicular de la onda folicular emergente y disminuir la tasa de crecimiento del siguiente folículo dominante.

En cuanto al día de divergencia, se presentó días después al reportado por [Dorneles \*et al.\* \(2017\)](#) que fue de 2,9 días para la primera onda folicular y [García \*et al.\* \(2017\)](#) de 3,3 ± 0,6 días para la segunda onda folicular.

Las variaciones en el inicio de la divergencia están asociadas a los niveles de estradiol (E2) y la hormona folículo estimulante (FSH), pues la secreción de E2 acelera la divergencia, mientras que un patrón de secreción de

FSH con aumentos bruscos de concentración alargan la misma ([Gomez \*et al.\*, 2019](#)). Para efectos de estudios posteriores, es recomendable la medición de las concentraciones de gonadotropinas circulantes, pues la FSH circulante y la divergencia han sido una asociación constante en las especies monovulares.

### 3.7. Actividad del cuerpo lúteo

Además del estudio ecográfico, fue necesario medir las concentraciones de progesterona pues los parámetros ecográficos para distinguir un cuerpo lúteo (CL) recién formado de uno ya establecido no son precisos ([Perry y Cushman, 2016](#)). El dosaje semanal de progesterona plasmática sirvió como indicador para poder relacionar el crecimiento del cuerpo lúteo con el final del ciclo estral.

En la [Figura 2](#) se observa que la concentración máxima de progesterona en ambas épocas del año se dio entre los días 13 a 16 del ciclo estral y declinó a partir del día 17. También, que los niveles de progesterona plasmática en la época de lluvias son mayores a los de la época seca; sin embargo, ambas siguen un mismo patrón.

En el estudio de Satheshkumar *et al.* (2015), la concentración de progesterona fue significativamente mayor (17,81 nmol/L) durante la temporada de calor que durante la temporada de frío (13,36 nmol/L), la cual asocia a la presentación de mayor número de ondas debido a que la alta concentración de progesterona durante el ciclo medio del cuerpo lúteo.

Recientemente, Gomez *et al.* (2020) demostró que elevados niveles de progesterona conducen a una inhibición más temprana del crecimiento del folículo subordinado y aumenta la frecuencia de desviación temprana; sin embargo, la desviación temprana aun no es explicada porque, según este estudio, puede suceder en presencia de concentraciones de FSH y LH elevadas o reducidas. Por su parte, Narváez *et al.* (2019) precisa que el cuerpo lúteo no tiene influencia en el número de folículos ni en la calidad de ovocitos, por lo que estudios más precisos de la actividad luteal son necesarios.

#### 4. Conclusiones

Los animales evaluados, en general, han mostrado que las características de su dinámica folicular están dentro de los parámetros biológicos para la especie, sólo algunas características fueron diferentes. Es necesario resaltar que en dichas características no hubo diferencia entre épocas del año, a pesar de que en la estación seca los nutrientes disponibles en el pasto natural son menores a los de la época lluviosa. Esto supone que el animal criollo tiene potencialidad para un adecuado desempeño reproductivo en ambientes extremos; sin embargo, para entender con mayor profundidad los mecanismos que regulan la dinámica folicular y estacionalidad propiamente dicha, también se debe contemplar estudios de concentraciones de gonadotropinas, del eje hipotálamico-pituitario-gonadal y mejorar los métodos actuales para observar el desarrollo folicular en el ovario.

#### ORCID

M.I. Alfaro-Astorima  <https://orcid.org/0000-0002-8546-1011>  
 H.H. Ormachea-Sánchez  <https://orcid.org/0000-0002-2121-6367>  
 E. Alvarado-Malca  <https://orcid.org/0000-0003-0068-4345>

#### Referencias bibliográficas

Abdelnaby, E.; Abo, A.M.; El-Badry, D.A. 2020. Ovarian and uterine arteries blood flow waveform response in the first two cycles following superstimulation in cows. *Reproduction in Domestic Animals* 55(6): 701-710.  
 Adams, G.P.; Jaiswal, R.; Singh, J.; *et al.* 2008. Progress in understanding ovarian follicular dynamics in cattle. *Theriogenology* 69(1): 72–80.  
 Adams, G.P.; Singh, J. 2014. Ovarian follicular and luteal dynamics in cattle. En: *Bovine Reproduction*. Cap. 24. Pp. 219-244.

Aerts, J.M.; Bols, P.E. 2010. Ovarian follicular dynamics. A review with emphasis on the bovine species. Part II: Antral development, exogenous influence and future prospects. *Reproduction in Domestic Animals* 45(1): 180-187.  
 Armstrong, D.G.; McEvoy, T.G.; Baxter, G.; *et al.* 2001. Effect of dietary energy and protein on bovine follicular dynamics and embryo production in vitro: Associations with the Ovarian Insulin-Like growth factor system. *Biology of Reproduction* 64(6): 1624-1632.  
 Caro, S.P.; Schaper, S.V.; Hut, R.A.; *et al.* 2013. The case of the missing mechanism: How does temperature influence seasonal timing in endotherms? *PLoS Biology* 11(4): e1001517  
 Delgado, A.; García, C.; Allcahuamán, D.; *et al.* 2019. Phenotypic characterization of creole cattle in the Huascarán National Park - Ancash, Perú. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 30: 1143-1149.  
 Dorneles, R.; Nogueira, G.P.; Rocha M.; *et al.* 2017. Characterizing emergence and divergence in the first follicular wave in a tropically adapted *Bos taurus* breed. *Theriogenology* 88: 9-17.  
 García, A.; Kirkpatrick, B.W.; Wiltbank, M.C. 2017. Follicular waves and hormonal profiles during the estrous cycle of carriers and non-carriers of the Trio allele, a major bovine gene for high ovulation and fecundity. *Theriogenology* 100: 100-113.  
 Ginther, O.J. 2018. Variations in follicle-diameter deviation and a growth spurt in the dominant follicle at deviation in *Bos taurus* heifers. *Animal Reproduction Science* 188: 55-164.  
 Ginther, O.J.; Baldrighi, J.M.; Siddiqui, M.A.R.; *et al.* 2016. Characteristics and functions of a minor FSH surge near the end of an interovulatory interval in *Bos taurus* heifers. *Domestic Animal Endocrinology* 56: 63-69.  
 Ginther, O.J.; Hoffman, M.M. 2014. Intraovarian effect of dominant follicle and corpus luteum on number of follicles during a follicular wave in heifers. *Theriogenology* 82(1): 169-175.  
 Ginther, O.J.; Siddiqui, M.A.R.; Baldrighi, J.M.; *et al.* 2015. Differences between follicular waves 1 and 2 in patterns of emergence of 2-mm follicles, associated FSH surges, and ovarian vascular perfusion in heifers. *Theriogenology* 84(6): 853-861.  
 Gomez, V.E.; Ginther, O.J.; Araujo, E.R.; *et al.* 2019. Hormonal mechanisms regulating follicular wave dynamics I: Comparison of follicle growth profiles under different physiological conditions in heifers. *Theriogenology* 123: 194-201.  
 Gomez, V.E.; Ginther, O.J.; Guimarães, J.D.; *et al.* 2020. Hormonal mechanisms regulating follicular wave dynamics II: Progesterone decreases diameter at follicle selection regardless of whether circulating FSH or LH are decreased or elevated. *Theriogenology* 143: 148-156.  
 Herrera, R.S. 2007. Toma y procesamiento de la muestra de pasto. Su influencia en indicadores morfológicos y composición química. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 41(3): 209-216.  
 Hidalgo, C.; Tamargo, C.; Fernández, A.; *et al.* 2015. Recursos zoogenéticos. Banco de razas domésticas autóctonas en peligro de desaparición. *Tecnol Agroalimentaria* 15: 45-52.  
 Jaiswal, R.S.; Singh, J.; Marshall, L.; *et al.* 2009. Repeatability of 2-wave and 3-wave patterns of ovarian follicular development during the bovine estrous cycle. *Theriogenology* 72(1): 81-90.  
 Kojima, F.N. 2003. The estrous cycle in cattle: Physiology, Endocrinology, and Follicular waves. *The Professional Animal Scientist* 19(2): 83-95.  
 Komatsu, K.; Masubuchi, S. 2017. Observation of the dynamics of follicular development in the ovary. *Reproductive Medicine and Biology* 16(1): 21-27.  
 Luo, Y.; Zhang, R.; Gao, J.; *et al.* 2020. The localization and expression of epidermal growth factor and epidermal growth factor receptor in bovine ovary during oestrous cycle. *Reproduction in Domestic Animals* 55(7): 822-832.

- Martins, J.P.; Linhares, C.C.; Rossetto, R.; *et al.* 2019. Impact of short nutrient stimuli with different energy source on follicle dynamics and quality of oocyte from hormonally stimulated goats. *Reproduction in Domestic Animals* 54(9): 1206-1216.
- Mastromonaco, G.F.; Gonzalez, A.L. 2020. Reproduction in female wild cattle: Influence of seasonality on ARTs. *Theriogenology* 150: 396-404.
- MINAGRI - Ministerio de Agricultura y Riego. 2017. Diagnóstico de crianzas prioritizadas para el plan ganadero 2017-2021. Disponible en: <http://www.minagri.gob.pe/portal/analisis-economico/analisis-2017?download=10978:diagnostico-de-crianzas-priorizadas-para-el-plan-ganadero-2017-2021>.
- Miura, R.; Haneda, S.; Lee, H. H.; *et al.* 2014. Evidence that the dominant follicle of the first wave is more active than that of the second wave in terms of its growth rate, blood flow supply and steroidogenic capacity in cows. *Animal Reproduction Science* 145: 114-122.
- More, M. 2016. Caracterización faneróptica y morfométrica del vacuno criollo en Ayacucho, Puno y Cajamarca. Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima Perú. 76 pp.
- Moreira, J.; De Moraes, A.; Ferreira, W.; *et al.* 2000. Follicular dynamics in Zebu cattle. *Pesquisa Veterinaria Brasileira* 35(12): 2501-2509.
- Narváez, J.; Piedra, E.; Chacho, M.; *et al.* 2019. Características morfológicas y foliculares de ovarios bovinos con o sin un cuerpo lúteo. *Journal of Chemical Information and Modeling* 53(9): 1689-1699.
- Pérez, U.; Quispe, Y.; Luque, N.; *et al.* 2019. Evaluación ultrasonográfica en ganado Brown Swiss sometido a un protocolo de sincronización de celo en el altiplano peruano. *Rev. Inv Vet Perú* 30(1): 489-494.
- Perry, G.A.; Cushman, R.A. 2016. Use of ultrasonography to make reproductive management decisions. *Professional Animal Scientist* 32(2): 154-161.
- Quispe, A.; Quispe, Y.; Pérez, U.; *et al.* 2013. Estudio ultrasonográfico de la dinámica folicular en vacas Brown Swiss en el Altiplano Peruano. *Spermova* 4(1): 83-85.
- Ramirez, L.N. 2001. El uso del radioinmunoanálisis (RIA) para el mejoramiento de la eficiencia reproductiva. *Reproducción Bovina* 1: 333-346.
- Rivas, E.; Veli, E.; Aquino, Y.; *et al.* 2007. Acciones para la caracterización y conservación del bovino criollo peruano (*Bos taurus*). *Animal Genetic Resources Information* 40: 33-42.
- Satheshkumar, S.; Brindha, K.; Roy, A.; *et al.* 2015. Natural influence of season on follicular, luteal, and endocrinological turnover in Indian crossbred cows. *Theriogenology* 84(1): 19-23.
- SENAMHI - Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. 2017. Datos hidrometeorológicos en Ayacucho. Estación: Huancasancos. Disponible en: <https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>.
- Shimizu, T. 2016. Molecular and cellular mechanisms for the regulation of ovarian follicular function in cows. *Journal of Reproduction and Development* 62(4): 323-329.
- Zárate, J.P.; Ramírez, J.A.; Rodríguez, F.A. 2010. Comportamiento reproductivo de vacas criollas con amamantamiento restringido y sincronización del estro. *Agronomía Mesoamericana* 21(1): 121-130.