

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL



Caracterización del ciclo estral en bovinos de la raza Wagyu

Por:

**Daniel Moscosa Sahagún**

**Tesis**

Que presenta como requisito parcial para obtener el título de:

**MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA**

**Torreón, Coahuila, México**

**Diciembre 2023**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS MÉDICO VETERINARIAS

Caracterización del ciclo estral en bovinos de la raza Wagyu

Por:

**Daniel Moscosa Sahagún**

TESIS

Que somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial  
para obtener el título de:

**MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA**

Aprobada por:

Dr. Hugo Zuriel Guerrero Gallego  
Presidente

Dr. Juan Manuel Guillén Muñoz  
Vocal

Dr. Juan Luis Morales Cruz  
Vocal

Dra. Zurisaday Santos Jiménez  
Vocal suplente

MC. José Luis Francisco Sandoval Elías  
Coordinador de la División Regional de Ciencia Animal



Torreón, Coahuila, México

Diciembre 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS MÉDICO VETERINARIAS  
Caracterización del ciclo estral en bovinos de la raza Wagyu

Por:

**Daniel Moscosa Sahagún**

TESIS

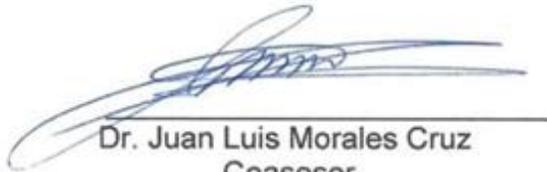
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA**

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dr. Hugo Zuriel Guerrero Gallego  
Asesor Principal



Dr. Juan Luis Morales Cruz  
Coasesor



Dr. Juan Manuel Guillén Muñoz  
Coasesor



MC. José Luis Francisco Sandoval Elías  
Coordinador de la División Regional de Ciencia Animal

Torreón, Coahuila, México

Diciembre 2023

## **AGRADECIMIENTOS**

*A la vida, gracias a que por ella estoy aquí, todos tenemos un propósito en la vida, y tarde o temprano lo cumpliremos, poniendo nuestro esfuerzo al máximo y viviendo cada momento.*

*A mi familia, sin duda alguna son la motivación que cada día me inclina a ser mejor persona y más humano, sacrificando muchas cosas para que pudiera vivir esta oportunidad, nunca terminare de agradecerles.*

*Al C. General Secretario D.E.M. Luis Crescencio Sandoval González, secretario general de la Defensa Nacional, por permitirnos realizar el estudio dentro de tan prestigiadas instalaciones.*

*Al C. Gral. Brig. D.E.M. Eduardo Villegas Velázquez comandante del C.M.G. por recibirnos de manera grata dentro las instalaciones, y brindarnos la confianza para poder realizar los trabajos correspondientes.*

*Al Tte. Cor. Med. Vet. Jacinto Moreno Armendáriz, Jefe de la Sección Técnica Agropecuaria del C.M.G. por su atención y facilidades para incluirnos al programa de producción de Bovinos y poder realizar las actividades pertinentes.*

*Al Myr. Med. Vet. Miguel Ángel Ramírez Vázquez, Jefe del programa de Producción Bovina, por apoyarnos con el equipo, la disposición del personal y lo más importante, los animales para el desarrollo de la investigación, brindándonos de igual manera apoyo y atención en lo necesario a beneficio del estudio.*

*Al Sbtte. Med. Vet. Hugo Enrique Ramírez Dorado, encargado del área de reproducción, dentro del programa de Producción Bovina, sin duda alguna un colega a futuro que mostro todo su apoyo y trabajo dentro de la investigación, colaborando con su ayuda y conocimientos en todo momento, formando un lazo de compañerismo y trabajo que logro grandes resultados.*

*A mis compañeros, mi estimado amigo Sergio Hernández García, colega de generación, y quien nunca dudo en compartir conocimientos conmigo, y creamos un equipo sólido de trabajo.*

*Agradecido con mi escuela, quien cimento las bases de un futuro fuerte, para este ciudadano con intenciones de ser de gran apoyo a la sociedad, gracias por ser parte de mi formación.*

*A mis asesores, mostrando su apoyo en todo momento sin importar las circunstancias, mostrando su profesionalismo y seriedad dentro del trabajo.*

## DEDICATORIA

*A la vida, por quien estoy aquí, disfrutando del momento y haciendo realidad los sueños y metas que en algún momento me propuse.*

*A mi Padre, Luis Moscosa Lara quien siempre estuvo conmigo, a lo largo de toda mi vida, y siempre me mostro su apoyo y aprecio, sin duda alguna el ejemplo a seguir de la persona que quiero ser.*

*A mi Madre, Gabriela Sahagún Alcocer quien me acompañó en varios desvelos y mostro empatía conmigo, entendiendo todas las decisiones que tomaba*

*A mis hermanos, Jesús Nazareth Moscosa Sahagún y Melissa Moscosa Sahagún, con quienes tengo un fuerte lazo sanguíneo y nos entendemos perfectamente, a ellos con quienes compartiré el resto de mi vida, y este logran tan importante.*

*A mi centro de formación, y casa de estudios, quien me dio los conocimientos necesarios para salir a luchar en el día a día, y quien me dio la oportunidad de conocer a personas maravillosas, con quienes puedo compartir experiencias y logros.*

## ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	vi
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	vii
<b>RESUMEN</b> .....	viii
<b>ABSTRACT</b> .....	ix
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>2. HIPÓTESIS</b> .....	2
<b>3. OBJETIVO GENERAL</b> .....	2
3.1.    Objetivos específicos .....	2
<b>4. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	3
4.1.    La producción bovina en México .....	3
4.2.    Generalidades de la raza Wagyu.....	4
4.3.    Importancia de la raza Wagyu en México.....	6
4.4.    Anatomía del aparato reproductor de la hembra bovina .....	7
4.4.1.    Vulva .....	7
4.4.2.    Vagina .....	7
4.4.3.    Cérvix .....	7
4.4.4.    Útero.....	7
4.4.5.    Oviducto .....	8
4.4.6.    Ovario.....	8
4.5.    Desarrollo del ovario (ovogénesis) .....	9
4.6.    Foliculogénesis.....	10
4.7.    Endocrinología de la reproducción .....	12
4.7.1.    Hormona.....	13
4.7.2.    Hipotálamo .....	14
4.7.3.    Hipófisis.....	15
4.7.4.    17- $\beta$ Estradiol (E <sub>2</sub> ) .....	16
4.7.5.    Progesterona (P4).....	16

4.7.6.	Prostaglandina (PGF <sub>2α</sub> ).....	17
4.8.	Pubertad.....	17
4.1.	Teorías de la pubertad .....	18
4.8.1.1.	Teoría del gonadostato .....	18
4.8.1.2.	Teoría de la maduración central .....	18
4.9.	Ciclo estral.....	19
4.9.1.	Fase folicular .....	20
4.9.2.	Fase lútea.....	21
4.10.	Anatomía y fisiología del folículo.....	23
4.11.	Clasificación folicular.....	24
4.12.	Ovulación .....	25
4.13.	Luteogénesis .....	25
4.14.	Dinámica folicular .....	25
4.15.	Ciclo de dos ondas foliculares .....	28
4.14.2.	Ciclo de tres ondas foliculares .....	28
4.15.	Nutrición .....	28
4.16.	Ultrasonografía.....	29
4.16.1.	Principio de la Ultrasonografía .....	30
4.16.2.	Equipamiento .....	31
<b>5.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>32</b>
5.1.	Manejo general de los animales .....	32
5.2.	Localización del área de estudio y condiciones climáticas .....	32
5.3.	Animales experimentales .....	32
5.4.	Diseño experimental .....	33
5.5.	Variables evaluadas .....	33
5.6.	Análisis estadísticos .....	33
<b>6.</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>35</b>
<b>7.</b>	<b>DISCUSIÓN.....</b>	<b>39</b>
<b>8.</b>	<b>CONCLUSIÓN .....</b>	<b>42</b>

9. LITERATURA CITADA.....	43
---------------------------	----

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Las cuatro razas certificadas como Wagyu, que son las más difundidas en Japón y en el mundo.....	5
<b>Figura 2.</b> Anatomía del aparato reproductor de la vaca. ....	9
<b>Figura 3.</b> Representación del proceso de foliculogénesis, en el que se muestran las principales estructuras a lo largo de las diferentes etapas. ....	12
<b>Figura 4.</b> Esquema que representa el modelo del eje hipotálamo – hipófisis – gónadas, mostrando las hormonas que secretan, y como ejercen un feed-back, positivo o negativo, suprimiendo o estimulando la liberación de otras hormonas .....	13
<b>Figura 5.</b> Imagen que esquematiza todos los procesos que se desarrollan a lo largo de un ciclo estral, recalcando la división de las dos fases, como influyen las hormonas a lo largo del ciclo, y la emergencia folicular, denotando un ciclo de dos ondas folicular es .....	23
<b>Figura 6.</b> Esquematación de la dinámica folicular en bovinos en un ciclo de tres ondas, denotando las tres etapas principales de la dinámica folicular: reclutamiento, selección y dominancia. ....	27
<b>Figura 7.</b> Seguimiento de las oleadas foliculares por medio de los folículos dominantes (>12 mm) en vacas Wagyu durante un ciclo estral. Donde 1ra OF = primera oleada folicular; 2da OF = segunda oleada folicular. OV = momento de la ovulación.....	35
<b>Figura 8.</b> Seguimiento de las oleadas foliculares por medio de los folículos dominantes (>12 mm) en vacas Wagyu durante un ciclo estral. Donde 1ra OF = primera oleada folicular; 2da OF = segunda oleada folicular. OV = momento de la ovulación.....	36
<b>Figura 9.</b> Seguimiento de las oleadas foliculares por medio de los folículos dominantes (>12 mm) en vacas Wagyu durante un ciclo estral. Donde 1ra OF =	

primera oleada folicular; 2da OF = segunda oleada folicular. 3ra OF = tercera oleada folicular. OV = momento de la ovulación..... 36

## ÍNDICE DE CUADROS

**Cuadro 1.** Promedio de crecimiento diario de los folículos grandes en las distintas oleadas foliculares (Crecimiento de folículo de mayor diámetro > 7mm)..... 37

**Cuadro 2.** Promedio de atresia diaria del folículo dominante después de producirse el recambio folicular (atresia del folículo de mayor diámetro > 13 mm).  
..... 38

## RESUMEN

El objetivo de esta investigación consistió en la caracterización del ciclo estral de las hembras de la raza Wagyu, con el fin de establecer las bases de la fisiología reproductiva de esta raza. Esto, debido a que existe poca información, que brinde las bases para el desarrollo de biotecnologías reproductivas importantes como la Inseminación Artificial y la Transferencia de Embriones. Se utilizaron tres vacas de la raza Wagyu, con una edad promedio de  $36\pm 2$  meses y un peso aproximado de  $365\pm 20$  kg. A estas hembras se les realizó un escaneo transrectal con ecógrafo, visualizando los folículos presentes en los ovarios. Una vez identificados, se realizó la medida del diámetro folicular con apoyo del mismo ultrasonido, los datos fueron capturados en diagramas personalizados con la información correspondiente a cada día y a cada vaca. Los datos fueron analizados previamente con una prueba de “Shapiro test” para determinar la normalidad y una prueba de “Bartlett test” para determinar homogeneidad de varianzas. Para evaluar el crecimiento de folículo de mayor diámetro y la atresia del folículo de mayor diámetro se realizaron mediante una prueba de ANOVA de dos vías y posteriormente se realizó una prueba de contraste “Tukey”. Se consideró una diferencia estadística a  $p < 0.05$ . Todos los procedimientos fueron realizados con el programa R Studio versión 4.0.5. Los resultados de esta investigación muestran la caracterización de la dinámica folicular y la cantidad de oleadas foliculares en las hembras de la raza Wagyu, con ciclos de dos y tres ondas foliculares. Existiendo una variabilidad en cuanto al diámetro del folículo preovulatorio, y la duración del ciclo estral siendo menor en comparación con la mayoría de las razas de carne. Estos resultados pueden ser útiles en la predicción de una nueva oleada folicular, necesaria para la utilización e implementación de programas de reproducción asistida en esta raza.

**Palabras clave:** Dinámica folicular, Folículo preovulatorio, Wagyu, Folículo dominante, Emergencia folicular

## ABSTRACT

The objective of this research was to characterize the estrous cycle of females of the Wagyu breed, in order to establish the bases of the reproductive physiology of this breed. This is because there is little information that provides the basis for the development of important reproductive biotechnologies such as Artificial Insemination and Embryo Transfer. Three Wagyu cows were used, with an average age of  $36\pm 2$  months and an approximate weight of  $365\pm 20$  kg. These females underwent a transrectal ultrasound scan, visualizing the follicles present in the ovaries. Once identified, the follicular diameter was measured with the support of the same ultrasound, the data were captured in personalized diagrams with the information corresponding to each day and each cow. The data were previously analyzed with a “Shapiro test” to determine normality and a “Bartlett test” to determine homogeneity of variances. To evaluate the growth of the largest diameter follicle and the atresia of the largest diameter follicle, a two-way ANOVA test was performed and subsequently a “Tukey” contrast test was performed. A statistical difference was considered at  $p < 0.05$ . All procedures were carried out with the R Studio program version 4.0.5. The results of this research show the characterization of follicular dynamics and the number of follicular waves in females of the Wagyu breed, with cycles of two and three follicular waves. There is variability in the diameter of the preovulatory follicle, and the duration of the estrous cycle being shorter compared to most meat breeds. These results may be useful in predicting a new follicular wave, necessary for the use and implementation of assisted reproduction programs in this breed.

**Keywords:** Follicular dynamics, Preovulatory follicle, Wagyu, Dominant follicle, Follicular emergence

## 1. INTRODUCCIÓN

La producción de carne bovina en México se da a través de nuevas tecnologías, métodos de manejo y fin zootécnico, entendiendo que las principales razones de la producción de bovinos son, la cría de becerros para la exportación, o consumo nacional, para abasto, y la producción de pie de cría (SIAP, 2016). De tal manera que, la carne es el principal producto que se extrae de los bovinos. La producción de México es de alrededor de dos millones de toneladas al año, en donde la mayoría, cerca del 85%, es de exportación a Estados Unidos (SADER, 2015). Debido a esto, se tiene que dar cumplimiento a la alta demanda de producción de carne que se espera a futuro, pero también dándole importancia a la calidad de esta, introduciendo razas que mejoren la calidad de la carne.

Las principales razas productoras de carne en México son: Beefmaster, Charolais, Simmental, Aberdeen Angus, Hereford y Nelore, que se caracterizan por sus pesos, tanto en canal como en peso vivo, (Córdova, 2022). La raza de ganado Wagyu comienza a ganar difusión en México, debido a que visualmente esta carne presenta un grado de marmoleo distinto al de otras razas (De la Torre, 2018). El marmoleo es la grasa que se encuentra entre las fibras musculares (NMX-FF-078-SCFI-2002), y que demarca parámetros como terneza, jugosidad y sabor (Torrescano *et al.*, 2017). Para lograr la producción de ganado con esta calidad de carne, se tiene que basar en determinar la eficiencia reproductiva de las hembras (Motta *et al.*, 2011). Para llevar a cabo un mejor entendimiento de la fisiología reproductiva en las hembras bovinas, es necesario el caracterizar la funcionalidad y la dinámica folicular ovárica, a fin de comprender mejor el ciclo estral (Sartori y Barros, 2011). Al tener definida la dinámica folicular, se podrán desarrollar, protocolos de Inseminación Artificial a Tiempo Fijo y Transferencia de Embriones. El objetivo de este estudio fue caracterizar la dinámica folicular de las hembras de la raza Wagyu, con el fin de establecer las bases de la fisiología reproductiva de esta raza.

## **2. HIPÓTESIS**

El ciclo estral de las vacas Wagyu, puede presentar variaciones en la dinámica folicular, y podría tener variaciones de dos a tres ondas por ciclo estral

## **3. OBJETIVO GENERAL**

Caracterizar el ciclo estral de las hembras de la raza Wagyu, con el fin de establecer las bases de la fisiología reproductiva de esta raza.

### **3.1. Objetivos específicos**

- Definir la dinámica folicular por el número de ondas presentes en el ciclo estral de las hembras de la raza Wagyu.
- Establecer el crecimiento diario del folículo dominante por oleada folicular.
- Establecer el tamaño del folículo cuando este sufría atresia.
- Determinar el tamaño del folículo preovulatorio.

## 4. REVISIÓN DE LITERATURA

### 4.1. La producción bovina en México

Durante décadas la ganadería bovina en México se desarrolló mediante un modelo extensivo que tuvo un grave impacto ecológico, cimentando sus bases a través de la extensión de la superficie de pastoreo (INIFAP, 2014).

La ganadería fue introducida en México durante los siglos XV y XVI, anteriormente la producción pecuaria tenía interés limitado a la cría de pavo, al xoloitzcuintle, a la cochinilla de granja y algunas especies apícolas. Es en el año de 1521, cuando se dio por iniciada la llegada de bovinos a territorio del continente americano, que a través de los años generará razas adaptadas al medio en el que se desarrollarán (FIRCO, 2017).

La ganadería bovina tuvo un crecimiento importante, a partir de mediados de la década de los cincuenta y principios de la década de los ochenta, la alimentación del ganado se basó principalmente con pastos naturales, esto provocó la creación de un modelo extensivo que permitirá la disposición de grandes superficies de terreno. Para la ganadería de engorda este modelo tuvo mucha importancia, de igual manera que para la ganadería de doble propósito, aumentando su rentabilidad mediante la renta del suelo (Villalobos *et al.*, 2012). En el presente, el sector ganadero se denota como una de las áreas con mayor crecimiento del sector agropecuario a nivel internacional, esto a través de la producción de carne de res, que es el segundo producto ganadero que más se consume. A nivel internacional, México ocupa el séptimo lugar, como productor mundial de proteína animal, esto es gracias al alto potencial de desarrollo que tiene y las ventajas competitivas del mercado (SADER, 2017).

La producción de ganado bovino, es una de las actividades más distribuidas en la república mexicana, se encuentra presente en la mayor parte del territorio nacional, con la adaptación a los distintos tipos de climas. Geográficamente se encuentra distribuida en aproximadamente 110 millones de hectáreas, dando la equivalencia a un 60% del territorio mexicano (Puebla *et al.*, 2018). Además de que también, genera empleos a más de medio millón de personas, y aporta cerca del 30% de Producto Interno Bruto del sector primario (Rodríguez *et al.*, 2018).

La ganadería de engorda de pastoreo en México, basa su venta en dos principales mercados:

1. El mercado interno de carne de res.
2. La exportación de becerros a los Estados Unidos.

El abastecimiento de los mercados se encuentra dividido por zonas ganaderas. La venta de becerros al extranjero está a cargo de la zona Norte de México debido a que cuenta con un óptimo ecosistema y a la cercanía con el mercado norteamericano (Chauvet, 1997).

El desempeño de los hatos bovinos en, está determinado por la eficiencia reproductiva de las hembras (Motta *et al.*, 2011), aunque, para que las hembras reflejen una adecuada eficiencia reproductiva, deben cumplir con aspectos como:

- Rápido crecimiento, desde el momento del parto hasta la pubertad.
- Lograr la pubertad a temprana edad.
- Parámetros aceptables de fertilidad.
- Producir crías con buena salud.
- Tener las condiciones óptimas para sustentar a la cría hasta el momento del destete.
- Tener un pronto retorno al estro después del parto y que sea fértil.
- Estar produciendo crías en tiempos regulares sin alargar los periodos posparto y manteniéndose en buena salud.

Todo esto es posible lograrlo, cumpliendo requisitos indispensables para la buena salud de los animales, reflejando los mismos, la eficiencia reproductiva deseada (Gasque, 2016).

#### **4.2. Generalidades de la raza Wagyu**

Se denomina Wagyu, al ganado de origen japonés (Rubio, 2020). Los orígenes de este ganado japonés tienen más de 300 años, eran utilizados principalmente para la agricultura, en especial, para el cultivo del arroz. Al paso de varios años se cambiaron por equipos agrícolas especializados y el ganado comenzó a ser de autoconsumo, notándose la diferencia en que la calidad de este ganado era

mejor que la del ganado europeo en ese entonces. Tomando esto como punto de partida, se comenzó con la crianza controlada del ganado Wagyu (Sieiro, 2017).

En Japón existen cuatro razas de animales, que son certificadas como Wagyu. *Kuroge washu*: res japonesa de color negro. *Akage washu*: res japonesa de color marrón. *Nihon tankakushu*: res japonesa de cuerno corto. *Mukaku washu*: res japonesa descornada, éstas razas están descritas gráficamente en la figura 1 en donde se muestra la particularidad del color de cada res japonesa (Berta y Jesús, 2020).



**Figura 1.** Las cuatro razas certificadas como Wagyu, que son las más difundidas en Japón y en el mundo (recuperado de Comer japonés, 2018).

En Japón el ganado de carne más común es el negro japonés, que es llamado Wagyu, que es procedente del ganado asiático nativo. Este ganado negro japonés se encuentra presente en Australia y en América del Norte, en donde el

principal mercado es la exportación de animales, semen y embriones (Vázquez *et al.*, 2022).

Para la obtención del ganado Wagyu, es necesario que se origine específicamente de razas puras de Japón, que tienen una rusticidad única del mismo territorio de donde proceden. Desde el momento que comenzó el consumo de la res japonesa alrededor del año de 1860, se han realizado varios trabajos para mejorar la calidad de la carne y cumplir con características específicas del mercado (Motoayama *et al.*, 2016).

Una de las características más importantes de la raza Wagyu es su capacidad de infiltración de grasa en el músculo, característica que diferencia a esta raza de otras. Esta característica es conocida como “marmoleo” (Barbieri, 2008).

En cuanto a parámetros reproductivos, el ganado Wagyu tiene una paridad media de  $4,9 \pm 2,9$ , intervalo parto-primer servicio de  $80,0 \pm 46,2$  días, tasa de concepción al primer servicio de  $53,5 \pm 49,9\%$ , con un promedio de  $47,0\%$  en novillas y del  $47,8\%$  en vacas adultas (Vázquez *et al.*, 2022).

#### **4.3. Importancia de la raza Wagyu en México**

En el territorio mexicano se está produciendo y comercializando ganado Wagyu, esto se ha ido logrando gracias a ganaderos que importan embriones y semen de razas específicas (en este caso de la raza Wagyu), creando de esta manera, su propia identidad de ganado (Lorenzana, 2017).

La región norte de México fue una de las principales en introducir la raza Wagyu, esto, a través de la unión de ganaderos de la misma región; logrando producir carne con las características deseadas, abasteciendo restaurantes y puntos de venta específicos que cuentan con la certificación de venta de carne de res Wagyu (De la Torre, 2018).

Caber recalcar que la carne de estos animales, además de poseer un sabor particular, también tienen predisposición genética a que su carne contenga menos colesterol dañino para la salud, y agregando valor, al tener ácidos grasos, como el omega tres y seis, que no se presenta en las demás razas bovinas,

dándole una característica saludable, que aporta beneficios a la salud humana (Animal Gourmet, 2018).

#### **4.4. Anatomía del aparato reproductor de la hembra bovina**

##### **4.4.1. Vulva**

Es una estructura, que anatómicamente, se presenta de manera externa en el aparato genital. Se une a la vagina a través del orificio uretral externo. La vulva tiene dos labios gruesos, que se conjuntan a través de dos comisuras, la comisura inferior y la comisura superior, que son las que forman la hendidura vulvar. A través del vestíbulo, la vulva tiene comunicación con la vagina (Kelly, 2014).

##### **4.4.2. Vagina**

Tiene una medida de aproximadamente seis pulgadas a lo largo, se presenta a partir de la apertura uretral, y llega a él cérvix. En este órgano es donde se deposita el semen, y tiene la función de canal del parto, al momento de parir (Nebel y DeJarnette, 2011).

##### **4.4.3. Cérvix**

Es la porción caudal al útero, con una dimensión de ocho a diez cm a lo largo, forma un canal cervical, que permite la unión entre el útero y la vagina. A la palpación se nota una consistencia firme, esto es porque el cérvix presenta pliegues cartilaginosos, conocidos como “anillos”. El último anillo, que se nota hacia craneal de la vagina, forma otro pliegue, llamado fórnix. En esta estructura se deposita el semen por monta natural (Lenis *et al.*, 2014)

##### **4.4.4. Útero**

Se divide en dos porciones, la primera es el cuerpo, la segunda se divide nuevamente en dos, que son los cuernos. El cuerpo, mide de dos a cuatro cm, y los cuernos varían de 35-45 cm de longitud. Tienen una membrana interna llamada endometrio. En los cuernos uterinos, es el lugar en donde se va a alojar el feto, durante la gestación. Durante la gestación, el útero tiene la capacidad de

extender su tamaño, a fin de poder alojar un animal que llegue a pesar hasta 40 kg al nacimiento (Inchausti, 1990).

#### **4.4.5. Oviducto**

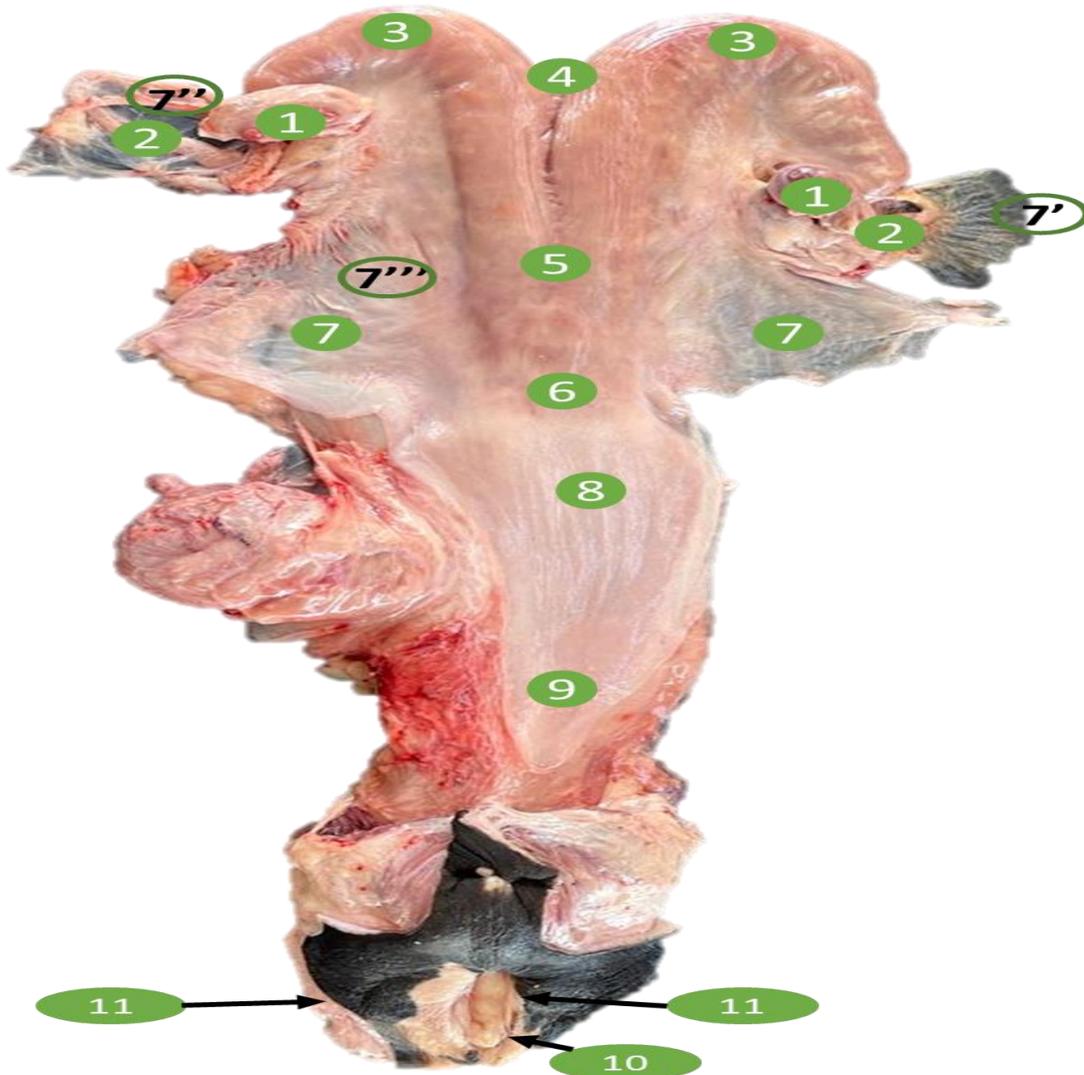
Es una estructura muscular, con forma de tubo pequeño, y que se encuentra sostenido en el aparato reproductor, por el mesosalpinx. Presenta tres secciones: infundíbulo, ámpula e istmo, de ovario hacia útero respectivamente. Las capas que conforman el oviducto son: serosa, muscular y mucosa, de exterior a interior (Galina y Valencia, 2008).

#### **4.4.6. Ovario**

Los ovarios son órganos que se encuentran en pares, su estructura es firme y no presenta regularidad, tiene un perímetro de forma ovoide y compactada mide unos 4, 2.5 y 1.5 cm. El borde del hilio se encuentra entrelazado al ligamento ancho, a través, del mesovario, uniéndolo de esta manera a la pared corporal antes de la entrada de la pelvis y al tracto reproductor (Dyce *et al* 1991).

En su estructura el ovario tiene una zona periférica que rodea a la médula, esta zona es una corteza. La corteza tiene un epitelio germinal, que está formado por células cuboideas. Por dentro del epitelio germinativo, existe una capa de tejido conjuntivo denso y resistente, la túnica albugínea. En la corteza, rodeados por tejido conjuntivo correspondiente al estroma ovárico, al interior de la túnica albugínea, están los folículos ováricos, que contienen a los ovocitos (Filipiak *et al.*, 2016).

Se localizan en la proximidad de la mitad del borde lateral de la entrada pelviana. El mesovario mantiene flotando a los ovarios a una distancia aproximada de cinco cm del extremo ovárico del cuerno uterino (Stornelli, 2016). En la figura 2, se muestra el aparato reproductor de la hembra bovina, definiendo el nombre de cada estructura que lo compone.



**Figura 2.** Anatomía del aparato reproductor de la vaca. 1. Ovario. 2. Oviducto (infundíbulo, ámpula e istmo). 3. Cuerno uterino. 4. Ligamento intercornual. 5. Pared o tabique del útero que divide los dos cuernos uterinos. 6. Cuerpo del útero. 7. Ligamento ancho (7' = mesosálpinx; ovario, 7'' = mesometrio; útero, cérvix y vagina). 8. Cuello uterino o cérvix. 9. Vagina. 10. Clítoris. 11. Labios vulvares

#### 4.5. Desarrollo del ovario (ovogénesis)

En los mamíferos antes del nacimiento, se encuentran formados ovocitos dentro del ovario de la hembra, concluyendo su desarrollo, a la llegada de la pubertad. Para llevar a cabo este proceso se debe pasar por ciertas etapas de desarrollo las cuales son: la proliferación y diferenciación de las células foliculares y, el crecimiento, maduración y liberación de un ovocito que sea fecundable (Marco y Salvador, 2012).

Durante las primeras instancias de desarrollo embrionario las células germinales primordiales migran por movimientos ameboides del endoblasto extraembrional caudal a través del mesenterio de la cresta genital, ocurriendo alrededor de los 35 días de gestación, mientras que la diferenciación sexual del embrión bovino ocurre a los 45 días de gestación. Durante los días 45 a 110 de gestación ocurre el periodo de mitosis oogonial que es el periodo de mayor oogénesis.

Durante los primeros dos o tres meses de edad, hay un aumento en el número de folículos  $\geq 3$  mm presentes en los ovarios seguido de un pequeño cambio en el número de folículos antrales totales. El tamaño de los folículos y el número de folículos antrales grandes aumenta a medida que las vaquillas maduran. En el ganado *Bos Taurus*, existe una correlación positiva entre la reserva ovárica (número total de folículos) y el recuento de folículos antrales. Además, el recuento de folículos antrales (3 mm) es repetible dentro de un animal, pero muy variable entre animales (Atkinsa *et al.*, 2013).

#### **4.6. Foliculogénesis**

La foliculogénesis permite obtener un folículo preovulatorio, a partir de folículos primordiales. Este proceso da inicio en la etapa fetal, generándose por la reserva folículos primordiales, en bovinos es necesario un tiempo más prolongado para que un folículo primordial se convierta en folículo de Graff (Palma, 2001).

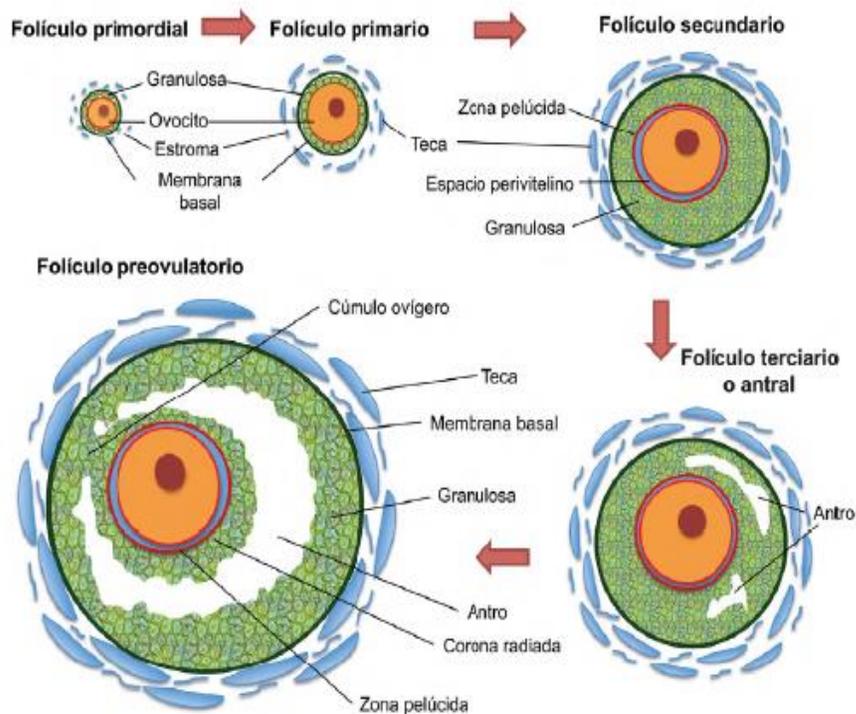
Es un proceso selectivo en el que un solo folículo asume la dominancia, provocando atresia mediada por apoptosis al resto de los folículos. La foliculogénesis ocurre en estado fetal, en animales prepúberes y durante la gestación (Motta *et al.*, 2011).

La hembra bovina nace con un número aproximado de 200 000 folículos, de los que muy pocos se activan e inician su crecimiento, y la mayoría de ellos sufren atresia a lo largo de diferentes etapas de desarrollo.

Al momento del nacimiento, los folículos se encuentran como folículos primordiales, que es la fase más elemental. Después, estos folículos se activan y se transforman en folículos primarios y secundarios, esta etapa es conocida como etapa pre antral, y en esta etapa los folículos no son dependientes de las

gonadotropinas. Al proseguir los folículos a una etapa terciaria, estos entran a la etapa antral, en donde se vuelven dependientes de las gonadotropinas (Machinski *et al.*, 2018).

En la etapa antral, el crecimiento folicular se desarrolla en forma de oleadas, con un patrón de dos a tres oleadas por ciclo y en cada onda folicular los niveles de FSH (hormona folículo estimulante) se elevan, desencadenando el proceso de reclutamiento, a partir de esto un grupo de folículos crece (de cinco a seis folículos). Posteriormente el folículo dominante se vuelve independiente de la hormona FSH, y se hace dependiente de la hormona LH (hormona luteinizante), debido a la presencia de receptores de LH en las células de la teca, se aumentan las concentraciones de estrógenos e inhibina y se observa una disminución en las concentraciones de FSH (Henao y Trujillo, 2000). Se presenta la atresia de los folículos subordinados, debido a que ellos continúan dependientes de la hormona FSH. El folículo dominante con un diámetro en promedio de 8 a 12 mm se mantendrá durante cuatro a seis días, si no llega a ovular, sufre atresia y bajan los niveles de estrógenos e inhibina, los niveles de la hormona FSH se incrementan nuevamente, y una nueva onda folicular comenzara (Cortés, 2016). La duración del proceso de foliculogénesis desde que los ovocitos se encuentran en profase I, hasta que se encuentra un folículo de Graff, tiene una duración aproximada de 60 días, siempre y cuando no presente interrupciones a lo largo del proceso (Muñoz, 2008). Este proceso es esquematizado en la figura 3, en dónde se definen los cambios por los que atraviesa el folículo durante todo el proceso de la foliculogénesis, comenzando como folículo primordial, hasta lograr convertirse en el folículo que va a liberar el ovulo.



**Figura 3.** Representación del proceso de foliculogénesis, en el que se muestran las principales estructuras a lo largo de las diferentes etapas (Boeta *et al.*, 2018).

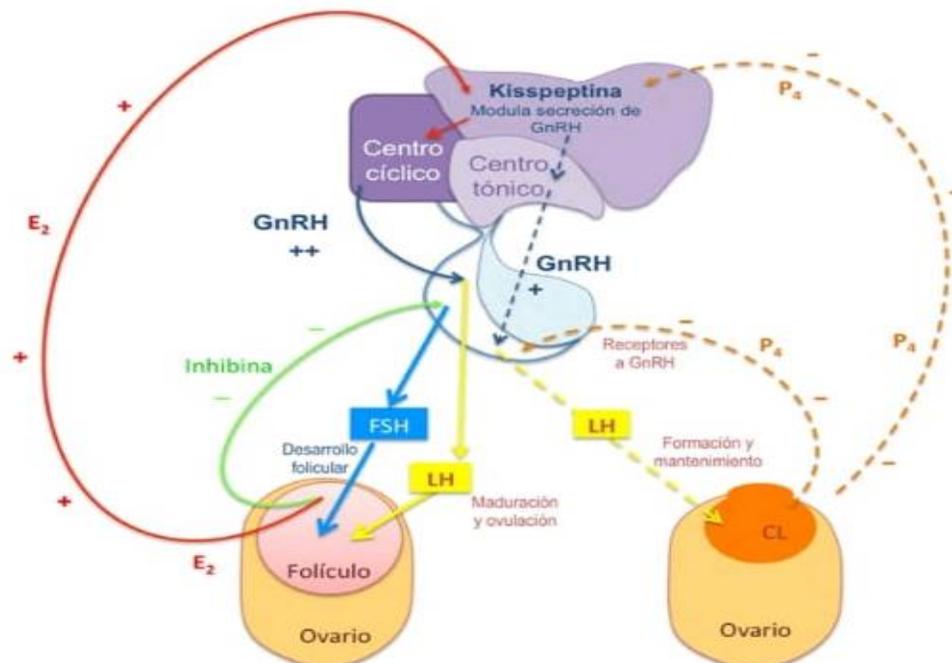
#### 4.7. Endocrinología de la reproducción

La endocrinología es la ciencia que se encarga del estudio de las hormonas y sus efectos. Las hormonas son consideradas como sustancias secretadas hacia la circulación por glándulas especializadas, y que ejercen una función en un órgano blanco (Boeta *et al.*, 2018).

Para llevar a cabo las funciones reproductivas de la vaca, es necesario que un sistema sea el encargado de la regulación de estas funciones. La figura 4 representa como se establecen las comunicaciones endocrinas a través de glándulas específicas, y cómo influyen de manera positiva o negativa en la liberación de otras hormonas, estableciendo el sistema encargado de la regulación de las funciones reproductivas.

El sistema nervioso actúa a través de órganos como el tálamo e hipotálamo, que están ubicados en el diencefalo, encargándose de la producción de neurotransmisores, que se originan en los núcleos de los órganos mencionados. Las hormonas que se encargan de todos los eventos reproductivos, dependen de los núcleos, debido a que regulan la síntesis de dichas hormonas. Las

hormonas son producidas en la hipófisis, se trasladan después hacia los ovarios, en donde generan estímulos para que ahora los ovarios generen hormonas ováricas, creando así un eje que regula las funciones reproductivas, conocido como eje hipotálamo – hipófisis – gónadas (Lenis *et al.*, 2014).



**Figura 4.** Esquema que representa el modelo del eje hipotálamo – hipófisis – gónadas, mostrando las hormonas que secretan, y como ejercen un feed back, positivo o negativo, suprimiendo o estimulando la liberación de otras hormonas (Boeta *et al.*, 2018).

#### 4.7.1. Hormona

Las hormonas son sustancias químicas que son producidas por ciertos tejidos, estas sustancias se distribuyen en todo el organismo a través del torrente sanguíneo, por efecto de distintos estímulos, generando una respuesta en los órganos blanco en donde hace efecto, esta respuesta puede ser de manera, mediata o inmediata (Echeverría, 2004).

Las hormonas dentro de la reproducción se clasifican de tres maneras.

- Según su funcionalidad: son hormonas que se dirigen a cumplir con una función en específico, desencadenando acciones que son controladas por estas hormonas.

- Según su estructura química: dentro de esta clasificación se encuentran otras clasificaciones:
  - Péptidos y proteínas: hormonas que son secretadas por el páncreas y la hipófisis.
  - Esteroides: secretan sustancias las gónadas y la glándula suprarrenal.
  - Derivados de ácidos grasos: ejemplos de hormonas que se secretan son: tromboxanos, prostaciclina, prostaglandinas y leucotrienos.
- Según receptor hormonal: las hormonas que presentan receptores intracelulares son hormonas tipo I, y las que tienen receptores en la superficie de la membrana plasmática son hormonas tipo II (Matamoros y Salinas, 2017).

#### **4.7.2. Hipotálamo**

El hipotálamo se encuentra formado por núcleos que tienen agrupamientos de neuronas especializadas. Estos núcleos son bilaterales, y anatómicamente se encuentran uno a cada lado del tercer ventrículo, que es una cavidad que contiene líquido cefalorraquídeo, y ocupa el centro del hipotálamo. (Galina y Valencia, 2008).

En el hipotálamo, hay un generador de pulsos de la hormona GnRH (hormona liberadora de gonadotropinas), haciendo que sea dependiente de varios factores como lo son: el estado nutricional, la etapa del ciclo estral y la edad del animal. Estos pulsos presentan una secreción, que es conocida como secreción tónica, para que esta secreción sea estimulada, es necesario que la hembra presente un correcto desarrollo folicular (Boeta *et al.*, 2018). El hipotálamo controla los comportamientos corporales, y también el desarrollo de la reproducción (Cortes, 2015).

##### **4.7.2.1. Hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH)**

La GnRH es producida por las neuronas del área ventromedial y del área preóptica del hipotálamo. La secreción de la GnRH es de manera pulsátil o tónica

desde el centro tónico del hipotálamo; y también se secreta de manera preovulatoria (Prieto y Velázquez, 2002).

El sistema porta – hipotálamo – hipofisiario es el medio que utiliza la GnRH para llegar a la pituitaria anterior, controlando la liberación de LH y FSH (Colazo y Mapletoft, 2014). Para la secreción de FSH la hormona GnRH no presenta tanto efecto, de manera que, los gonadotropos de la hipófisis van a llevar a cabo la liberación de FSH de manera constante; y para el caso de la LH, se presenta una relación más unida con la GnRH, en resumen, un pulso de secreción de LH es precedido por un pulso de GnRH, por lo tanto, la secreción de LH es completamente controlada por el hipotálamo (Boeta *et al.*, 2018).

#### **4.7.3. Hipófisis**

Esta estructura se encuentra ubicada en la base del cerebro. La pituitaria o hipófisis se divide en dos regiones distintas hablando fisiológicamente: la pituitaria anterior y posterior. Cada una de las regiones secreta hormonas que dirigen distintos procesos corporales (Cortes 2015).

Anatómicamente la hipófisis se divide en dos: la adenohipófisis y la neurohipófisis. La neurohipófisis se presenta con una involución del cerebro, siendo una continuación del hipotálamo. Se encuentra modificado a modo de que sus terminales nerviosas secreten de manera instantánea, las hormonas a la sangre (Marco y Salvador 2012).

La adenohipófisis tiene un tamaño más grande que la neurohipófisis, presenta células epiteliales secretoras, que se encuentran en forma de racimos. La adenohipófisis es abastecida de sangre por un grupo de vasos sanguíneos portales hipofisiarios, uniéndose con las terminaciones nerviosas del hipotálamo, creando un puente de unión entre ambos, este puente es llamado sistema portahipofisiario, formado por una red de capilares, que permite el paso de sustancias del hipotálamo a la adenohipófisis (Widmaier *et al.*, 2015). Entre las hormonas que secreta se encuentran las gonadotropinas (FSH y LH), que son las de mayor importancia para el desarrollo reproductivo de las hembras (Barb y Kraeling, 2004).

#### **4.7.3.1. Hormona folículo estimulante (FSH)**

Secretada en la adenohipófisis, es la hormona encargada de estimular el crecimiento y desarrollo de los folículos que se encuentran en los ovarios. También lleva a cabo la actividad esteroideogénica, con la producción de  $17\beta$ -estradiol. La función del estradiol, es la que hace que los animales muestren los caracteres sexuales secundarios, y el comportamiento sexual característico del estro o celo (Parvizi, 2000).

#### **4.7.3.2. Hormona luteinizante (LH)**

Esta hormona que es liberada por la adenohipófisis, provoca en los folículos la capacitación de los ovocitos, llevando a cabo también la ovulación y el mantenimiento del cuerpo lúteo, es precedida por un pulso de GnRH, y lleva a cabo su máxima liberación en el proestro del ciclo estral, causando un pico preovulatorio de LH, que induce la ovulación, dejando cavidad a la presencia de un cuerpo lúteo (Hafez y Hafez, 2000).

#### **4.7.4. $17\beta$ Estradiol ( $E_2$ )**

Es una hormona esteroidea, procedente del colesterol; se encarga de incrementar el crecimiento de las células de la granulosa, llevando a cabo también la adaptación de un ambiente propicio para facilitar el transporte espermático, la fecundación y la fijación del embrión al entorno uterino (Franco y Uribe, 2012).

Influye también, dentro del sistema eje hipotálamo-hipófisis-gónadas, al realizar una retroalimentación positiva, causando la liberación de gonadotropinas, provocando los comportamientos de celo, característico en las vacas (Forde *et al.*, 2011).

#### **4.7.5. Progesterona ( $P_4$ )**

La  $P_4$ , liberada por el cuerpo lúteo presente en el ovario, durante la fase luteal del ciclo estral, es la encargada del mantenimiento de la preñez en caso de llevarse a cabo la fecundación. También altera la función ovárica, al causar una

retroalimentación negativa, para la liberación de gonadotropinas, a fin de evitar otra ovulación. Esta hormona reduce su secreción al momento de que el endometrio secreta  $\text{PGF}_{2\alpha}$ , lisando el cuerpo lúteo (Atkinsa *et al.*, 2008).

#### **4.7.6. Prostaglandina ( $\text{PGF}_{2\alpha}$ )**

Secretada por el endometrio del útero, se encarga de la regresión del cuerpo lúteo, causando una luteólisis; se activará al momento de que se dé por terminada una gestación o por término de la actividad del cuerpo lúteo de un ciclo estral disminuyendo los niveles de  $\text{P}_4$  (Echeverría, 2006).

#### **4.8. Pubertad**

El inicio de la pubertad se manifiesta con la primera oportunidad de concebir de una vaquilla y se debe entender como el primer celo ovulatorio seguido de una fase lútea de un ciclo estral normal (Atkinsa *et al.*, 2013). Las vaquillas, al momento de que llegan a la pubertad, la duración del ciclo estral es en promedio de 21 días, con una variación de más menos dos días. Considerando la endocrinología, se considera el momento óptimo del comienzo de la pubertad, cuando la vaquilla concibe su primer pico preovulatorio de LH. Resumiendo, todo aquel acontecimiento que se presente antes del pico preovulatorio de LH se encuentra dentro del periodo prepuberal, y todos aquellos acontecimientos presentados después, pertenecen al periodo puberal (Velázquez *et al.*, 2004).

La pubertad se presenta primero a la madurez sexual, los individuos continuaran con su desarrollo y maduración hasta el punto en el que, reproductivamente hablando, se encuentren aptos para llevar a cabo una gestación. Cuando el animal logra el 60% de su peso corporal adulto este lograra entrar en pubertad (Galina y Valencia, 2008). De esta manera cuando un individuo obtiene un peso adecuado, el sistema endocrino trabaja de una manera acelerada, provocando la llegada de la pubertad y a su vez el desarrollo de una madurez sexual (Grajales *et al.*, 2006). Las hembras de carne que no tienen déficit de alimentación, y cumplen con los requerimientos nutricionales específicos como vitaminas y minerales; logran entrar a la pubertad entre los nueve y 15 meses después de nacidas (Carvajal *et al.*, 2020).

La hipófisis anterior, previo a la pubertad tiene un alto número de gonadotropinas, pero sus concentraciones sanguíneas son bajas, concluyendo que la demora de la pubertad es provocada por una disminución de la hipófisis anterior de secretar las gonadotropinas correspondientes. De manera en que se va acercando la edad de la pubertad, se registra un aumento de la capacidad de respuesta de los órganos blanco, a las gonadotropinas. Pero lo importante es la cantidad de la concentración de las gonadotropinas en sangre (Halac, 2016).

#### **4.1. Teorías de la pubertad**

Existen dos teorías que describen el momento en el que se desarrolla la pubertad.

##### **4.8.1.1. Teoría del gonadostato**

Algunos de los puntos clave que tienen énfasis en la pubertad, muestran que, la producción endocrinológica de hormonas, por parte de la hipófisis y de las gónadas, es semejante en los individuos prepúberes, en comparación con los individuos adultos. Se demostró que animales que aún no llegaban a la pubertad, presentaban oleadas foliculares por parte de los ovarios y respectivamente, secreción de estradiol por parte de los folículos, a pesar de ello, los folículos no lograban una maduración adecuada, para llevar a cabo la ovulación, dando razón a que los pulsos de GnRH y LH, no eran los mismos que en animales adultos. El hipotálamo no tiene el mismo potencial de presentar pulsos elevados de GnRH en animales jóvenes, siendo estimulado por retroalimentación positiva de los estrógenos, más sin embargo, esta teoría cambia conforme el animal llega a la pubertad. Después de un desarrollo del centro endocrinológico, y aumento de los niveles de estradiol, se provoca un pulso elevado de GnRH, que, a su vez, tiene el mismo efecto en LH, provocando la ovulación del folículo dominante, provocando la pubertad en el animal (Galina y Valencia, 2008).

##### **4.8.1.2. Teoría de la maduración central**

Esta teoría, destaca que la maduración de los sistemas nerviosos varía en distintos animales y que tiene gran relevancia en el desarrollo del hipotálamo. Se establece que lo que determina el momento de la inhibición prepuberal que

provoca los pulsos de GnRH es descartada, y no depende de la secreción gonadal. No obstante, los pulsos de GnRH son dependientes, del trabajo de los esteroides. De tal modo que, no se tienen pulsos de GnRH en el periodo prepuberal, debido a la acción de elementos inhibitorios o generadores de los pulsos de GnRH. Todo el mecanismo que lleve a cabo la pubertad en los animales es dependiente de una serie de genes que se expresan en sitios específicos dentro del hipotálamo (Galina y Valencia, 2008).

A partir del nacimiento hasta el momento del periodo prepuberal, el crecimiento y desarrollo de los órganos reproductivos, se llevará a cabo de una manera progresiva, de la mano con el desarrollo general del cuerpo. Cuando comienza a decrecer la tasa general de crecimiento del cuerpo, es cuando el desarrollo de los órganos reproductivos completa su madurez (Padilla, 1978).

Dentro del periodo prepuberal el desarrollo de dinámica folicular se hace presente; pero de manera más reducida, en estas ondas foliculares, el tamaño del folículo dominante puede llegar a ser de hasta 11 mm de diámetro, y tiene una duración de siete días en promedio, demostrando que la falta de madurez sexual, no permite la máxima expresión de las gónadas (Guillermo, 2010).

#### **4.9. Ciclo estral**

El ciclo estral está descrito como el tiempo que existe entre la aparición de un celo hasta el momento en que se presenta otro celo, teniendo un tiempo promedio de  $21 \pm 3$  días (Atuesta y Diaza, 2011) y la duración del celo tiene un promedio de 10 a 18 horas (Lamb *et al.*, 2009). Los bovinos son animales poliéstricos continuos, es decir, tienen ciclos estrales durante todo el año. Este ciclo está mediado por hormonas, principalmente las segregadas por el hipotálamo (GnRH, FSH, LH), los ovarios (folículos:  $E_2$  e inhibina, cuerpo lúteo: P4) y el útero ( $PGF_{2\alpha}$ ) (Colazo y Mapletoft 2014). Estas hormonas forman el eje endocrino hipotálamo-hipófisis-ovarios, y son liberadas en ciclos, de manera pulsátil, y también mediante sistemas de retroalimentación negativa y positiva provocados por las mismas hormonas (Nelson, 2012). El folículo dominante y el cuerpo lúteo, que se presenta después de la ovulación del folículo, son las principales estructuras del

ovario que controlan el ciclo estral a través de la liberación de estradiol y progesterona, respectivamente (Lamb *et al.*, 2009).

El ciclo reproductivo de la vaca consiste en una serie de eventos que se presentan en un orden definido durante un periodo de  $21 \pm 3$  días promedio, y que únicamente puede ser interrumpido durante la gestación o en la presencia de alguna patología. En este lapso el tracto reproductivo se prepara para el periodo de receptividad sexual. Se comienza con el proestro con una duración de dos a tres días, caracterizándose por la disminución en los niveles de progesterona por la luteólisis, continuando con el celo, que tiene una duración promedio de 18 horas y donde la hembra acepta la monta. Consecuentemente se presenta el metaestro en donde ocurre la liberación de óvulos u ovulación. Después de la ovulación se produce la formación del cuerpo lúteo comenzando la etapa del diestro, la cual es la más larga de todo el ciclo. En ausencia de una gestación, el endometrio secreta  $\text{PGF}_{2\alpha}$ , induciendo la luteólisis, reiniciándose nuevamente el ciclo estral (Cortés, 2016).

Las fases del ciclo estral son dos: la fase folicular y la fase lútea, estas fases se diferencian por las estructuras que se presenten en el ovario (Galina y Valencia, 2008).

#### **4.9.1. Fase folicular**

Esta fase comienza en el proestro y es marcada con la regresión del cuerpo lúteo del ciclo que está por concluir y concluye con el comienzo del estro o celo (Rippe, 2009). La lisis del cuerpo lúteo va aunada a una disminución de los niveles de progesterona, causando una disminución en la retroalimentación negativa sobre la liberación de LH en la hipófisis. A nivel sanguíneo las concentraciones de progesterona disminuyen, y de manera inversa, aumentan los pulsos de LH y también la liberación de estradiol folicular. Las células de la teca se unen a LH a través de receptores, produciendo andrógenos, llegando hasta las células de la granulosa, estas células se unen a FSH, aumentando la aromatasa, que transforma los andrógenos en estradiol. Con un aumento en los niveles de

estradiol, este desencadena los comportamientos del celo, comenzando la etapa preovulatoria del ciclo estral (Lamb *et al.*, 2009).

#### **4.9.1.1. Proestro**

Es la etapa que se presenta antes del estro, endocrinológicamente ocurre un descenso en las concentraciones de progesterona, por una regresión del cuerpo lúteo, y el crecimiento de un folículo dominante que ovulara, aumentando los niveles de estrógenos (Atuesta y Diaz, 2011).

#### **4.9.1.2. Estro**

En este punto del ciclo estral, se presenta el celo, y es el momento en el que la hembra acepta la monta, puede ser de otra vaca o de un toro. El celo es estimulado por el aumento de los niveles de estradiol, provocado por el folículo preovulatorio y por no estar presente un cuerpo lúteo. Esta etapa tiene una duración de ocho a 18 horas (Hernández, 2016).

#### **4.9.2. Fase lúteal**

Dentro de esta fase el cuerpo lúteo se encuentra como protagonista en el ovario, llevando a cabo la producción de progesterona. Esta fase dura desde el día cinco hasta el día 18 del ciclo estral. El cuerpo lúteo tiene la mayor captación de flujo sanguíneo por parte del ovario y la cantidad de sangre, se encuentra relacionada con los niveles de progesterona que produce y libera. Entre los días 10 y 18 del ciclo estral, la progesterona tiene sus niveles más altos; por lo tanto, si el animal logra la fecundación, el cuerpo lúteo permanecerá durante toda la gestación, con niveles altos de progesterona, se producirá un efecto negativo en la secreción de hormonas encargadas en provocar el celo. Si la vaca no se preña se produce la regresión del cuerpo lúteo por acción de la  $\text{PGF}_{2\alpha}$ , que es generada por el endometrio del útero, causando una luteólisis, disminuyendo los niveles de progesterona, dándole fin a la fase lúteal y el reinicio de un nuevo ciclo (Rippe, 2009).

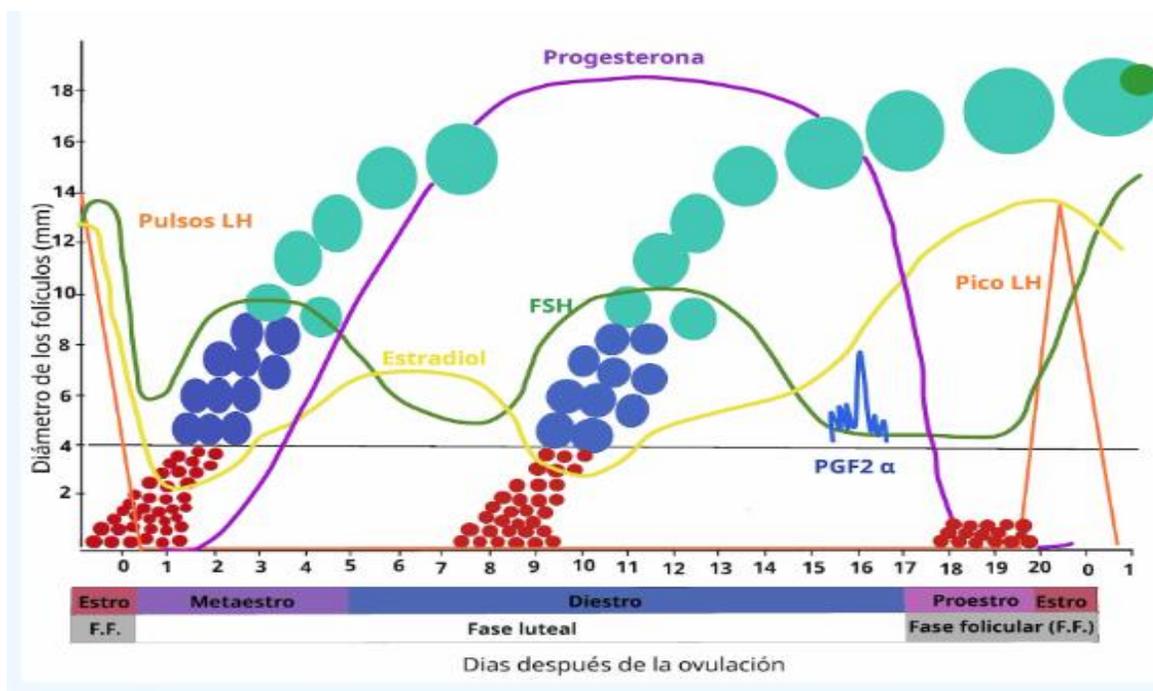
#### **4.9.2.1. Metaestro**

Comienza por el término de la receptividad sexual, y termine con la presencia de un cuerpo lúteo funcional. Disminuyen los niveles de estradiol, y aumentan los de FSH, estimulando los folículos de la primera onda folicular. Una característica de esta etapa es la presencia de sangre en la vulva de la vaca, relacionándose con el momento de la ovulación y la nula liberación de estrógenos. Teniendo una duración de dos a tres días (Galina y Valencia, 2008).

#### **4.9.2.2. Diestro**

Aquí el dominio del cuerpo lúteo es la característica principal y es la etapa de mayor duración de todo el ciclo estral con un tiempo de aproximadamente 15 días, la progesterona es la hormona que predomina, siendo secretada por el cuerpo lúteo. Si el ovocito liberado, es fertilizado, el cuerpo lúteo se encargará de mantener la preñez del animal., de modo contrario el cuerpo lúteo comenzará un proceso de regresión aproximadamente a los 17 días después del estro, disminuyendo las concentraciones plasmáticas de P4 y esperando la maduración del folículo que reiniciará el ciclo (do Valle, 1991).

En la figura 5 el ciclo estral se encuentra representado, simplificando los 21 días en promedio que tiene de duración. Denotando la influencia hormonal a lo largo del ciclo, y también la presencia en días específicos de las emergencias foliculares, que marcaran el próximo folículo que va a ovular, y el momento de la atresia, de los folículos que no fueron seleccionados.



**Figura 5.** Imagen que esquematiza todos los procesos que se desarrollan a lo largo de un ciclo estral, recalcando la división de las dos fases, como influyen las hormonas a lo largo del ciclo, y la emergencia folicular, denotando un ciclo de dos ondas foliculares (Galina y Valencia, 2008).

#### 4.10. Anatomía y fisiología del folículo

Los folículos son la unidad fundamental del ovario y son los que determinan los procesos reproductivos y las fases del ciclo estral. El folículo protege al ovocito por medio de células epiteliales pregranulosas o granulosas. Los ovocitos completan su desarrollo dentro de los folículos, ya que se encuentran maduros, son liberados a través de la ovulación. Las funciones básicas del folículo son: la producción de hormonas y de ovocitos aptos para ser fecundados. Estas funciones son llevadas a cabo por los folículos antrales, estos tienen una pared interna de células de la granulosa delimitadas por una lámina basal, que separa las células granulosas de los tejidos de origen mesenquimatoso y que afectan la migración celular, la proliferación y la diferenciación de las células que se encuentran junto a ella (Filipiak *et al.*, 2016).

#### 4.11. Clasificación folicular

Los folículos presentan distintas etapas a lo largo del ciclo estral de manera generalizada se presentan tres clasificaciones que han sido utilizadas internacionalmente y que permiten un mejor entendimiento de la lectura de los folículos durante la dinámica folicular (Filipiak *et al.*, 2016).

Folículos primordiales: de anatomía ovalada, constituidos por un ovocito, atenuado en la fase de diploteno de la profase I de la meiosis, teniendo en su perímetro una capa de células epiteliales foliculares pregranulosas con una cantidad aproximada de 5 células. El ovocito tiene un diámetro aproximado de 30  $\mu\text{m}$ , y el folículo un diámetro de 40  $\mu\text{m}$  (Fortune, 2003).

Folículos primarios: tienen un ovocito con células pregranulosas en el área perimetral, presenta la característica de folículo multilaminar en donde las células de la granulosa forman varias capas en el ovocito, en este punto, el folículo presenta un diámetro máximo de 80  $\mu\text{m}$  (Hirshfield, 1991).

Folículos secundarios: las capas de células de la granulosa, se rodean de células de la teca, las primeras células secretan un líquido denominado licor folicular, provocando espacios que se unen para formar el antro folicular, de igual manera, secretan mucopolisacáridos que darán lugar a la zona pelúcida en el exterior del ovocito, aquí es donde el folículo aumenta drásticamente su diámetro, alcanzando los 250  $\mu\text{m}$  (Fortune, 1994).

Folículo antral: se demarca un crecimiento notable en el antro folicular, que permitirá la caracterización de un folículo preovulatorio también llamado, folículo de Graaf. En folículos de diámetro de 0,2-0,4 mm ocurre la formación del antro folicular. Una medida estándar del diámetro del folículo preovulatorio en bovinos, es de, 15 mm. La formación de las tecas se da, por la cantidad elevada de células de la granulosa, que es controlada por una organización del estroma conjuntivo (Palma, 2001).

#### **4.12. Ovulación**

El folículo dominante que se presenta cuando un cuerpo lúteo está en regresión, sigue y completa su maduración produciendo niveles de estrógenos suficientes para provocar una liberación excesiva de GnRH, produciendo el pico preovulatorio de LH. Esta secreción de LH desencadena la ovulación 30 horas después del pico preovulatorio de LH, e inicia los cambios para que el folículo cambie a un cuerpo lúteo, en un proceso llamado luteinización.

#### **4.13. Luteogénesis**

Este proceso tiene inicio al momento del pico preovulatorio de LH, momentos antes de la ovulación, la LH provoca la liberación de enzimas proteolíticas y de mediadores de la inflamación en la pared folicular, degradando el tejido conectivo y provocando apoptosis. Interviene también la hormona  $\text{PGF}_{2\alpha}$ , saliendo de la teca externa induciendo contracciones, provocando la ruptura folicular y posterior expulsión del ovocito. Después de la ovulación, las células de la teca interna y de la granulosa se distribuyen en las paredes del folículo (Echeverría, 2006).

La membrana basal que separa la capa de células de la granulosa de la teca interna se rompe; las células de la teca interna se multiplican en células lúteas chicas, mientras que las células de la granulosa dan origen a las células lúteas grandes. Simultáneamente comienza la formación de una red de capilares que se distribuyen en todo el cuerpo lúteo.

En esta etapa continúan produciéndose ondas foliculares, incluso con los niveles de progesterona elevados, aunque, los folículos dominantes formados a partir de estas ondas foliculares sufren una regresión, debido a que la progesterona se encuentra estableciendo un *feed-back* negativo del hipotálamo, bloqueando el pico de LH requerido para que ocurra la ovulación (Cortés, 2016).

#### **4.14. Dinámica folicular**

Tiempos anteriores a la introducción de la ecografía, en la reproducción bovina (década de los 80), existía la teoría de que, a lo largo del ciclo estral de la vaca, se presentaban dos ondas foliculares, que marcaban el crecimiento del folículo

que llegara a ovular. Se afirma que los folículos se encuentran en reclutamiento de manera constante durante todo el ciclo estral, y que el folículo dominante, es seleccionado por su etapa de madurez y un aumento preovulatorio de gonadotropinas (Adams *et al.*, 2008).

Desde comienzos de la década de los 90 comenzó a circular en la literatura internacional un número creciente de publicaciones que indicaban que en el ganado bovino ocurrían varias ondas de desarrollo folicular durante el ciclo estral, una de las cuales coincidía con la caída de los niveles de progesterona del diestro y culminaba con la ovulación del folículo dominante seleccionado en dicha onda (Kastelic, 1994).

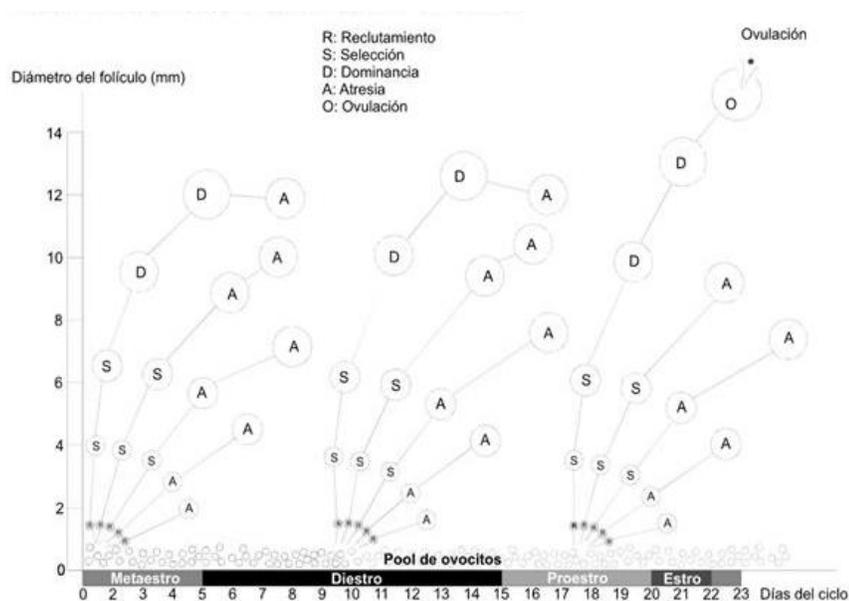
El análisis de la dinámica folicular proyecta, ampliar el conocimiento de las bases que fundamentan los momentos fisiológicos que llevan a cabo la generación de óvulos, la secreción de hormonas por parte del ovario y la correlación que existe entre endocrinología, y el comportamiento reproductivo de los animales (Guillermo, 2010).

Las ondas foliculares presentan la particularidad, que dentro de dos a tres días se presenta un crecimiento repentino de folículos, con un diámetro promedio de 1 a 4 mm. Alrededor de dos días, el crecimiento folicular va a ser similar entre toda la cohorte, después se procede a seleccionar un folículo que continuará con su crecimiento hasta ser el folículo dominante, causando atresia a los folículos restantes y convirtiéndolos en folículos subordinados (Adams *et al.*, 2012).

Los folículos presentan tres fases durante la dinámica folicular. En la figura 6 se representan las etapas de la dinámica folicular en un ciclo de tres ondas.

- Reclutamiento: Un grupo simultaneo de folículos pequeños, dan comienzo al término de su maduración, creando receptores específicos para ciertas hormonas, que permitan su desarrollo, a fin de que alguno de ellos complete la ovulación.
- Selección: Un folículo del primer grupo reclutado, presenta mayor cantidad de receptores a la hormona que permite su desarrollo y maduración, teniendo el potencial para ovular, y causando la atresia del resto de folículos que no fueron seleccionados.

- Dominancia: El folículo seleccionado presenta una dominancia que le permite evitar el desarrollo de otros folículos y espera la ovulación (Ginther *et al.*, 1996).



**Figura 6.** Esquemización de la dinámica folicular en bovinos en un ciclo de tres ondas, denotando las tres etapas principales de la dinámica folicular: reclutamiento, selección y dominancia (Filipiak *et al.*, 2016).

Para determinar el inicio de una onda de crecimiento folicular se debe detectar el crecimiento de un gran número de folículos simultáneamente, para posteriormente seleccionar un folículo dominante, provocando la regresión y atresia de los folículos restantes o subordinados. Si el cuerpo lúteo no es lisado por la  $PGF_{2\alpha}$ , el folículo dominante se atresia y da inicio una nueva onda de crecimiento folicular (Bó y Gaccia, 2000).

El desarrollo de un grupo de folículos (entre 8 a 41 folículos) se hace presente de dos a tres veces a lo largo de un ciclo estral, estos grupos son conocidos como ondas foliculares. Durante esta onda folicular el folículo más grande crece durante la onda folicular y es considerado como el folículo dominante, al contrario, el resto de folículos son considerados como folículos subordinados y al no tener desarrollo entran en atresia (Miura, 2019).

El desarrollo y maduración de los folículos ocurre en forma de oleadas a lo largo del ciclo estral, como primera instancia del desarrollo se presenta el reclutamiento de folículos, la cual empieza con la agrupación de una cantidad de folículos

primarios de varios ciclos atrás, con un diámetro entre 4 a 5 mm, de este grupo de folículos, denotan aproximadamente dos o tres que pasan a la siguiente etapa, que es la selección, con un diámetro de ocho mm, estos folículos seleccionados, causan la atresia del resto de folículos que no continuaron con su desarrollo. Se continúa con la fase de dominancia en donde uno de los folículos anteriores alcanza su diámetro preovulatorio de 18-22 mm en ganado de leche y de 14-18 mm e incluso 10 mm en ganado de carne (Rhodes *et al.*, 1995). Este folículo se mantiene activo durante varios días hasta un punto en el cual empieza la fase de degeneración y ovula, provocado por los descensos de las concentraciones plasmáticas de P4 y un pico preovulatorio de LH (Anderson y Day, 1994).

#### **4.15. Ciclo de dos ondas foliculares**

En un ciclo de dos ondas foliculares, la primera agrupación de folículos se denota desde el momento de la ovulación, el folículo dominante se presenta en los días tres o cuatro del ciclo, continúa su crecimiento hasta el día seis y permanece estable hasta el día 11, después se atresia.

La última onda folicular comienza alrededor del día 10 del ciclo y su folículo dominante se mantiene hasta lograr ovular (Kastelic, 1994).

#### **4.14.2. Ciclo de tres ondas foliculares**

En un ciclo de tres ondas foliculares, el primer agrupamiento de folículos, presenta similitud a la de un ciclo de 2 ondas, el segundo agrupamiento de folículos se puede evidenciar el día 9 del ciclo, el folículo dominante de la segunda onda, se mantiene constante hasta el día 16 cuando inicia su regresión y se hace evidente la tercera onda, en la cual, el folículo dominante se presenta dos días después y se convierte en el folículo preovulatorio, el desarrollo del folículo dominante de la tercera onda hace sincronía con la caída de las concentraciones plasmáticas de progesterona (Lucy *et al.*, 1992).

#### **4.15. Nutrición**

El desempeño reproductivo de las hembras está influenciado por la nutrición, que afecta directamente aspectos fisiológicos que permiten el óptimo desempeño de

los animales “la cantidad de alimento ingerido y la fuente de energía afectan las variables del ciclo estral, como duración, patrones de ondas foliculares, tamaño de las estructuras ováricas y concentraciones circulantes de hormonas esteroideas”. Nutrientes energéticos y minerales como selenio, cobalto, fósforo, hierro, cobre y yodo, presentan una estrecha relación directa con el sistema reproductor, niveles bajos de algunos de estos nutrientes energéticos afectan las concentraciones hormonales que intervienen en el ciclo estral (Marizancén y Artunduaga, 2017).

La influencia de la nutrición sobre los órganos reproductivos puede establecerse de manera directa o ser regulada por una acción sobre las glándulas endocrinas y el sistema nervioso central. Los efectos de la nutrición sobre el desarrollo de la pubertad, es causado, por un bajo nivel nutricional general, entre lo que destaca; la deficiencia de energía, deficiencia de proteínas, minerales y vitaminas, pueden ausentarse alguno de ellos, o en grupo, causando destiempo en la edad a la pubertad y el desarrollo de las gónadas sexuales (Halac, 2016).

#### **4.16. Ultrasonografía**

La ultrasonografía es una herramienta de imagenología, no invasiva, que se maneja a través de ondas con una frecuencia establecida que permite observar tejidos internos, esquematizados mediante imágenes en distintos tonos de gris, blanco y negro (Corredor y Páez, 2012).

A través de la ultrasonografía se puede determinar una gestación temprana, visualización de órganos reproductivos como: útero, cérvix, ovarios, pudiendo realizar hallazgos patológicos o de malformación que a simple palpación no pueden ser detectados (Des-Côteaux *et al.*, 2009).

En las últimas décadas el uso del ultrasonido ha tomado relevancia en los estudios del crecimiento y regresión de las estructuras ováricas. Esta información permite comprender las particularidades de la fisiología reproductiva, para tener un mayor desempeño reproductivo de los animales (Borges *et al.*, 2001).

Los tonos que se visualizan negros en el ultrasonido, representan tejidos que no reflejan ondas de sonido y son conocidas como imágenes anecogénicas.

En cambio, los tejidos que logran un retorno del sonido a través de imágenes, estas se notaran de color blanco, son conocidas como imágenes hiperecogénicas y representan a los tejidos densos (Corredor y Páez, 2012).

#### **4.16.1. Principio de la Ultrasonografía**

El efecto piezoeléctrico es la razón que permite la aplicación de la ultrasonografía dentro de la medicina. El principio de este efecto se basa en que, cuando un pulso eléctrico alcanza los cristales piezoeléctricos estos emiten un sonido en su frecuencia natural. Al contrario, si un cristal vibra cuando es alcanzado por el retorno de un eco, se produce un pulso eléctrico (Bó y Caccia, 1998).

Para el entendimiento de este efecto en la ultrasonografía médica, un pulso de una energía eléctrica provoca la vibración de cristales piezoeléctricos especiales que se encuentran ubicados en el transductor de un ultrasonido, estos a su vez crean ondas de sonido de alta frecuencia de 3.5-12 MHz dependiendo del tipo de transductor (Quintela *et al.*, 2006). Estas ondas de sonido hacen contacto en una porción de tejido, al momento de hacer contacto con el tejido, regresan al transductor y reflejan una imagen bidimensional de este tejido. Las ondas de sonido que emite el transductor del ecógrafo son dirigidas a través de los tejidos que desean visualizarse, a través de la colocación del transductor sobre el tejido, creando movimientos que permita la observación del tejido sobre el que se está haciendo contacto (Kastelic *et al.*, 1992). Las características del tejido dictan la capacidad del sonido en retornar hacia el transductor y convertir el sonido recibido en pulsos eléctricos que son exhibidos como ecos en la pantalla del ultrasonido. Estos ecos son exhibidos en varias tonalidades de grises (Pierson *et al.*, 1987). Y las tonalidades de grises tienen una definición específica: Anecogénicos o anecoicos: representados como imágenes negras, por lo general, son líquidos, que no permiten el retorno de las ondas de sonido, hacia el transductor como ejemplo se encuentran las vesículas embrionarias y los folículos. Hiperecogénicos: órganos o tejidos que denotan una mayor densidad, y se reflejan en la pantalla tonos de color blanco, y gris claro, como ejemplo son los huesos y el cérvix. Hipogénicos: órganos o tejidos con una menor capacidad

de regresión de las ondas de sonido, como ejemplo el cuerpo lúteo con una coloración gris ligera (Lizarazo y Sandoval, 2014).

#### **4.16.2. Equipamiento**

El ultrasonido se compone de una consola que contiene la electrónica, controles y una pantalla que refleja imágenes en distintos tonos de grises. Está añadido de un transductor, que emite y recibe ondas de sonido que pueden variar en frecuencia dependiendo el tipo de transductor y lo que se desee visualizar (Kastelic *et al.*, 1992). Los transductores pueden ser de dos tipos: lineales o sectoriales, los lineales están equipados de una matriz de cristales piezoeléctricos que se encuentran en forma ventral en una fila, utilizados de manera transrectal principalmente para la observación del aparato reproductor en hembras, y en los transductores sectoriales la matriz de cristales está ubicada al frente del transductor pudiendo utilizarlo de manera transabdominal o transvaginal (Pierson *et al.*, 1987). Los cristales presentes en el transductor, emiten ondas de sonido que varían en frecuencia. El rango de frecuencias en los transductores es de 3,5 a 12 MHz. La frecuencia de 5 y 7.5 MHz es la que permite mostrar una mejor imagen del aparato reproductor en bovinos (Larson, 1987). Las frecuencias de 3.5, 5.0 y 7.5 MHz permiten el óptimo desarrollo de trabajos de producción y reproducción en los animales (Bó y Caccia, 1998). La frecuencia con la que los transductores emiten las ondas de sonido, permite determinar el grado de penetración de la onda, al mismo tiempo que la calidad de la imagen, estableciendo que; a mayor frecuencia, menor cantidad de profundidad, pero mejor calidad de la imagen. Como ejemplo, la visualización de un folículo de cinco a 15 mm o una vesícula embrionaria de 25 mm son escaneados con un transductor de una frecuencia de 5.0 o 7.5 MHz. Al contrario, transductores que emiten ondas de frecuencia igual o menor a 3.5 MHz tienen una mayor penetración de tejido, pero una menor calidad de la imagen estas frecuencias están diseñadas para la observación de estructuras u órganos que se encuentren lejos del transductor (Bó y Caccia, 1998).

## **5. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **5.1. Manejo general de los animales**

El manejo de las unidades experimentales utilizadas en este estudio fue en estricto apego con los lineamientos para el uso ético, cuidado y bienestar de animales en investigación a nivel internacional (FASS, 2010) y nivel nacional (NAM, 2002).

### **5.2. Localización del área de estudio y condiciones climáticas**

El estudio se realizó en México, en el Criadero Militar de Ganado, Santa Gertrudis, Chihuahua, ubicado geográficamente a 27°46'39.1"N 105°43'43.2" W (INEGI, 2020) perteneciente a la Secretaría de la Defensa Nacional.

La región presenta una temperatura media entre los 16–20 °C, y una precipitación media anual de 200–400 mm. El clima que predomina es un clima muy seco semicálido con un 60.8%, seco semicálido con un 36.8% y seco templado con un 2.4% (INEGI, 2010).

### **5.3. Animales experimentales**

Para definir la caracterización del ciclo estral se utilizaron tres vacas productoras de carne de la raza Wagyu, a las que se les realizó una medición del diámetro folicular y del cuerpo lúteo, durante un ciclo estral completo.

Las vacas tenían una edad promedio de 36±2 meses, con un peso promedio de 365±20 kg; se realizó un manejo sanitario previo al estudio realizado, con la aplicación parenteral de vitaminas, vacunas para las principales enfermedades bacterianas, virales y reproductivas de la región, y desparasitante. Los animales se encontraban bajo un sistema de semipastoreo, al momento de comenzar las mediciones permanecieron estabulados y su alimentación fue en base a los requerimientos nutricionales de acuerdo con el NRC (2000).

El trabajo se realizó durante el periodo de mayo-julio 2022, previo a la revisión ultrasonográfica se realizó un examen ginecológico evaluando el estado reproductivo de la hembra.

#### **5.4. Diseño experimental**

A las vacas se les aplicó 150 µg de Inducel-Active, del laboratorio Virbac, a fin de sincronizar el inicio de las mediciones con un estro base. La evaluación ultrasonográfica inició al momento de la presencia del estro y las evaluaciones se realizaron durante un ciclo estral completo hasta la ovulación del folículo preovulatorio del ciclo estral.

Las mediciones ecográficas se realizaron vía transrectal, utilizando un dispositivo portátil marca ExaGo® acoplado a un transductor lineal con una frecuencia de 7.5 MHz, de uso veterinario. La técnica utilizada para la visualización del ovario se basó en los métodos utilizados por Ginther (1995; 1998).

#### **5.5. Variables evaluadas**

Se determinaron las diferentes estructuras ováricas presentes al día de la evaluación, las cuales se registraban en un esquema que representa al ovario, anotando cantidad y medida de los folículos que se encontraban en cada ovario. Se analizaron un total de 124 imágenes correspondientes a las evaluaciones de las tres vacas, donde los folículos se clasificaron de acuerdo con Bó *et al.* (1994).

Variables evaluadas:

- Dinámica folicular por el número de ondas presentes en el ciclo estral. Esto mediante el monitoreo del crecimiento folicular diario.
- Determinación diaria del crecimiento del folículo dominante por oleada folicular. Esto mediante el seguimiento del folículo mayor de 8 mm.
- Determinación de la atresia del folículo dominante mayor de 10 mm.
- Determinar el tamaño del folículo preovulatorio.

#### **5.6. Análisis estadísticos**

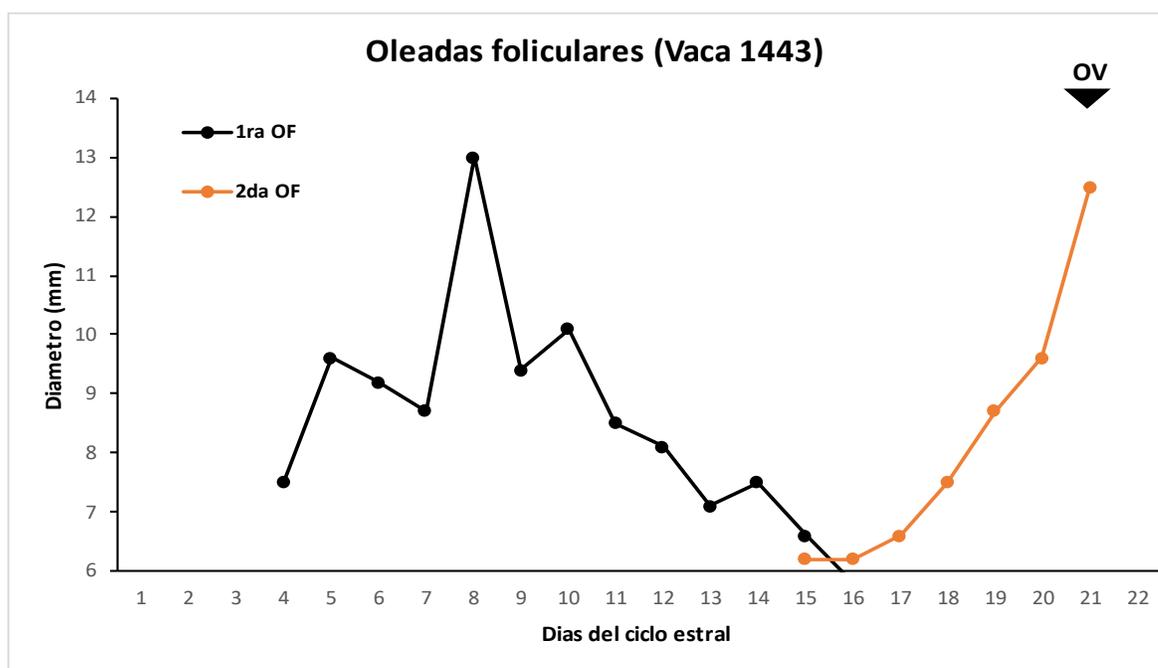
Los datos fueron analizados previamente con una prueba de “Shapiro test” para determinar la normalidad y una prueba de “Bartlett test” para determinar homogeneidad de varianzas. Para evaluar el crecimiento del folículo de mayor diámetro y la atresia del folículo de mayor diámetro se realizaron mediante una prueba de ANOVA de dos vías y posteriormente se realizó una prueba de

contraste "Tukey". Se considero una diferencia estadística a  $p < 0.05$ . Todos los procedimientos fueron realizados con el programa R Studio versión 4.0.5.

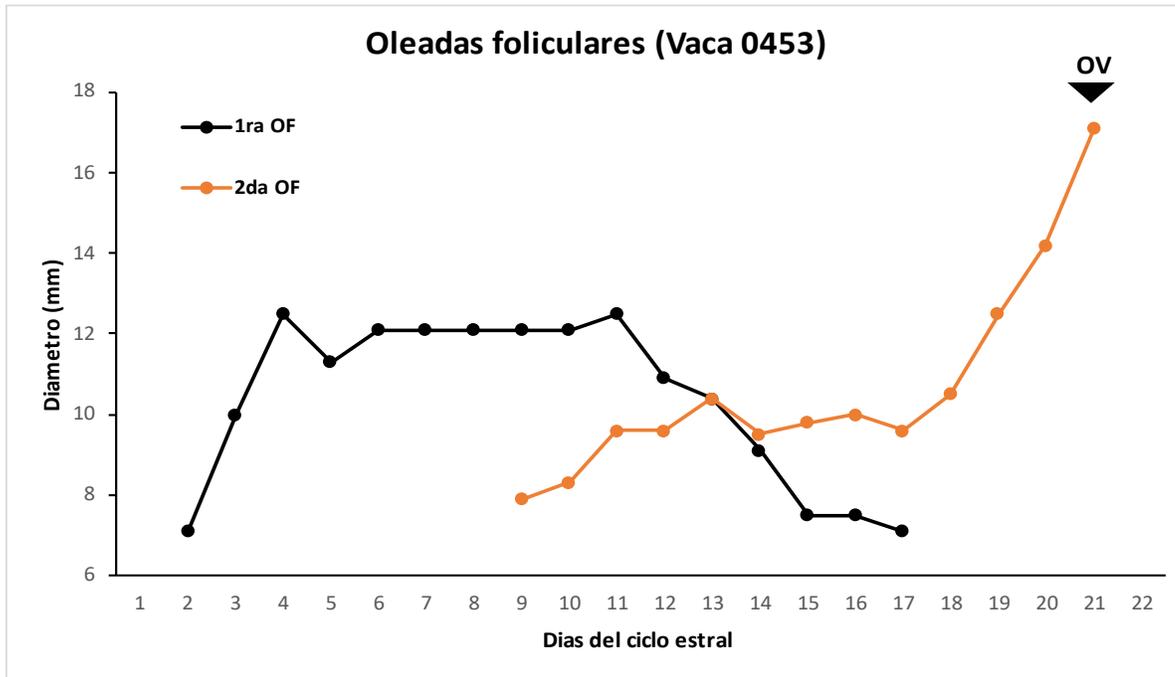
## 6. RESULTADOS

### *Seguimiento y determinación de las oleadas foliculares*

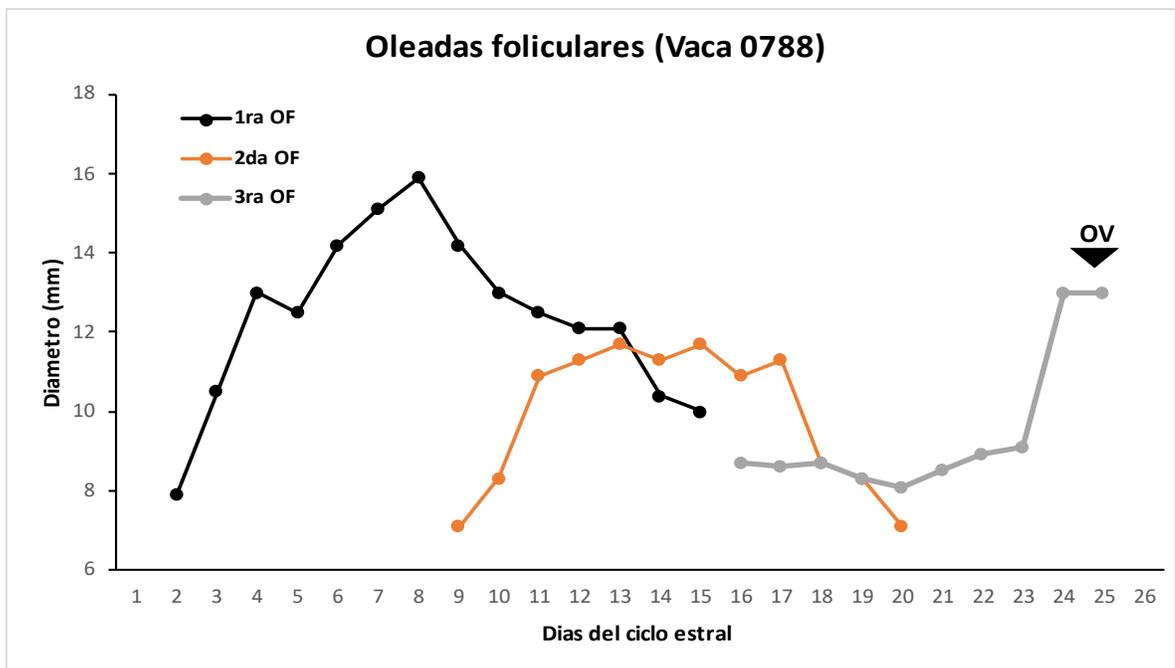
En la figura 7, se muestra el seguimiento de las oleadas foliculares donde se pudo determinar dos oleadas foliculares donde la segunda oleada emerge después del día 17 del ciclo estral. En la figura 8, se aprecia dos oleadas foliculares donde el folículo dominante alcanzó su mayor diámetro al día 11 del ciclo estral y la emergencia de la segunda oleada fue al día 12 del ciclo. En promedio estas dos hembras mostraron un ciclo estral de 21 días. Finalmente, la figura 9, muestra que esta hembra presentó tres oleadas foliculares, donde el mayor tamaño de los folículos dominantes fue a los días 7, 15 y 24. Este hembra mostró un ciclo estral de 25 días. El inicio del crecimiento del folículo dominante > mm en la 1ra OF se presentó en dos vacas después de las 48 h mientras en una fue hasta 72 h ( $p < 0.05$ ).



**Figura 7.** Seguimiento de las oleadas foliculares por medio de los folículos dominantes (>12 mm) en vacas Wagyu durante un ciclo estral. Donde 1ra OF = primera oleada folicular; 2da OF = segunda oleada folicular. OV = momento de la ovulación.



**Figura 8.** Seguimiento de las oleadas foliculares por medio de los folículos dominantes (>12 mm) en vacas Wagyu durante un ciclo estral. Donde 1ra OF = primera oleada folicular; 2da OF = segunda oleada folicular. OV = momento de la ovulación.



**Figura 9.** Seguimiento de las oleadas foliculares por medio de los folículos dominantes (>12 mm) en vacas Wagyu durante un ciclo estral. Donde 1ra OF = primera oleada folicular; 2da OF = segunda oleada folicular. 3ra OF = tercera oleada folicular. OV = momento de la ovulación.

***Crecimiento folicular después del inicio del estro.***

Para las vacas monitoreadas el crecimiento promedio se muestra en el cuadro 1. Pudimos observar que el promedio general de crecimiento fue de aproximadamente 1.0 mm diario para la primera OF y de 0.91 mm para la 2 OF. Mostraron un promedio el tamaño del folículo preovulatorio (FPO) de 14.2 mm.

**Cuadro 1.** Promedio de crecimiento diario de los folículos grandes en las distintas oleadas foliculares (Crecimiento de folículo de mayor diámetro > 7mm).

<b>ID</b>	<b>1ra OF</b>	<b>2da OF</b>	<b>3ra OF</b>	<b>Tamaño FPO</b>
1443	13.7±1.02 <sup>a</sup>	8.5±0.42 <sup>a</sup>	-	12.5
0453	6.0±0.42 <sup>b</sup>	7.6±0.30 <sup>a*</sup>	-	17.1
4788	1.33±0.48 <sup>a</sup>	1.15±0.51 <sup>a</sup>	6.2±0.55	13
Promedio (mm)	10.8	9.1	-	14.2

Donde: 1ra OF (primera oleada folicular), 2da OF (segunda oleada folicular), 3ra OF (tercera oleada folicular), FPO (folículo preovulatorio). a, b = diferencia estadística  $p < 0.05$ . \* = tendencia estadística ( $p < 0.06$ )

Mientras en el cuadro 2, se muestra la atresia del folículo de mayor diámetro. No existió diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) en el promedio diario de atresia folicular del folículo de mayor diámetro siendo de 8.8 mm de decremento diario después de producirse el recambio folicular.

**Cuadro 2.** Promedio de atresia diaria del folículo dominante después de producirse el recambio folicular (atresia del folículo de mayor diámetro > 13 mm).

<b>ID</b>	<b>1ra OF</b>	<b>2da OF</b>
1443	9.0±0.46 <sup>a</sup>	-
453	9.0±0.28 <sup>a</sup>	-
788	8.4±0.25 <sup>a</sup>	9.2±0.49
Promedio (mm)	8.8	-

Donde: 1ra OF (primera oleada folicular), 2da OF (segunda oleada folicular), 3ra OF (tercera oleada folicular). <sup>a, b</sup> = diferencia estadística  $p < 0.05$ .

## 7. DISCUSIÓN

### **Seguimiento y determinación de las oleadas foliculares.**

En cuanto a la variable del seguimiento y determinación de las oleadas foliculares, se observó que se presentaron de dos a tres oleadas foliculares. Las hembras que presentaron dos oleadas foliculares mostraron un ciclo estral de 21 días. Con respecto a la hembra que presentó tres oleadas foliculares el ciclo estral fue de 25 días. En este sentido, Rajakoski (1960), fue el primero en sugerir que el ciclo estral de hembra bovina comprende de dos oleadas foliculares con una duración de 21 días en promedio. Esto también concuerda con lo descrito por Adams *et al.* (2012), quien encontró resultados similares a este estudio. En cuanto a la hembra que presentó un ciclo estral mayor de 24 días, esto puede deberse a una fase lútea de mayor duración en comparación de un ciclo con dos oleadas foliculares y una fase lútea más corta (Maldonado *et al.*,1997). En la hembra Wagyu con un ciclo estral con tres oleadas foliculares, la emergencia de las oleadas foliculares ocurrió en los días 2, 9 y 16 postestro. Este resultado es muy similar a los reportados por Bó *et al.* (1995), en ganado *Bos taurus* y *Bos indicus*. La emergencia folicular no es más que el reclutamiento de nuevos folículos de las reservas ováricas que tiene una hembra. Una oleada folicular implica el crecimiento armónico y simultáneo de un grupo de folículos antrales de un pequeño diámetro (2 a 7 mm).

En el caso de las vacas con dos oleadas foliculares de este estudio, se pudo observar folículos > 7 mm a partir de las 48h postestro. En este sentido Kastelic (1994), menciona que, en un ciclo de dos ondas foliculares, la fase de reclutamiento de folículos, empieza a diferenciarse el día posterior de la ovulación, el folículo dominante se observa hacia los días 3 o 4 del ciclo estral. Así mismo en el caso de la hembra Wagyu que presentó tres oleadas foliculares, se observó un patrón similar a partir de las 48h postestro lo que concuerda con Lucy *et al.* (1992).

En este estudio el primer folículo dominante, fue detectado en promedio a los cuatro días del ciclo estral y alcanzo un diámetro máximo de 13-16 mm hasta los

8–10 días del ciclo estral. Estos resultados son similares a los demostrados por Palma (2001), en cuanto al diámetro, pero en cuanto a los días fue diferente, ya que el demostró que la atresia se llevó a cabo en los días 6 y 7 del ciclo estral. El segundo folículo dominante en las vacas que tuvieron dos oleadas foliculares se detectó en el día 11 postestro y este terminó en ovulación a los 21 días del ciclo con un diámetro promedio de 13 y 17 mm. En la hembra que presentó 3 oleadas foliculares, el tercer folículo dominante se presentó en el día 19 postestro y la ovulación se presentó en el día 25 del ciclo estral, con un diámetro de 14 mm. Estos resultados son novedosos en cuanto a la raza Wagyu, ya que en la literatura muestra que la ovulación del folículo dominante, se da cuando este tiene un diámetro mayor de >18 mm en ganado de carne y leche (Rhodes *et al.*, 1995). Posiblemente esto se deba a que durante la fase media lútea, la velocidad de crecimiento disminuye debido al *feed-back* negativo de la progesterona (P4) sobre las gonadotropinas. Lo cual quizá sea mayor a la dificultad para estimular el crecimiento del folículo preovulatorio por un corto tiempo cuando la P4 se encuentra en niveles bajos lo que permite la liberación del pico de LH para lograrse la ovulación (Palma, 2001).

El comienzo de una onda de crecimiento folicular, se puede definir como el crecimiento de un gran número de folículos al mismo tiempo, seguido por la posterior selección de un folículo dominante, la regresión y atresia de los folículos más pequeños o subordinados (Bó y Caccia, 2000). En cuanto a la dinámica folicular, en este estudio se observó una etapa de reclutamiento a las 48 h postestro, con un diámetro de folículos <7 mm, la etapa de selección (>8 mm) se observó a los tres días post-estro, y la etapa de dominancia fue a los ocho días post-estro con un diámetro folicular > 10 mm. El folículo preovulatorio se presentó pasados los 18 días post-estro, con un diámetro promedio de 14 mm. En este sentido, en la literatura se menciona que la dominancia folicular continúa una fase de crecimiento del folículo dominante hasta que alcanza su diámetro preovulatorio de 18-22 mm en ganado de leche y de 14-18 mm e incluso 10 mm en ganado de carne (Rhodes *et al.*, 1995). El inicio de la etapa de reclutamiento es orquestado por la secreción de FSH en circulación sanguínea y

posteriormente para el desarrollo del folículo dominante es dependiente de LH (Bó y Mapletoft, 2020; Bó *et al.*, 2003).

Un dato interesante fue que el crecimiento diario del folículo dominante, en promedio de 10 mm y la atresia del folículo dominantes después del recambio folicular fue de ocho mm en vacas Wagyu. Estos resultados muestran que el folículo preovulatorio presenta un diámetro menor cuando este termina en ovulación. Como se mencionó anteriormente, esto posiblemente se debe al tiempo prolongado de P4 durante la fase lútea (Bó *et al.*, 2003). Por lo tanto, el folículo dominante debe ejercer un efecto inhibitorio (inhibina) sobre el reclutamiento de una nueva onda folicular y además debe adquirir la capacidad de continuar su desarrollo en un medio hormonal adverso para el resto de los folículos (Palma, 2001). En resumen, los resultados muestran que las hembras presentaron dos y tres oleadas foliculares. Estos resultados son similares a los de otros autores que caracterizaron la dinámica folicular en diferentes razas de bovinos. Sin embargo, la presencia de la ovulación se encontró una diferencia en cuanto al tiempo en las vacas con tres oleadas foliculares .

## **8. CONCLUSIÓN**

Los resultados de esta investigación muestran la caracterización de la dinámica folicular en las hembras de la raza Wagyu. Existiendo una variabilidad en cuanto al diámetro del folículo preovulatorio, siendo menor en comparación con la mayoría de las razas de carne. Estos resultados pueden ser útiles en la predicción de una nueva oleada folicular, necesaria para la utilización e implementación de programas de reproducción asistida en esta raza.

## 9. LITERATURA CITADA

- Adams, GP., Jaiswal, R., Singh, J., Malhi, P. 2008. Progress in understanding ovarian follicular dynamics in cattle. *Theriogenology*. (69), 72-80.
- Adams, GP., Singh, J., Baerwald, A. R. 2012. Large animal models for the study of ovarian follicular dynamics in women . *Theriogenology* , (78), 1733 – 1748.
- Anderson, L, H., Day, M, L. 1994. Acute progesterone administration regresses persistent dominant follicles and improves fertility of cattle in which estrus was synchronized with melengestrol acetate. *J Anim Sci*. 72:2955-2961.
- Animal, Gourmet. 2018. El debate: ¿Puede haber Wagyu mexicano?
- Atkinsa, Jacqueline, A., Pholer, G., Smith, Michael, F. 2013. Physiology and Endocrinology of puberty in heifers. *Vet Clin Food Anim*. 29:479-492.
- Atuesta, J., Diaza, Á. G. 2011. Control hormonal del ciclo estral en bovinos y ovinos. *Spei Domus*, 7(14).
- Barb, C. R., Kraeling, R. R. 2004. Role of leptin in the regulation of gonadotropin secretion in farm animals. *Anim. Reprod. Sci*.
- Barbieri, G, B. 2008. Raza Wagyu “El Caviar de las Carnes” *MV Rev. De Cien. Vet*. 24:2.
- Berta. Jesús. (31 de julio de 2020). Razas y clasificación de la carne wagyu. *Muy japones.com*. Gastronomía japonesa. Recuperado de <https://www.muyljapones.com/razas-y-calificacion-de-la-carne-wagyu/>.
- Bó, G.A., Adams, GP., Pierson, RA., Mapletoft, RJ. 1995. Exogenous control of follicular wave emergence in cattle. *Theriogenology*. 43: 31–40.
- Bó, G, A., Caccia, M. 1998. Examinación ultrasonográfica del tracto reproductivo bovino. En: Modulo 111, Anexo 1, Ultrasonografía. Curso de Post-Grado en Reproducción Bovina, Instituto de Reproducción Animal de Córdoba (IRAC), 3:19-37.
- Bó, G. A, Gaccia, M. 2000. ULTRASONOGRAFÍA REPRODUCTIVA EN EL GANADO BOVINO. *Sitio Argentino de Producción Animal*, (5): pp. 23-39.

- Bó, G. A., Baruselli, P. S., Martínez, M. F. 2003. Pattern and manipulation of follicular development in *Bos indicus* cattle. *Animal reproduction science*. 78(3-4): 307-326.
- Bó, G. A., Mapletoft, R. J. 2020. Superstimulation of ovarian follicles in cattle, Gonadotropin treatment protocols and FSH profiles. *Theriogenology* 150, 353-359.
- Boeta, Myriam., Balcázar, S, Alberto., Cerbón, Jose Luis., Hernández, Medrano, Juan H., Hernández, Cerón, Joel., Páramo, Ramírez, Rosa María., Porrás, Almeraya, Antonio I., Rangel, Lucía., Salgado, Brenda., Valencia, Javier., Zarco, Luis. 2018. *Fisiología Reproductiva de los Animales Domésticos*. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Bonamy, M. (2018). *Estudio cuantitativo y molecular de la edad de arribo a la pubertad en la hembra bovina* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata).
- Borges, Á, M., Torres, C. A. A., Ruas, J. R. M., Rocha Júnior, V. R., Carvalho, G. R. 2001. Ovarian follicular dynamics in crossbred Holstein-Zebu heifers. *Universidade Federal de Vicosa*. 53(5).
- Buratini Jr, J. 2007. Controle endócrino e local da foliculogênese em bovinos. *Revista Brasileira de Reprodução Animal*, 31(2): 190-196.
- Carvajal, A. M., Martínez, E., Tapia, M. M. M. 2020. El ciclo estral en la hembra bovina y su importancia productiva. Instituto de Investigaciones Agropecuarias – informativo N° 246. ResearchGate.
- Chauvet, Michelle. 1997. *La Ganadería Mexicana frente al fin del siglo*. Departamento de Sociología Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, México.
- Colazo, M. G., Mapletoft, R. 2014. Fisiología del ciclo estral bovino. *Ciencia Veterinaria*, 16(2), 31-46
- Comer japonés. (25 de junio de 2018). Auténtico wagyu de Japón por primera vez en España. Comer japones.com Recuperado de <https://comerjapones.com/autentico-wagyu-de-japon-por-primera-vez-en-espana>

- Córdova, I. A., Cruz, G. G., Saltijeral, O. J. A., Ruiz, L. G., Gómez, V. A., Olivares, P. J., Sánchez, A. P., Villa, M. A. E., Sánchez, S. R., Bedolla, C. C. J. (agosto 2022). *Principales razas bovinas para carne y doble propósito en México*. Portada Ganadera. BM Editores Recuperado de <https://bmeditores.mx/ganaderia/principales-razas-bovinas-para-carne-y-doble-proposito-en-mexico/>
- Corredor, E. S. C., & Páez, E. M. B. 2012. Aplicaciones de la ultrasonografía en la reproducción bovina: revisión. *Revista Ciencia y Agricultura*. 9(2): 29-37.
- Cortés, C. 2016. *Physiology and anatomy of reproduction*. Ecole Supérieure d'Agricultures ESA. Angers, France.
- Cortes, Christian. 2015. *Physiology and anatomy of reproduction*. Erasmus +.
- De la Torre, Yolanda. 2018. *Wagyu, carne de excelencia en Durango*. El Sol de México.
- Delgado, P. A. M., Cuélla, N. R., Sánchez, C. M. G., & Rojas, E. C. C. 2011. Dinámica folicular en la vida reproductiva de la hembra bovina. *Revista Veterinaria y Zootecnia (On Line)*, 5(2), 88-99.
- DesCôteaux, L., Gnemmi, G., Colloton, J. 2009. Ultrasonography of the Bovine Female Genital Tract. *Vet Clin Food Anim*, 25: 733-752.
- do Valle, E. R. 1991. *O ciclo estral de bovinos e métodos de controle*. EMBRAPA-CNPGC.
- Dyce, K. M., Sack, W. O., Wensing, C. J. G. 1991. *Anatomía Veterinaria*. Buenos Aires, Argentina. Editorial Médica Panamericana SA.
- Echeverría, J. 2004. *Endocrinología reproductiva: hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH)*. Revisión bibliográfica. Laboratorio Biogénesis.
- Echeverría, J. 2006. *Reproductive Endocrinology PGF2 $\alpha$  in cows. A Review*. Revista Electronica de Veterinaria REDVET. VII:01.
- Fideicomiso de Riesgo Compartido. (17 de mayo de 2017). *La Ganadería en México*. FIRCO Blog. Recuperado de <https://www.gob.mx/firco/articulos/la-ganaderia-en>



- Halac, J. M. 2016. Estrategias nutricionales y hormonales para la inducción de la pubertad en bovinos y su impacto en la fertilidad.
- Henao, R, Guillermo., Trujillo, A, Luis, E. 2000. Establecimiento y desarrollo de la dinámica folicular bovina. Revista Colombiana de Ciencia Pecuaria. Vol. 13 No. 2. p. 118-120.
- Hernández, J. 2016. Fisiología Clínica de la Reproducción de Bovinos Lecheros. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Hirshfield, A, N. 1991. Development of follicles in the mammalian ovary. Int Rev Cytol. 124:43-101.
- Inchausti, D. T. E. (1990). Bovinotécnica. Buenos Aires: El Ateneo
- INEGI. 2023. *Criadero Militar de Ganado Santa Gertrudis Chihuahua, México*. vymaps.com. Google Maps Recuperado de <https://vymaps.com/MX/Criadero-Militar-De-Ganado-Santa-Gertrudis-543464109143842/>.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 2014. Producción sostenida de ganado bovino de carne en el Altiplano Norte-Centro de México. Centro de Investigación Regional del Noreste.
- Kastelic, J, P. 1994. Understanding ovarian follicular development in cattle. Vet Med 60-70.
- Kastelic, J, P., Curran, S., Pierson, R, A., Ginther, O, J. 1992. Ultrasonic evaluation of the bovine concepts. WCVM June Conference. Saskatoon, Saskatchewan.
- Kelly Alvear, G. E. 2014. Caracterización de las alteraciones del aparato reproductor de la hembra bovina a nivel de camal.
- Lamb, G.C., Smith, M. F., Perry, G. A., Atkins, J. A., Risley, M. E., Busch, D. C., Patterson, D. J. 2009. Reproductive Endocrinology and Hormonal Control of the Estrous Cycle. North Florida Research and Education Center, University of Florida

- Larson, B. 1987. Determination of ovulation by ultrasound examination and its relation to the LH-peak in heifers. *J Vet Med.* 34:749.
- Lenis Sanín, Y. Y., Tamayo Arango, L. J., Rodríguez Osorio, N., Duque Muñoz, L., Naranjo Nicholls, J. I., Carrillo González, D. F., ... & Tarazona Morales, A. M. 2014. *Reproducción de la vaca: manual didáctico sobre la reproducción, la gestación, la lactancia y el bienestar de la hembra bovina.* Corporación Universitaria Remington.
- Lizarazo, D. E. G., & Sandoval, G. M. B. 2014. La ultrasonografía en bovinos. *Respuestas.* 19(1): 99-106.
- Lorenzana, A. (2017). Wagyu de campo mexicano. *Revista Hoja Santa,* 10-24,
- Lucy, M, C., Savio, J, D., Badinga, L., De La Sota, R, L., Thatcher, W, W. 1992. Factors that affect ovarian follicular dynamics on cattle. *J Anim Sci.* 70:3615-3626.
- Machinski, R, A., Maciel, B, E., Bergstein, G., Formighieri, B, A., Romualdo, W, R. 2018. Bovine reproductive physiology and endocrinology. Federal Univerisity of Parana, Brazil.
- Maldonado, J. G., Agudelo, B., & Vásquez, A. 2016. Dinamica follicular en novillas y vacas *Bos indicus* y *Bos taurus*. Revision de literatura. *Revista Colombiana De Ciencias Pecuarias,* 10(2), 67–75. <https://doi.org/10.17533/udea.rccp.27007>
- Marco, J. F., Salvador, A. J. 2012. Fundamentos y técnicas de la reproducción mejora genética animal y biotecnología de la reproducción. España: Universitat Politècnica de València.
- Marizancén, Silva, Mayra, Alejandra., Artunduaga, Pimentel, Lucerina. 2017. Mejoramiento genético en bovinos a través de la inseminación artificial y la inseminación artificial a tiempo fijo. *Revista de investigación agraria y ambiental.* 8:2.
- Matamoros, Roberto., Salinas, Paulo. 2017. Fundamentos de fisiología y endocrinología Reproductiva en Animales Domésticos. Ediciones Universidad Santo Tomás.

- Miura, Ryotaro. 2019. Physiological characteristics and effects on fertility of the first follicular wave dominant follicle in cattle. *J Reprod Dev.* 65(4): 289-295.
- Morales Cevallos, L. A. 2020. *Efecto del proestro prolongado sobre el folículo dominante, niveles de esteroides y la tasa de preñez en receptoras de embriones bovinos* (Bachelor's thesis, Calceta: ESPAM MFL).
- Motoyama, M., Sasaki, K., Watanabe, A. 2016. Wagyu and the factors contributing its beef quality: Overview, *Meat Science*.
- Motta, D. P. A., Ramos C. N., González S. C., Mery., C. R., E. C. 2011. Dinámica folicular en la vida reproductiva de la hembra bovina. Revisión de Literatura. *Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad de la Amazonia, Florencia (Caquetá), Colombia.* 5:88-99.
- Muñoz, Gotera, R. 2008. Ovogénesis Y Gonadogénesis. *Desarrollo Sostenible de Ganadería Doble Propósito*.
- Nebel, R., & DeJarnette, M. 2011. Anatomía y fisiología de la reproducción bovina. *SELECT SIRES INC*, 6.
- Nelson, R. L. 2012. Características del comportamiento sexual natural e inducido de la vaca de doble propósito. *Mundo Pecuario.* 8(2): 95-106.
- NMS-FF-078-SCFI-2002. Productos pecuarios – Carne de bovino en canal – clasificación.
- NRC. 2000. Nutrient Requirements of beef cattle. 7th. Rev. Ed. National Academies Press. Washington, DC.
- PADILLA, E. G. 1978. LA APARICIÓN DE LA PUBERTAD EN VAQUILLAS. *Instituto Nacional de Investigaciones Pecuarias. SARH. Palo Alto, México, DF. Cienc Vet.* 2, 293-324.
- Palma, Gustavo, A. *Biología de la Reproducción: Gustavo Palma, 2001.* p. 62-37.
- Parvizi, N. 2000. Neuroendocrine regulation of gonadotropins in the male and the female. *Animal Reproduction Science.* 60-61:31-47

- Pierson, R, A., Kastelic, J, P., Ginther, O, J. 1998. Basic principles and techniques for transrectal ultrasonography in cattle and horses. *Theriogenology*. 29:3-19.
- Pinel, R. M., & Pérez, P. S. 2017. *Fundamentos de fisiología y endocrinología reproductiva en animales domésticos*. RIL editores.
- Prieto, G. B., Velázquez, P. M. 2002. Fisiología de la reproducción: hormona liberadora de gonadotropinas. Departamento de Fisiología. Facultad de Medicina. UNAM. 45(6).
- Puebla Albitar, S., Rebollar Rebollar, S., Gómez Tenorio, G., Hernández Martínez, J., & Guzmán Soria, E. 2018. Factores determinantes de la oferta regional de carne bovina en México, 1994-2013. *Región y sociedad*.30(72).
- Quintela, L, A., Día, C., Herradón, P. G., Peña, A, I., Becerra, J, J. 2006. Ecografía y reproducción en la vaca. Ed. Servio de publicaciones e intercambio científico. Universidad Santiago de Compostela, España. 92p.
- Rajakoski, E. 1960. The ovarian follicular system in sexually mature heifers with special reference to seasonal, cyclical, and left-right variations. *Acta Endocrinol. (Copenh)* 52:1.
- Rhodes, F, M., De´ath, G., Entwistle, K, W. 1995. Animal and temporal effects on ovarian follicular dynamics in Brahman heifers. *Anim Reprod Sci*. 38:265-277.
- Rippe, C. A. (2009, March). El ciclo estral. In *Dairy Cattle Reproduction Conference* (pp. 111-116).
- Rodríguez, M. S., Flores, S. D., León, M. A., Pérez, H. L. M., Aguilar, A. J. 2018. Diagnóstico de sistemas de producción de bovinos para carne en Tejupilco, Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 9(2).
- Rubio, D. (09 de junio de 2020). La historia de la carne de Kobe, la más cara del mundo . descubrir.com . Destinos del Mundo Recuperado de <https://www.descubrir.com/la-historia-de-la-carne-de-kobe-la-mas-cara-del-mundo/>.

- Sartori, R., Barros, C. M. 2011. Reproductive cycles in *Bos indicus* cattle. *Animal Reproduction Science*. 124(3): 244-250.
- Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. (08 de junio de 2015). Ganadería bovina y sus derivados. SADER Blog Recuperado de <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/ganaderia-bovina-y-sus-derivados>
- Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. Fideicomiso de Riesgo Compartido. La ganadería en México es una de las actividades productivas más dinámicas en el medio rural. Mayo de 2017.
- Servicio de Información Agroalimentario y Pesquera. (21 de abril de 2016). *El volumen de producción de carne de bovino en México presenta sus niveles más altos entre octubre y diciembre*. SIAP Blog Recuperado de <https://www.gob.mx/siap/articulos/el-volumen-de-produccion-de-carne-de-bovino-en-mexico-presenta-sus-niveles-mas-altos-entre-octubre-y-diciembre>.
- Sieiro, Begoña. 2017. Wagyu de campo mexicano. *Revista Hoja Santa*.
- Stornelli, M, A. De la Sota, R, L. 2016. *Manual de reproducción de animales de producción y de compañía*. Buenos Aires, Argentina: Editorial de la Universidad de La Plata
- Torrescano, U. G. R., Sánchez, S. A., Vásquez, P. M. G., Varguez, P. A. F., Vargas, S. R. D., Pardo, G. D. A. 2017. Estimation of the degree of marbling of sonoran beef carcasses using different methods: image análisis, usda evaluation, and solvent extraction. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*. 19:3.
- Vásquez-Cano, J. F., & Olivera, M. 2010. Señalización celular en el folículo antral bovino. *Orinoquia*. 14(2): 178-187.
- Vázquez-Mosquera, J.M.; Fernández-Novo, A.; Bonet-Bo, M.; Pérez-Villalobos, N.; Pesántez-Pacheco, J.L.; Pérez-Solana, M.L.; de Mercado, E.; Gardón, J.C.; Villagrà, A.; Sebastián, F.; Pérez-Garnelo, S.S.; Martínez, D.; Astiz, S. 2022. MOET Efficiency in a Spanish Herd of Japanese Black Heifers and Analysis of

Environmental and Metabolic Determinants. *Biology*. 11: 225.  
<https://doi.org/10.3390/biology11020225>.

Velázquez, G. M., Gregory, K. E., Bennett, G. L., & Van Vleck, L. D. 2004. Parámetros genéticos para circunferencia escrotal, edad a la pubertad en vaquillas y tasa de destete en varias razas de bovinos productores de carne. *Técnica Pecuaria en México*, 42(2): 159-170.

Villalobos, Cortés, A., Martínez, A. M., Vega, Plata, J. L., Landi, V., Quiroz, J., Martínez, R., Martínez, L. R., Sponenberg, P., Armstrong, E., Zambrano, D., Ribamar, M, J., Delgado, J. V. 2012. Relaciones entre los bovinos criollos panameños y algunas razas criollas de Latinoamérica. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasilia. 47: 1637-1646.

Widmaier, E., Raff, H., Strang, K. 2015. Human physiology: the mechanisms of body function. The McGraw-Hill Companies. 14va edición.