



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS**  
**CARRERA ZOOTECNIA**

**“BIOTECNOLOGÍA APLICADA EN EL CONTROL Y  
MANIPULACIÓN DEL CICLO ESTRAL DE BOVINOS”**

**Trabajo de Titulación**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar el grado académico de:

**INGENIERO ZOOTECNISTA**

**AUTOR:**

**NÉSTOR ANTONIO DÍAZ ARIAS.**

Riobamba – Ecuador

2021



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS**  
**CARRERA ZOOTECNIA**

**“BIOTECNOLOGÍA APLICADA EN EL CONTROL Y  
MANIPULACIÓN DEL CICLO ESTRAL DE BOVINOS”**

**Trabajo de Titulación**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar el grado académico de:

**INGENIERO ZOOTECNISTA**

**AUTOR: NÉSTOR ANTONIO DÍAZ ARIAS.**

**DIRECTOR: ING. CARLOS ANDRES MANCHENO HERRERA MSc**

Riobamba – Ecuador

2021

**©2021, Néstor Antonio Díaz Arias**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, **NÉSTOR ANTONIO DÍAZ ARIAS**, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 22 de noviembre de 2021.

**Néstor Antonio Díaz Arias**

**180490603-8**



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS**

**CARRERA ZOOTECNIA**

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Proyecto de Investigación “**BIOTECNOLOGÍA APLICADA EN EL CONTROL Y MANIPULACIÓN DEL CICLO ESTRAL DE BOVINOS**”, realizado por señor: **NÉSTOR ANTONIO DÍAZ ARIAS**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Pablo Rigoberto Andino Najera MsC. <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	_____	2021/11/22
Ing. Calos Andrés Mancheno Herrera MsC. <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	_____	2021/11/22
Ing. Edgar Washington Hernández Cevallos MsC. <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	_____	2021/11/22

## **DEDICATORIA**

A mis padres Luis y Fanny por su sacrificio y esfuerzo por enseñarme el valor de la responsabilidad y de luchar por alcanzar nuestras metas, a mis hermanos María, Myriam, José y Tannia por ser el apoyo incondicional y darme fuerzas para seguir adelante, a mi familia a mi amigos por mostrarme el camino a la superación.

Néstor

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por darme la vida y la fortaleza para seguir adelante con mis estudios, a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en especial a la Carrera de Ingeniería Zootécnica por haberme abierto las puertas para poder cursar mis estudios, a todos mis maestros quienes impartieron sus conocimientos dentro de las aulas en especial al ingeniero Andrés Mancheno e ingeniero Edgar Hernández por su apoyo y contribución para la realización de esta investigación, a mi familia y amigos quienes junto a mi caminaron en todo momento para hacer posible este sueño.

Néstor

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
RESUMEN .....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN .....	1

### CAPITULO I.

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	3
1.1. Antecedentes de la biotecnología de la reproducción animal.....	3
1.2. Fisiología del ciclo estral de los bovinos. ....	5
1.2.1. <i>Ciclo estral</i> .....	5
1.2.2. <i>Etapas del ciclo estral</i> .....	6
1.2.2.1. <i>Proestro</i> .....	6
1.2.2.2. <i>Estro</i> .....	6
1.2.2.3. <i>Metaestro</i> .....	6
1.2.2.4. <i>Diestro</i> .....	7
1.3. Eje hipotálamo-hipófisis-ovario.....	7
1.4. Ovulogénesis y foliculogénesis.....	7
1.5. Dinámica folicular.....	8
1.6. Endocrinología de la hembra bovina.....	9
1.6.1. <i>Definición de hormona</i> .....	9
1.6.2. <i>Glándulas endocrinas.</i> .....	9
1.6.2.1. <i>Hipotálamo</i> .....	9
1.6.2.2. <i>Hipófisis</i> .....	10



1.6.2.3.	<i>Gónadas</i> .....	10
<b>1.7.</b>	<b>Hormonas</b> .....	10
1.7.1.	<i>Estructuras de las hormonas</i> .....	10
1.7.2.	<i>Formas de comunicación intercelular</i> .....	11
<b>1.8.</b>	<b>Regulación de la secreción hormonal</b> .....	11
1.8.1.	<i>Retroalimentación endocrina</i> .....	11
1.8.2.	<i>Receptores hormonales</i> .....	12
<b>1.9.</b>	<b>Hormonas hipotalámicas</b> .....	12
1.9.1.	<i>Hormona de liberación de gonadotropinas (GnRH)</i> .....	13
<b>1.10.</b>	<b>Hormonas de la neurohipófisis</b> .....	13
1.10.1.	<i>Acciones de la oxitocina en el ciclo estral</i> .....	13
<b>1.11.</b>	<b>Hormonas adenohipofisarias</b> .....	13
1.11.1.	<i>Hormona folículo estimulante (FSH)</i> .....	13
1.11.2.	<i>Hormona luteinizante (LH)</i> .....	14
1.11.3.	<i>Prolactina</i> .....	14
<b>1.12.</b>	<b>Hormonas neurohipofisarias</b> .....	14
<b>1.13.</b>	<b>Hormonas esteroides</b> .....	14
1.13.1.	<i>Estrógenos</i> .....	14
1.13.2.	<i>Progestágenos</i> .....	15
<b>1.14.</b>	<b>Relaxina</b> .....	16
<b>1.15.</b>	<b>Inhibinas y activinas.</b> .....	16
<b>1.16.</b>	<b>Hormonas placentarias</b> .....	16
<b>1.17.</b>	<b>Prostaglandinas</b> .....	17
<b>1.18.</b>	<b>Mecanismo de regulación hormonal del ciclo sexual</b> .....	18
<b>1.19.</b>	<b>Hormonas sintéticas usadas en la reproducción animal.</b> .....	19
1.19.1.	<i>Características y propiedades de las hormonas de uso en la práctica reproductiva.</i> 19	
<b>1.20.</b>	<b>Hormonas peptídicas hipotalámicas</b> .....	20

1.20.1.	<i>Hormona GnRH.</i> .....	20
1.21.	<b>Las hormonas glicoproteicas hipofisarias y placentarias</b> .....	20
1.21.1.	<i>FSH.</i> .....	20
1.21.2.	<i>LH.</i> .....	21
1.21.3.	<i>eCG-PMSG.</i> .....	21
1.21.4.	<i>hCG.</i> .....	21
1.22.	<b>Esteroides sexuales</b> .....	21
1.22.1.	<i>Progestágenos.</i> .....	22
1.22.2.	<i>Estrógenos.</i> .....	22
1.23.	<b>Esteroides adrenales: los glucocorticoides.</b> .....	22
1.24.	<b>Prostaglandinas</b> .....	23
1.25.	<b>Protocolos de sincronización de celo e inducción de la ovulación en bovinos</b> .....	23
1.25.1.	<i>Sincronización de celo con prostaglandinas</i> .....	24
1.25.2.	<i>Sincronización del celo con progestágenos</i> .....	24
1.26.	<b>Protocolos de inseminación artificial a tiempo fijo (IATF)</b> .....	26
1.27.	<b>Uso de la ultrasonografía en la reproducción animal</b> .....	29
1.27.1.	<i>Emisión del ultrasonido</i> .....	30
1.27.2.	<i>El ecógrafo</i> .....	31
1.27.2.1.	<i>Estructura del ecógrafo</i> .....	31
1.28.	<b>Diagnostico con ecografía normal y ecografía Doppler</b> .....	31
1.28.1.	<i>Ecografía normal</i> .....	32
1.28.2.	<i>Ecografía Doppler</i> .....	32
1.29.	<b>Variantes y actualización en protocolos de IATF.</b> .....	33
1.29.1.	<i>Protocolo de sincronización basado en estradiol y progesterona</i> .....	33
1.29.2.	<i>Ovsynch y Cosynch - Protocolos de sincronización basados en la combinación de prostaglandina F2α (PGF2α) y GnRH</i> .....	33
1.29.3.	<i>Pre-Ovsynch</i> .....	34
1.29.4.	<i>Doble Ovsynch</i> .....	34

1.29.5.	<i>Protocolo de sincronización basado en Gonadotropina coriónica equina (eCG)</i> .....	34
---------	---	----

CAPITULO II.

2.	<b>METODOLOGIA</b> .....	36
2.1.	<b>Procedimiento para la recolección de la información</b> .....	36
2.1.1.	<i>Búsqueda bibliográfica</i> .....	36
2.1.2.	<i>Criterios de selección</i> .....	36
2.2.	<b>Plataformas digitales, científicas, etc.</b> .....	37
2.3.	<b>Métodos para sistematización de la información</b> .....	37

CAPITULO III

3.	<b>RESULTADOS DE INVESTIGACIONES Y DISCUSIÓN</b> .....	38
3.1.	<b>Mecanismos y herramientas involucrados en el control y manipulación del ciclo estral</b> .....	38
3.2.	<b>Biotecnologías reproductivas aplicadas en el control y manipulación del ciclo estral</b> .....	41
3.2.1.	<i>Uso de GnRH</i> .....	42
3.2.2.	<i>Uso de prostaglandinas para manipular el ciclo estral</i> .....	43
3.2.3.	<i>Uso de progestágenos</i> .....	43
3.2.4.	<i>Uso de Estradiol</i> .....	43
3.2.5.	<i>Uso eCG</i> .....	44
3.2.6.	<i>Variantes y actualización de los protocolos de IATF</i> .....	44
3.2.6.1.	<i>Protocolo de sincronización basado en estradiol y progesterona</i> .....	45
3.2.6.2.	<i>Ovsynch y Cosynch - Protocolos de sincronización basados en la combinación de prostaglandina F2α (PGF2α) y GnRH</i> .....	45
3.2.6.3.	<i>Pre-Ovsynch</i> .....	46

3.2.6.4. <i>Doble Ovsynch</i> .....	47
3.2.6.5. <i>Protocolo de sincronización basado en Gonadotropina coriónica equina (eCG)</i> .....	47
3.2.6.6. <i>Uso de la ultrasonografía en el manejo reproductivo</i> .....	48
<b>3.3. Ventajas al aplicar biotecnologías reproductivas en las explotaciones ganaderas.</b> .....	<b>48</b>
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>51</b>
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>52</b>
<b>GLOSARIO</b>	
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-3:</b> Hormonas que regulan y control del ciclo estral de la hembra bovina. ....	39
<b>Tabla 2-3:</b> Hormonas sintéticas utilizadas en el control del ciclo estral. ....	41
<b>Tabla 3-3:</b> Rol de la hormonas reproductivas en el control de ciclo estral. ....	42
<b>Tabla 4-3:</b> Protocolos de Inseminación Artificial a Tiempo Fijo (IATF). ....	44
<b>Tabla 5-3:</b> Ventajas de utilizar biotecnologías reproductivas en la ganadería. ....	48

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b>	Protocolo de uso de dos dosis de PGF2 $\alpha$ con intervalo de 11 días. ....	24
<b>Figura 2-1:</b>	Protocolo de uso de dos dosis de PGF2 $\alpha$ con intervalo de 14 días. ....	24
<b>Figura 3-1:</b>	Protocolo de suministro de progesterona entre días.....	25
<b>Figura 4-1:</b>	Protocolo de combinación de progestágenos y gonadotropina coriónica equina	25
<b>Figura 5-1:</b>	Protocolo con uso de medroxiprogesterona durante 20 días.....	25
<b>Figura 6-1:</b>	Protocolo con uso de esponjas impregnadas con progesterona durante 19 días.	25
<b>Figura 7-1:</b>	Protocolo de Norgestomet en implante auricular, apoyado por inyección y valerato de estradiol. ....	26
<b>Figura 8-1:</b>	Protocolo Ovsynch de 7 días .....	26
<b>Figura 9-1:</b>	Protocolo Presynch: dos inyecciones previas de prostaglandinas. ....	27
<b>Figura 10-1:</b>	Protocolo Co-synch convencional. ....	27
<b>Figura 11-1:</b>	Protocolo Co-synch 7 .....	27
<b>Figura 12-1:</b>	Protocolo Co-Synch 8, cipionato de estradiol.....	28
<b>Figura 13-1:</b>	Protocolo J-Synch. ....	29
<b>Figura 14-3:</b>	Oportunidades de manipulación del ciclo estral .....	40
<b>Figura 15-3:</b>	Esquema protocolo de sincronización basado en estradiol y progesterona. ....	45
<b>Figura 16-3:</b>	Esquema de protocolos basados en la combinación de PGF2 $\alpha$ y GnRH. ....	46
<b>Figura 17-3:</b>	Esquema de protocolo Pre-Ovsynch.....	46
<b>Figura 18-3:</b>	Esquema protocolo Doble Ovsynch.....	47
<b>Figura 19-3:</b>	Esquema protocolo basado en gonadotropina coriónica equina. ....	47

## RESUMEN

El objetivo del presente proyecto de investigación fue recabar información acerca de las biotecnologías reproductivas aplicadas en el control y manipulación del ciclo estral de bovinos. Para poder llevar a cabo esta investigación se realizó la recopilación de información de artículos científicos, tesis, libros consultando las bases de datos de las siguientes plataformas científicas: E-book, RESEARCHGATE, SciELO, Springer, LA Referencia, DSpace ESPOCH, redalyc, Dialnet. Se han revisado artículos con los temas: los mecanismos y herramientas que regulan el ciclo estral, biotecnologías reproductivas aplicadas al control del ciclo estral y las ventajas de aplicar biotecnologías reproductivas en las ganaderías. En cuanto a los mecanismos y herramientas que regulan el ciclo estral involucra varios órganos: el eje hipotálamo-hipófisis. Ovarios, útero y las hormonas reproductivas. El uso de biotecnologías aplicadas en la reproducción como la sincronización e inducción del estro y de la ovulación ha permitido mejorar la eficiencia reproductiva de las hembras bovinas. Finalmente, los procesos fisiológicos que se llevan dentro del sistema reproductivo de la hembra bovina para poder lograr la preñez son llevados a cabo por eventos hormonales regulados por el hipotálamo mediante la secreción de GnRH, la hipófisis secreta FSH y la LH, el folículo secreta estrógenos e inhibina, el cuerpo lúteo secreta progesterona y el útero produce prostaglandina. Aplicar una serie de hormonas como la GnRH Estradiol y Progesterona para la sincronización de la onda folicular; PgF2 $\alpha$  y dispositivos de progesterona para el control de la fase luteal; la GnRH, Estradiol y LH para la inducción de la ovulación, estas combinaciones hormonales permiten manipular la fisiología reproductiva de la vaca lo cual permite gobernar su ciclo estral. Por esta razón las biotecnologías reproductivas permiten obtener los mejores rendimientos productivos y reproductivos de las explotaciones ganaderas.

**Palabras clave:** <BIOTECNOLOGÍA REPRODUCTIVA> <CICLO ESTRAL> <BOVINO>  
<HORMONAS REPRODUCTIVAS> <OVULACIÓN>



Firmado electrónicamente por:  
**HOLGER GERMAN  
RAMOS UVIDIA**

1245-DBRA-UPT-2021

2021-06-25

## ABSTRACT

This research got information about reproductive biotechnologies applied in the control and manipulation of the bovine estrous cycle. The development of this study collected data from scientific articles, theses, books, recipients of the databases of the following scientific platforms: E-book, RESEARCHGATE, SciELO, Springer, LA Reference, DSpace ESPOCH, redalyc, Dialnet. Articles of different topics were reviewed as mechanisms and tools that regulate the estrous cycle, reproductive biotechnologies applied to estrous cycle control and, the advantages of apply reproductive biotechnologies in livestock farms. Several organs involve the mechanisms and tools that regulated the estrous cycle: the hypothalamus-pituitary axis, ovaries, uterus and, reproductive hormones. The use of biotechnologies applied in reproduction as synchronization and induction of estrus and ovulation allowed improving the reproductive efficiency of bovine females. Finally, the physiological processes carried out within the bovine female reproductive system to achieve pregnancy through hormonal events regulated by the hypothalamus through the secretion of GnRH, the pituitary secretes FSH and LH; the follicle secretes estrogens and inhibin. The corpus luteum secretes progesterone and, the uterus produces prostaglandin. Applying a series of hormones such as GnRH Estradiol and Progesterone for synchronization of the follicular wave; PgF2 $\alpha$  and progesterone devices for control of the luteal phase; GnRH, Estradiol and, LH for ovulation induction, these hormonal combinations allow manipulation of the cow's reproductive physiology which control the estrous cycle. For this reason, reproductive biotechnologies help to obtain the best productive and reproductive performances in cattle farms.

Key words: <REPRODUCTIVE BIOTECHNOLOGY> <ESTROUS CYCLE> <BOVINE>  
<REPRODUCTIVE HORMONES> <OVULATION>

0602758450  
MARIA  
GUADALUPE  
ESCOBAR  
MURILLO

Firmado digitalmente  
por 0602758450  
MARIA GUADALUPE  
ESCOBAR MURILLO  
Fecha: 2021.08.25  
22:48:07 -05'00'



## INTRODUCCIÓN

La eficiencia reproductiva es uno de los aspectos de mayor importancia que debe considerar el ganadero para que una empresa pecuaria sea productiva y alcance una óptima rentabilidad. En este contexto los sistemas de explotación bovina buscan ser más eficientes. Un hecho importante en la ganadería son los grandes avances que se han logrado en las últimas décadas en el control de la reproducción. El uso de biotecnologías reproductivas permite controlar el ciclo reproductivo de las hembras mediante técnicas como la sincronización del estro y la inducción de la ovulación. El ciclo estral en bovinos se puede definir como el ciclo biológico reproductivo de las hembras, cuyo suceso central es la manifestación del estro y la ovulación que consiste en la liberación del folículo preovulatorio de un ovocito maduro (Matamoros (2017, p. 178).

El ciclo estral representa el patrón cíclico de la actividad ovárica en hembras comprendido entre un período reproductivo caracterizado por la no receptividad a un estado de receptividad, que en última instancia permite el cópula y el posterior establecimiento de la preñez (Matamoros, 2017, p. 178). Al entender de mejor manera la fisiología reproductiva de la hembra bovina, la utilización de hormonas reproductivas exógenas como: progesterona, prostaglandina F2 $\alpha$ , hormona liberadora de gonadotropinas, gonadotropina coriónica equina, estrógenos, entre otras ha permitido manipular el ciclo estral, desarrollando protocolos de sincronización de celo para inseminación artificial a tiempo fijo (IATF). Con el tiempo, estos protocolos han evolucionado desde el uso de una sola hormona hasta la combinación de varias hormonas en diferentes momentos para lograr protocolos complejos con alta eficiencia (Obando, 2020, p. 1).

La sincronía o sincronización del estro es una biotecnología reproductiva que permite agrupar las hembras para un uso intensivo de la Inseminación Artificial (IA), un mejor seguimiento de las gestaciones y la temporada de partos (Rosendo, Rosales y Sánchez, 2017,p.35). El control de la dinámica folicular y la ovulación ha reducido los problemas asociados a la detección de celos y sistematizado el trabajo de reproducción. Existen varios métodos de sincronización, desde el más simple con inyecciones periódicas de PgF2 $\alpha$  hasta los más complejos con GnRH o dispositivos con P4 (Quijano et al., 2015) citado por (Basto, 2019, p. 5). Se cuenta con protocolos simples a base de la administración de prostaglandina y progesterona, y otros más desarrollados derivados del Ovsynch como el Cosynch, Pre-Synch y J-Synch con o sin modificaciones. Estos métodos constituyen herramientas importantes en ganadería de carne, de leche y doble propósito, y como biotécnicas reproductivas generan un impacto significativo en progreso genético. (Obando, 2020, p. 1)

La meta de muchos investigadores desde que la técnica de la inseminación artificial está disponible ha sido lograr una efectiva sincronización del celo. El protocolo a base la aplicación de prostaglandina es la técnica más utilizada para la sincronización de estros. Sin embargo, la detección de celo demanda tiempo y mano de obra. Por lo consiguiente, en los últimos años se han desarrollado varios protocolos para minimizar la necesidad de la detección de celos. El uso de la hormona liberadora de las gonadotropinas (GnRH) y estradiol han sido incorporados a los tratamientos con progestágenos resultando en aceptables porcentajes de preñez. Estas combinaciones hormonales que aseguran concentraciones circulantes elevadas de progesterona y sincronizan tanto la emergencia de una nueva onda de folículos ováricos como la ovulación son los denominados protocolos para la Inseminación Artificial a Tiempo Fijo (IATF) (Colazo et al. 2017, p. 4).

La utilización de hormonas constituye la principal herramienta para manipular el ciclo estral de las distintas especies entre ellas los bovinos, en la actualidad existen varios protocolos usados para lograr incrementar la eficiencia reproductiva de las explotaciones ganaderas. En los últimos años la ganadería ha presentado muchos cambios. Los avances y descubrimientos tecnológicos han aportado a mejorar la productividad de las explotaciones ganaderas. Es por esta razón que se debe revisar información actualizada acerca las nuevas estrategias usadas en el control del ciclo estral de bovinos. Con relación a lo anterior el objetivo general de esta investigación es Investigar acerca de biotecnologías reproductivas aplicadas en el control y manipulación del ciclo estral de bovinos. Para lo cual se plantea los siguientes objetivos específicos:

- Identificar los mecanismos y herramientas involucradas en el control del ciclo estral de bovinos.
- Describir las biotecnologías reproductivas aplicadas en el control y manipulación del ciclo estral de bovinos.
- Analizar las ventajas que se obtiene al aplicar biotecnologías reproductivas en explotaciones ganaderas.

## CAPITULO I.

### 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.

#### 1.1. Antecedentes de la biotecnología de la reproducción animal.

Palma (2001, p. 1), menciona, la biotecnología de la reproducción comprende a las técnicas (desde la inseminación artificial (IA) hasta la clonación) o conjunto de ella que permiten aumentar la eficiencia reproductiva de los animales. Estas técnicas tienen gran importancia y son empleadas, además, como herramientas en la aplicación de otras más modernas. Este es el caso de la Inseminación Artificial en los programas de superovulación y transferencia de embriones. Las tecnologías de reproducción asistida se utilizan para inducir el celo fuera de temporada, mejorar el rendimiento reproductivo y para el progreso genético. Asimismo, contribuyen significativamente a la preservación de especies en peligro de extinción. Sus aplicaciones están muy desarrolladas en la ganadería (Amiridis y Cseh, 2012, p. 1).

Los grandes y pequeños avances en la historia de las biotecnologías afines con la reproducción de los animales, así como su implementación en otras especies, han permitido dar respuesta a una serie de importantes interrogantes que, por un lado, permiten comprender mejor los mecanismos fisiológicos de la gametogénesis, fecundación, el desarrollo embrionario y, por otro lado, procedimientos que permitan el establecimiento de sistemas productivos más seguros y eficientes. El uso de procedimientos para controlar la función reproductiva es tan antiguo como la domesticación de animales. Procesos que, en el mejor de los casos, se basaron en la observación e interpretación de la naturaleza a otros métodos, derivados de la evidencia empírica, dieron como resultado que algunos pueblos usaran métodos al menos conceptualmente similares a los de hoy, como fueron los sumerios con la inseminación artificial en ovino y los árabes con la inseminación artificial en equino (Vázquez y Vidal, 2010, p. 19).

Es más, está documentado a principios del siglo XIV, algún episodio entre tribus árabes rivales la sustracción de espermatozoides, y por consiguiente de la línea genética que estos portaban. Sustracción basada en la colocación clandestina de paños en el interior de la vagina de las yeguas rivales en épocas reproductivas que se extraían por la noche, tras la monta de los caballos, para ser depositados posteriormente en sus propias yeguas (Vázquez y Vidal, 2010, p. 19). Las biotecnologías de reproducción animal han avanzado notablemente en los últimos años y sus usos han cambiado significativamente. Estas biotecnologías ofrecen la posibilidad de aumentar la

velocidad de adelanto genético en la ganadería. Además, de su aplicación a gran escala en el campo de la producción pecuaria, las numerosas biotecnologías reproductivas se utilizan en los programas de conservación de recursos zoo genéticos (Arias, García y Lorenzo, 2017, p. 22).

El manejo reproductivo del ganado, especialmente del ganado lechero, aunque cada vez más también del ganado de carne, utiliza como instrumento la aplicación de biotécnicas reproductivas, principalmente la inseminación artificial y la sincronización hormonal de los ciclos. En la actualidad en las granjas, un fin productivo, económico y reproductivo esencial es conseguir un Intervalo entre Partos determinado. El Intervalo Entre Partos marcará el ritmo productivo y de crecimiento o mantenimiento de la granja, así como un óptimo nivel de eficiencia económica (Arias, García y Lorenzo, 2017, p. 226). Se han utilizado varias metodologías para inducir la ovulación y la ciclicidad en vacas posparto como: restricción del amamantamiento o destete (temporal o permanente) y tratamientos hormonales para inducir la ovulación y la ciclicidad en vacas posparto (Baruselli et al. 2004, p. 379). La mayoría de tratamientos hormonales se basan en la aplicación de dispositivos de liberación de progesterona P4 (progestágeno) asociados con el benzoato de estradiol (EB) o una combinación de GnRH, PGF 2 $\alpha$ , GnRH protocolo Ovsynch (Baruselli et al. 2004, p. 379).

Anestro en bovinos: la productividad y rentabilidad de las empresas ganaderas dependen en gran medida de la capacidad fisiológica de la hembra para lograr el objetivo de producir un ternero al año, siendo el factor decisivo para lograr este objetivo minimizar el período de anestro posparto (Báez y Grajales, 2009, p. 1867). El anestro está explicado como el tiempo que la hembra no presenta actividad ovárica. Se produce por diferentes motivos, los cuales pueden alargar la inactividad ovárica (Berrio 2018, p. 5). Los principales factores que afectan la duración del anestro posparto son el estado nutricional (condición física) y la lactancia. Aunque otros factores como raza, edad, número de terneros, producción de leche, época de partos, presencia de toros, involución uterina, distocia y estado de salud también afectan la duración del anestro (Báez y Grajales, 2009, p. 1868). Desde el punto de vista de la producción animal, estos períodos suponen pérdidas económicas en las explotaciones ganaderas.

Estado nutricional: Un inadecuado consumo de nutrientes en relación con las demandas metabólicas es un factor que contribuye a prolongar el anestro posparto y aunque la naturaleza de estos factores y sus interacciones es compleja y poco conocida, muchos de ellos parecen actuar por vía de mecanismos hormonales. Amamantamiento: La lactancia materna afecta la actividad del hipotálamo, hipófisis y los ovarios al reducir la liberación de GnRH, lo que resulta en un pulso insuficiente de LH. Por lo tanto, debido a la síntesis incorrecta de estrógenos a nivel del folículo, el folículo no puede madurar y por lo tanto es incapaz de ovular (Báez y Grajales, 2009, p. 1868).

La finalidad de la producción ganadera es incrementar la productividad y rentabilidad. Por ello, y a pesar del carácter fisiológico de estos periodos, los ganaderos intentan acortar en lo posible la duración de estos periodos de inactividad y conseguir que las hembras vuelvan (o comiencen) a presentar ciclos, y que éstos sean fértiles. Para ello se han desarrollado protocolos hormonales que se conocen como tratamientos de inducción de ciclicidad (Berrio 2018, p. 4).

## **1.2. Fisiología del ciclo estral de los bovinos.**

### ***1.2.1. Ciclo estral***

El ciclo biológico reproductivo de las hembras bovinas, cuyo evento central es la manifestación del estro o calor y la liberación del folículo preovulatorio de un ovocito maduro (ovulación). Representa un patrón cíclico del comportamiento ovárico de las hembras, un conjunto de eventos fisiológicos que ocurren entre la manifestación del estro y el siguiente (Amiridis y Cseh, 2012, p. 177). Representado por cambios hormonales, fisiológicos y morfológicos que, bajo el dominio de las neurohormonas, no solo afectan el nivel de los órganos reproductivos, sino que también afectan a otros órganos de la economía. El propósito de la actividad cíclica estral es crear condiciones propicias para la fecundación, implantación y desarrollo del feto (Brito y Tagle, 2010, p. 48).

La pubertad da inicio a la presentación de los ciclos de celo. En novillas la pubertad se produce a los 6-12 meses de edad aproximadamente cuando alcanzan un peso de 200-250 kg. El ciclo estral de los bovinos tiene una duración entre 18 y 24 días, 21 días en promedio. El ciclo consta de dos fases: la fase lútea (14-18 días) y la fase folicular (4-6 días) (Matamoros 2017, p. 177). Posterior a la ovulación se presenta la fase lútea la que se caracteriza porque en esta fase se da la formación del cuerpo lúteo (CL), en cambio la fase folicular es el período siguiente a la luteólisis (ruptura del cuerpo lúteo) hasta la ovulación (fase folicular: días 18-1 y fase luteínica: días 2-17, aunque algunos autores señalan que en esta última se pueden distinguir a su vez otras tres: fase luteínica temprana: días 1-4, fase luteínica propiamente dicha: días 5-10 y fase luteínica tardía: días 11-17, en la que tiene lugar la luteólisis) (Amiridis y Cseh, 2012, p. 177).

El estro es el lapso de tiempo en el cual la hembra bovina se encuentra receptiva, tiene una duración de 8 a 18 horas. El desarrollo del cuerpo lúteo y la ovulación ocurre durante el metaestro. La etapa más larga del ciclo estral y se caracteriza por la presencia de un cuerpo lúteo es el diestro. Cuando no existe gestación, el endometrio secreta prostaglandina  $F2\alpha$  lo que da lugar a la luteólisis, iniciándose un nuevo ciclo estral (Hernández, 2016, p. 17).

### ***1.2.2. Etapas del ciclo estral***

El ciclo estral está conformado por cuatro etapas continuas:

#### ***1.2.2.1. Proestro***

El proestro se caracteriza por la ausencia de un cuerpo lúteo funcional, los niveles de progesterona son bajos y produce el desarrollo y maduración del folículo ovulatorio. Esta etapa tiene una duración de 2 a 3 días. El incremento de secreción de pulsos de LH es característico de esta etapa que conducen a la maduración final del folículo ovulatorio y al incremento de estradiol sérico, lo que desencadena la presencia del estro.

#### ***1.2.2.2. Estro***

Hernández (2016, p. 28), menciona, en esta etapa la receptiva y acepta la copula o la monta de otra vaca. El estro es provocado por la continua producción e importante concentración de estrógenos procedente por el folículo preovulatorio y por la ausencia de un cuerpo lúteo. La duración de esta etapa va entre 8 a 18 horas. El aumento de los niveles de estrógenos da lugar al comportamiento característico del celo (estro).

#### ***1.2.2.3. Metaestro***

Hernández (2016, p. 28-30), define, etapa 4 a 5 días posterior al estro. En el metaestro se producen dos eventos ovulación y se desarrolla el cuerpo lúteo. Posteriormente de la ovulación se observa una depresión en el lugar ocupado por el folículo ovulatorio (depresión ovulatoria) y consecutivamente se desarrolla el cuerpo hemorrágico (cuerpo lúteo en proceso de formación). En esta etapa las concentraciones de progesterona alcanzan niveles superiores a 1 ng/mL, lo indica que el cuerpo lúteo se encuentra maduro. Cuando las concentraciones de progesterona son superiores a 1 ng/mL se considera que el metaestro ha finalizado y se da el inicio del diestro. En esta etapa se destaca la presencia del pico posovulatorio de FSH evento hormonal que origina la primera oleada de desarrollo folicular. Durante el metaestro entre 1 a 3 días posteriores al celo algunas vacas muestran una secreción mucosanguinolenta conocido como sangrado metaestral.

#### *1.2.2.4. Diestro*

Es la etapa de más larga del ciclo estral, dura entre 12 a 14 días. Durante el diestro las concentraciones sanguíneas de progesterona son superiores de 1 ng/mL, el cuerpo lúteo mantiene su plena funcionalidad. A la vez, en esta etapa debido a las ondas foliculares se pueden encontrar folículos de diferente tamaño. Después de 12- 14 días de exposición a la progesterona, la prostaglandina F2 $\alpha$  producida por el endometrio en un patrón pulsátil, el cual termina con la vida del cuerpo lúteo y con el diestro. Es decir, el cuerpo lúteo pierde su funcionalidad cuando los niveles de progesterona disminuyen por debajo de 1 ng/mL, y da comienzo el proestro. Durante esta etapa la secreción de LH es muy baja y los pulso de FSH incrementa y es responsables de las ondas foliculares (Hernández 2016, p. 30,31).

Además de la clasificación del ciclo estral descrita anteriormente, existe otra que divide al ciclo en dos fases: la progestacional (lútea) y la estrogénica (folicular). La fase progestacional comprende el metaestro y el diestro, y la fase estrogénica al proestro y estro (Hernández, 2016, p. 31).

### **1.3. Eje hipotálamo-hipófisis-ovario**

Para Fernández (2008, p. 23), el sistema nervioso relacionado con el sistema hormonal regula y estimula los procesos reproductivos. En este contexto es el eje hipotálamo-hipófisis-gonadal. Así pues, en el escenario del ciclo estral nos encontramos con variaciones de los niveles sanguíneos de hormonas esteroideas (progesterona, estradiol) y gonadotropinas (FSH, LH), así como con modificaciones morfológicas ováricas: folículos (oleadas foliculares) y cuerpo lúteo.

### **1.4. Ovulogénesis y foliculogénesis**

Fernández (2008, p. 27), menciona, hablamos de ovogénesis y foliculogénesis cuando describimos los cambios que se dan en lo que posteriormente serán las gónadas femeninas ya en su periodo fetal. Las “células germinales primordiales” se multiplican hasta convertirse en “ovocitos de primer orden” (folículos primordiales durmientes) y se mantienen así hasta el nacimiento. Con la llegada de la pubertad, esos folículos no son sensibles al efecto de las hormonas y, aunque ya hay oleadas de crecimiento folicular en las primeras semanas de vida, en todos los casos desembocan en “atresia del folículo dominante”, no llegando a completarse la ovulación. Solo después de la pubertad y llegada de la fase sexualmente adulta las ondas foliculares se completan el folículo dominante ovulara.

### **1.5. Dinámica folicular**

El crecimiento folicular en las hembras bovinas se produce en forma continua en ondas de crecimiento, un proceso denominado dinámica folicular. De acuerdo con Fernández Sánchez y ProQuest (2008, p. 28), los eventos que ocurren en una onda de crecimiento folicular son:

1. Reclutamiento de folículos en crecimiento.
2. Selección, un folículo evade la atresia y continua su crecimiento este folículo desarrolla receptores específicos para LH necesarios para su desarrollo final, los folículos no seleccionados sufren un proceso de atresia.
3. El folículo seleccionado en la fase anterior alcanza un tamaño mayor o igual a 10mm inhibe el crecimiento de los demás folículos de la misma oleada, a este evento se le llama dominancia. Dependiendo de los niveles de progesterona producidas por el cuerpo lúteo, el folículo ovulará o regresará (folículo dominante anovulatorio).

El desarrollo del tamaño y la consistencia del cuerpo lúteo acompañarán el desarrollo de los folículos a lo largo de la onda folicular. La capacidad de los técnicos para evaluar su consistencia es fundamental para juzgar la parte central del ciclo, que es la más complicada porque puede coexistir con folículos dominantes, reclutados, seleccionados y cuerpo lúteo en el mismo ovario o en diferentes ovarios. Generalmente, en las vacas lecheras, presentan ciclos de dos ondas de crecimiento folicular, aunque en animales jóvenes cada ciclo puede tener tres ondas o más, lo que complica la evaluación. Al inicio de cada onda de crecimiento de folicular, la concentración de la hormona folículo estimulante (FSH) aumentará, después de la misma hay un declive notable de la FSH, debido al incremento de las concentraciones de estradiol (secretado por los folículos en crecimiento) (Fernández, 2008, p. 28, 29).

Cuando un folículo de mayor diámetro alcanza los 8 mm, este crece más rápido que otros folículos y se convierte en el folículo dominante, mientras que los otros folículos sufren atresia y se convierten en folículos subordinados; el folículo seleccionado suele tener un mayor tamaño. La forma de selección del folículo dominante se basa en la capacidad de respuesta a la FSH y a la LH. Ello involucra primero un descenso de los niveles de FSH ocasionado por el feedback negativo que ejercen el estradiol y la inhibina producidos por todos los folículos en crecimiento. El folículo dominante tiene la capacidad de seguir creciendo a bajas concentraciones de FSH, que son insuficientes para folículos más pequeños (Fernández, 2008, p. 29).



Otro aspecto importante durante el proceso de selección del folículo dominante es que cuando éste alcanza un diámetro de 8 mm desarrolla receptores específicos para LH en las células de la granulosa, que funciona como la gonadotropina folículo-estimulante, y esto le permite seguir creciendo con bajas concentraciones de FSH. Hacia el final de la fase de crecimiento, dependiendo de si el cuerpo lúteo regresa o no, se producirá la ovulación o bien la pérdida de los receptores para la LH y la atresia del folículo dominante. Cuando se detiene la secreción folicular de estradiol, la FSH aumenta nuevamente, lo que desencadena la siguiente onda y el ciclo ovárico se repite de nuevo. (Fernández, 2008, p. 29).

## **1.6. Endocrinología de la hembra bovina.**

### ***1.6.1. Definición de hormona***

En la información compartida por Hafez y Hafez (2000, p. 33), define, la hormona es una sustancia fisiológica, orgánica y química sintetizada y producida por una glándula endocrina sin conducto, transportado por el sistema circulatorio. Cuya función es inhibir, estimular o regular la actividad funcional del órgano o tejido blanco. Las hormonas son sustancias propias del organismo procedentes de diferentes células que actúan en otras células llamadas células diana. Cuando las hormonas actúan en la misma célula que se produjeron (actividad autocrina), otras hormonas operan en células vecinas (actividad paracrina), mientras que otras son llevadas por la sangre y actúan en células de otros órganos (actividad endocrina). Además, se pueden comunicar otros tipos de hormonas con otros organismos, llamadas feromonas. La feromona regula diferentes funciones, entre las que destaca la función reproductiva (Hernández, 2016, p. 17).

### ***1.6.2. Glándulas endocrinas.***

Las glándulas del sistema endocrino secretan hormonas al torrente sanguíneo. Para comprender de mejor manera las hormonas de la reproducción se debe conocer el papel que desempeñan el hipotálamo, hipófisis, y gónadas (Hafez y Hafez, 2000, p. 34).

#### ***1.6.2.1. Hipotálamo***

Se encuentra en una pequeña parte del cerebro. Esta se ubica en la región del tercer ventrículo, se extienden desde el quiasma óptico hasta los cuerpos mamilares. A través del tracto hipotalámico-hipofisiario existen conexiones neuronales entre el hipotálamo y el lóbulo posterior de la hipófisis y conexiones vasculares entre el hipotálamo y el lóbulo anterior de la hipófisis. Parte del flujo

venoso de salida de la hipófisis anterior es de tipo retrógrado, que expone al hipotálamo a altas concentraciones de hormonas de la hipófisis anterior. El mecanismo de retroalimentación negativo que regula las funciones del hipotálamo se debe a este flujo sanguíneo que le da la hipófisis (Hafez y Hafez, 2000, p. 34).

#### *1.6.2.2. Hipófisis*

La hipófisis se encuentra en una depresión ósea de la base del cerebro, en la silla turca. Subdividida en tres partes: lóbulo anterior, intermedio y posterior. La hipófisis tiene cinco diferentes tipos de células que producen seis hormonas. Así tenemos: las somatotrópicas secretan la hormona del crecimiento; las cortico trópicas producen adenocorticotropica (ACTH); Las mamotropicas, prolactinas; las tirotrópicas secretan hormona estimulante de la glándula tiroides (TSH), y las gonadotrópicas, la hormonas folículo estimulante y luteinizante (FSH y LH) (Hafez y Hafez, 2000, p. 34).

#### *1.6.2.3. Gónadas*

En la información compartida por Hafez y Hafez (2000, p. 33), manifiesta, en ambos sexos las gónadas tienen una doble función la de producción de células germinales gametogénesis y espermatogénesis, la secreción de hormonas gonadales estrógenos y progesterona en las hembra y andrógenos en los machos.

### **1.7. Hormonas**

Según Hafez y Hafez (2000, p. 35), una forma de clasificar las hormonas es por su estructura bioquímica o su forma de acción. En su estructura bioquímica las hormonas incluyen glicoproteínas, polipéptidos, esteroides, ácidos grasos y aminos.

#### *1.7.1. Estructuras de las hormonas*

Para Hafez y Hafez (2000, p. 34), por su estructura química las hormonas que intervienen en la reproducción se dividen en cuatro grupos:

1. Proteínas: de un peso molecular que varía de 300 a 70000 daltons son hormonas polipeptídicas entre ellas tenemos: la oxitocina, FSH y LH.
2. Esteroides: Proceden del colesterol de 300 a 400 daltons, ejemplo, testosterona.
3. Aminos: Derivan de la tirosina o triptófano, por ejemplo, melatonina

4. Ácidos grasos: Proviene del ácido araquidónico y tienen un peso molecular de aproximadamente de 400 daltons.

### **1.7.2. Formas de comunicación intercelular**

Hafez y Hafez (2000, p. 36), menciona, mensajeros químicos como: las aminas, aminoácidos, esteroides y polipéptidos, permiten la comunicación entre células. Existen cuatro formas de comunicación intercelular:

1. Comunicación neural, en las uniones sinápticas de las células nerviosas se liberan ciertos neurotransmisores y actúan entre las hendiduras sinápticas estrechas.
2. Comunicación endocrina, característica de la mayoría de hormonas, donde las hormonas son transportadas por el torrente sanguíneo.
3. Comunicación paracrina, las hormonas secretadas actúan en células vecinas estas son transportadas a través del líquido, por ejemplo, las prostaglandinas.
4. Comunicación autocrina, el producto secretado actúa en la misma célula a través de receptores propios.

### **1.8. Regulación de la secreción hormonal**

La regulación de la actividad gonadal es llevada a cabo a través del sistema nervioso por medio de mecanismos de retroalimentación endocrina, vías neurales y control inmunoendocrino (Hafez y Hafez, 2000, p. 36)

#### **1.8.1. Retroalimentación endocrina**

Según Hafez y Hafez (2000, p. 36), el control de retroalimentación se produce a nivel de hipotálamo y de hipófisis. Las hormonas esteroides pueden ejercer retroalimentación estimuladora (positiva) o inhibitoria (negativa) dependiendo de su concentración en la sangre.

Retroalimentación inhibitoria o negativa. Este sistema envuelve interrelaciones recíprocas entre dos o más glándulas y los órganos blanco respondiendo con el objetivo de reducir los efectos de las acciones que provocaron algún cambio. Por ejemplo, el ovario aumenta la secreción de estrógenos, los niveles de FSH disminuyen. Del mismo modo cuando las hormonas hipofisarias alcanzan cierto nivel, algunos núcleos hipotalámicos responden disminuyendo la producción de su hormona liberadora particular, un descenso en la secreción de hormona trópica hipofisaria, y

un nivel más bajo para la función de la glándula para la función de la glándula blanco (Hafez y Hafez, 2000, p. 36).

Retroalimentación estimuladora o positiva. Cuando se promueven cambios en un sistema, como respuesta a acciones que provocaron alguna alteración en el mismo. En este sistema, los niveles crecientes de una hormona ocasionan incrementos de las concentraciones de otra hormona. Así tenemos, un aumento de los niveles de estrógenos durante la fase preovulatoria impulsa la secreción rápida de LH hipofisaria. Estos dos eventos se encuentran en sincronía con exactitud ya que se necesita de una oleada de LH para la ruptura del folículo ovárico (Hafez y Hafez, 2000, p. 36).

### **1.8.2. Receptores hormonales**

Para Hafez y Hafez (2000, p. 37), cada hormona tiene un efecto selectivo en uno o más órganos blanco. Este efecto se consigue mediante dos mecanismos:

- Cada órgano blanco tiene un método definido para acoplarse a esta hormona, que no se encuentra en otros tejidos.
- Los órganos blanco tienen varias rutas metabólicas capaces de reconocer a las vías metabólicas-hormonales no compartidas por el tejido que no es el blanco

El mecanismo frecuente es un enlace específico. Es decir, todo el tejido blanco, las células que responden a las hormonas esteroideas contienen una proteína receptora que se une específicamente a las hormonas activadoras. (Hafez y Hafez, 2000, p. 37).

### **1.9. Hormonas hipotalámicas**

Las hormonas del hipotálamo que controlan la reproducción son la hormona liberadora de gonadotropinas (GNRH), Hormona adrenocorticotropa (ACTH) y el factor inhibidor de prolactina (*prolactin inhibiting factor*, PIF). Asimismo el hipotálamo es una fuente de oxitocina y vasopresina, que están acumuladas en la neuro-hipófisis (Hafez y Hafez, 2000, p. 38).

A nivel del hipotálamo se forman dos tipos de neuro-hormonas.

### ***1.9.1. Hormona de liberación de gonadotropinas (GnRH)***

La GnRH es una hormona formada por 10 aminoácidos (decapéptido) con un peso molecular 1183 daltons. Producido y almacenado en el hipotálamo basal cumple la función de estimular la secreción y la liberación de las hormonas gonadotropas: hormona folículo estimulante (FSH) y hormona luteinizante (LH), sintetizadas en el lóbulo anterior de la hipófisis (Alba Gómez, 2015, p. 116).

### **1.10. Hormonas de la neurohipófisis**

Estas son la oxitocina y la vasopresina. Ambas se forman en los núcleos supraópticos y paraventriculares del hipotálamo. La oxitocina ejerce acción sobre la contractibilidad de las fibras musculares lisas del útero previamente estrogenizado y sobre las células mioepiteliales de la ubre relacionadas con la eyección de la leche. La vasopresina influye en la reabsorción del agua en la parte distal de los túbulos renales (Alba Gómez, 2015, p. 116).

#### ***1.10.1. Acciones de la oxitocina en el ciclo estral***

En la etapa del estro se producen descargas de oxitocina que ocasionan la contractilidad del útero, que permite el ascenso del material seminal hasta los oviductos en pocos minutos. La oxitocina producida en el ámbito folicular participa en el mecanismo de la ovulación; la que se origina en el cuerpo amarillo al final del diestro estimula la síntesis y la secreción de PGF2 $\alpha$  para que se produzca la luteólisis (Alba Gómez, 2015, p. 117).

### **1.11. Hormonas adenohipofisarias.**

En la hipófisis en el lóbulo anterior se secreta tres hormonas gonadotrópicas: hormona folículo estimulante (FSH), hormona luteinizante (LH), y prolactina. La LH y FSH son hormonas glucoproteínicas con un peso molecular de 32000 daltons (Hafez y Hafez, 2000, p. 38).

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

Químicamente es una glucoproteína hidrosoluble. Su función principal es estimular el crecimiento, desarrollo y maduración del folículo ovárico o folículo de Graaf. En presencia de la LH incita la producción de estrógenos ováricos (Alba Gómez, 2015, p. 117).

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

Es una glucoproteína y su actividad biológica está ligada a la fracción proteica. Actúa sinérgicamente con la FSH, termina la maduración folicular, activa al complejo enzimático ovulante para que se produzca la ovulación y contribuye al desarrollo y mantenimiento del cuerpo Lúteo (CL) (Alba Gómez, 2015, p. 117).

### ***1.11.3. Prolactina***

Secretada por la adenohipófisis es una hormona polipeptídica. La prolactina inicia y mantiene la lactancia. Es conocida como una hormona gonadotropina debido a sus propiedades luteotrópica. Sin embargo en animales domésticos la LH es la hormona luteotrópica principal (Hafez y Hafez, 2000, p. 39)

## **1.12. Hormonas neurohipofisarias**

Para Hafez y Hafez (2000, p. 39), las hormonas de la hipófisis posterior (neurohipófisis) difieren de las otras hormonas hipofisarias en que ellas no se originan en la hipófisis, sino que únicamente se almacenan ahí hasta que se necesiten. Las dos hormonas, oxitocina (hormona para la secreción láctea) y vasopresina (hormona antidiurética), en realidad se producen en el hipotálamo y son transferidas a la hipófisis posterior a lo largo de los axones del sistema nervioso.

## **1.13. Hormonas esteroides**

Producidas principalmente por los ovarios y los testículos. Sin embargo, otros órganos no gonadales como las glándulas suprarrenales y la placenta secretan cierta cantidad de hormonas esteroides. Existen cuatro tipos de estas hormonas: andrógenos, estrógenos, progestinas y relaxinas. Los tres primeros son esteroides, mientras que el cuarto es una proteína, las hormonas esteroides como el estradiol y progesterona, la relaxina una hormona proteica son producidas por los ovarios (Hafez y Hafez, 2000, p. 40-41).

### ***1.13.1. Estrógenos***

El estradiol es el estrógeno primario, con estrona y el estriol que representa otros estrógenos metabólicamente activos. El estradiol es el estrógeno biológicamente activo que se produce en el ovario con pequeñas cantidades de estrona (Hafez y Hafez, 2000, p. 42). Los estrógenos procedentes

de los ovarios son:  $17\beta$ -estradiol y el estrón. Su síntesis se realiza por las células de la granulosa de la teca interna de los folículos de Graaf, durante el celo (Alba Gómez, 2015, p. 117). Según Hafez y Hafez (2000, p. 42), a través de proteínas de unión los estrógenos circulan en la sangre. De todos los esteroides, los estrógenos cumplen varias funciones fisiológicas. Entre ellas:

1. Inducen el comportamiento característico de la hembra en estro. Operan a través del sistema nervioso central; aunque, en alguna especie los bovinos y ovinos se requieren pequeñas cantidades de progesterona con estrógeno para provocar el estro.
2. Actúan en el útero incrementando la amplitud y periodicidad de las contracciones, incrementando los efectos de la oxitocina y la  $PGF2\alpha$ .
3. Ayuda al desarrollo de los caracteres sexuales secundarios de la hembra.
4. En la glándula mamaria promueve el crecimiento de los conductos y es responsable del desarrollo de la glándula mamaria.
5. A través del hipotálamo ejerce el control de la retroalimentación tanto positiva como negativa en la liberación de LH y FSH. El efecto negativo se da en el centro tónico en el hipotálamo, y el positivo en el centro preovulatorio.

### ***1.13.2. Progestágenos***

El principal es la progesterona segregada por el cuerpo lúteo (CL) y la placenta. Químicamente es un cetoesteroide, interproducto de los corticoides y los andrógenos. No se acumula en el organismo y tiene vida media biológica muy corta. Circula por la sangre junto a las proteínas plasmáticas, y es convertida en pregnandiol en el hígado, la cual se conjuga con el ácido glucurónico y así se excreta por la orina (Alba Gómez, 2015, p. 118).

Para Hafez y Hafez (2000, p. 43), las funciones de la progesterona son:

1. Participa en la implantación del embrión y mantenimiento de la gestación preparando el endometrio, incrementando la actividad de las glándulas secretorias en el endometrio e inhibe la movilidad del miometrio.
2. Actúa sinérgicamente con los estrógenos para incitar la conducta estral.
3. En las glándulas mamarias participa en el desarrollo el tejido secretor, alveolos.
4. En elevados niveles, priva el estro y la onda ovulatoria de la hormona luteinizante (LH). Por lo tanto. La progesterona desarrolla una función importante en la regulación hormonal del ciclo estral.
5. Inhibe los movimientos uterinos.

#### **1.14. Relaxina**

Hormona polipeptídica constituida de subunidades alfa y beta que están unidas por dos enlaces disulfuro. De 5700 daltons de peso molecular. Durante la gestación es secretada principalmente por el cuerpo amarillo. En algunas especies la relaxina es secretada por la placenta y el útero. La relaxina cumple la función principal de dilatar del cuello uterino y la vagina previo al parto. También si se administra con estradiol inhibe los movimientos uterinos y causa mayor desarrollo de la glándula mamaria (Hafez y Hafez, 2000, p. 44).

#### **1.15. Inhibinas y activinas.**

En la información compartida por Hafez y Hafez (2000, p. 44), menciona, debido a sus efectos en la producción de FSH las inhibinas y activinas se aislaron de líquidos gonadales. Las Inhibinas y activinas son mecanismos paracrinos, ya que regulan la señal endocrina de LH.

**Inhibinas:** La principal fuente de inhibina son las gónadas, que se produce en las células femeninas de la granulosa y se secretan a la sangre. Las Inhibinas son proteínas compuestas de dos subunidades con uniones de disulfuro llamados alfa y beta. Las Inhibinas desempeñan una función significativa en la regulación hormonal de la foliculogénesis ovárica durante el ciclo estral. Las Inhibinas ejercen como mensajes químicos a la hipófisis en relación al número de folículos que desarrollan en el ovario. Las Inhibinas disminuyen la secreción de FSH tal nivel, que mantiene el número de ovulaciones propias de cada especie. Al privar la liberación de FSH sin alterar la liberación de LH, las Inhibinas pueden ser las responsables de la liberación diferencial de LH y FSH desde la hipófisis (Hafez y Hafez, 2000, p. 44).

**Activinas.** El líquido folicular contiene una fracción que insita la liberación de FSH, a la proteína responsable de esta labor se le denomina como activinas. Estas activinas son potentes liberadores de FSH y se los encuentra en los líquidos gonadales. Las activinas son hormonas heterodimétricas compuestas por una subunidad  $\alpha$  y una o dos subunidades  $\beta$  ( $\beta A$  o  $\beta B$ ) la activina es un miembro totalmente funcional de los factores de crecimiento (Hafez y Hafez, 2000, p. 44).

#### **1.16. Hormonas placentarias**

Hafez y Hafez (2000, p. 45), manifiesta, algunas hormonas son producidas por la placenta, ya sea de igual o con una acción biológica similar a la de las hormonas de la reproducción en los mamíferos:



gonadotropina coriónica equina (eCG), gonadotropina coriónica humana (hCG), lactógeno placentario (PL) Y proteína B.

Gonadotropina coriónica equina (eCG): o gonadotropina del suero de la yegua preñada (PMSG) es glucoproteína con subunidades alfa y beta similares a las de la LH y FSH, pero posee un contenido mayor de carbohidratos, especialmente el ácido siálico. El ácido siálico le da una vida media larga de varios días para la gonadotropina coriónica equina. Es por ello que una sola aplicación de eCG tiene efectos biológicos por más de una semana en la glándula donde actúa. La eCG posee una función similar a la LH. La eCG incita el desarrollo de los folículos ováricos. Algunos folículos ovulan, pero la mayor parte se vuelven folículos luteinizados. La eCG fue una de las primeras gonadotropinas disponibles utilizadas en los protocolos de superovulación (Hafez y Hafez, 2000, p. 45).

Gonadotropina coriónica humana (hCG): glucoproteína de peso molecular de 40000 daltons que consta de subunidades alfa y beta. La subunidad alfa está compuesta por 92 aminoácidos y de dos cadenas de carbohidratos. La subunidad beta es parecida a las subunidades alfa de LH humano, contiene de 145 aminoácidos y cinco cadenas de carbohidratos. La hCG es principalmente luteinizante y luteotrópica y tiene escasa acción de FSH (Hafez y Hafez, 2000, p. 45).

Lactógeno placentario: Proteína con propiedades químicas semejantes al a prolactina y a la hormona de crecimiento. El lactógeno placentario es más importante por sus propiedades de hormona de crecimiento que por sus propiedades de prolactina. Es importante en la regulación de los nutrimentos maternos para el feto y posiblemente interviene en el desarrollo fetal. El lactógeno placentario puede estar implicado función en la producción de leche ya que su concentración es mayor en vacas lecheras a diferencia que en vacas de razas para carne (Hafez y Hafez, 2000, p. 45)

Proteína B: Durante la preñez temprana el feto bovino produce numerosas señales. La labor fisiológica de la proteína B puede estar implicada con la prevención de la destrucción del cuerpo amarillo en la preñez temprana de la vaca. Esta hormona tiene la posibilidad de ser la primera prueba hormonal de preñez confiable en el ganado bovino (Hafez y Hafez, 2000, p. 45)

### **1.17. Prostaglandinas**

Para Hafez y Hafez (2000, p. 46), son ácidos grasos hidroxiiinsaturados de 20 carbonos con un anillo ciclopentano. El ácido araquidónico está relacionado con ser el precursor de las prostaglandinas relacionadas con la reproducción, principalmente PGF<sub>2</sub> $\alpha$  y prostaglandina E<sub>2</sub> (PGE<sub>2</sub>). La PGF<sub>2</sub> $\alpha$  por su naturaleza luteolítica finaliza la fase lútea (cuerpo amarillo) del ciclo estral y permite el inicio de un nuevo ciclo estral en ausencia de fecundación.

### 1.18. Mecanismo de regulación hormonal del ciclo sexual

Los eventos reproductivos de los mamíferos están gobernados por una compleja cascada de acciones combinadas derivadas del sistema nervioso central (SNC), un conjunto de tejidos secretores, tejidos diana y algunas hormonas. El SNC recibe la información proveniente de señales externas, visuales, olfatorias, auditivas y táctiles del medio ambiente del animal y transportan esta información hasta el eje hipotálamo-hipófisis-ovario. El hipotálamo y la hipófisis son estructuras glandulares que están íntimamente conectadas a la parte ventral del cerebro. Ellas no solamente producen hormonas, sino que también son órganos diana, lo cual crea un sistema de retroalimentación o feedback homeostático. A través de este mecanismo de retroalimentación, la mayoría de las hormonas controlan su tasa de secreción (Alba Gómez, 2015, p. 119).

Los estímulos derivados del SNC, actúan sobre las neuronas endocrinas del hipotálamo para que originen la GnRH. Esta hormona es trasladada a través del sistema portal hipotálamo-hipofisario, hacia el lóbulo anterior de la hipófisis para que secrete la FSH y la LH. Estas tres hormonas son liberadas de manera pulsátil (Alba Gómez, 2015, p. 119). La FSH ejerce provocando el crecimiento y desarrollo de los folículos precavitarios. En aquel momento, clínicamente, aparecen los signos de proestro y del estro. Con la maduración folicular se alcanza un nivel más alto de estrógenos circulantes y el inicio de la luteinización precoz del folículo, originado por el incremento de los receptores de LH dentro del folículo (Alba Gómez, 2015, p. 119).

Este pico de estrógenos, por retroalimentación positiva, estimula a las estructuras de la parte preóptica para que se origine una descarga ovulatoria de GnRH, con la consiguiente liberación de FSH y LH hipofisaria. La LH actúa completando la maduración e induciendo la ruptura del folículo mediante la activación del complejo enzimático ovulante. El control del desarrollo folicular durante el ciclo, se hace por intermedio de las inhibinas que, son producidas por las células de la granulosa de los propios folículos. Ellas actúan por *feedback* negativa sobre la liberación de FSH hipofisaria. Posteriormente de la ovulación, el crecimiento de las células de la teca interna para que se establezca y constituya el cuerpo Lúteo (CL) es incitado por la LH, de ahí su nombre de hormona luteinizante (Alba Gómez, 2015, p. 119).

El CL formado comienza a producir la progesterona que aumenta sus niveles a medida que el tejido luteal se desarrolla como una glándula. Ya en la mitad del diestro, el CL está perfectamente constituido y alcanza el pico producción de progesterona. Desde el inicio del metaestro hasta el final del diestro, la progesterona ejerce una labor inhibidora o bloqueadora sobre la secreción de las GnRH por el efecto antagónico que ella tiene sobre la actividad sexual, que identifica al

diestro. Alrededor del día 16 del ciclo, el Cuerpo Lúteo inicia la secreción de oxitocina luteal. Esta hormona transita por vía sanguínea hasta el endometrio, donde ejerce incrementando y estimulando la síntesis y secreción de  $\text{PGF}_2\alpha$  por parte de ese órgano. Entonces, la  $\text{PGF}_2\alpha$  llega al CL por medio de la circulación útero-ovárica para inducir la lisis funcional (Luteolisis) de esa glándula. Al cesar la actividad del Cuerpo Lúteo, los niveles séricos de progesterona caen abruptamente y por consiguiente cesa el bloqueo que ella ejercía sobre la GnRH hipotalámica, reanudándose la actividad sexual (proestro) (Alba Gómez, 2015, p. 119).

### **1.19. Hormonas sintéticas usadas en la reproducción animal.**

La farmacología reproductiva hace referencia al uso de productos sintéticos para tratar las dificultades del ciclo reproductivo de los animales. Del mismo modo, optimizando la reproducción mediante la aplicación de biotecnologías reproductivas. Para corregir o tratar los problemas relacionados con reproducción en donde se desee controlar o manipular el ciclo estral, se usan esquemas a base de una hormona o el conjunto de hormonas, para el manejo de las biotécnicas reproductivas, imitando los procesos endocrinos del ciclo estral. Las hormonas sintéticas que utilizan en la reproducción son: las hormonas peptídicas hipotalámicas, hormonas glicoproteicas hipofisiarias y placentarias, esteroides sexuales, esteroides adrenales y prostaglandinas (Maldonado 2019, p. 1).

#### ***1.19.1. Características y propiedades de las hormonas de uso en la práctica reproductiva.***

Para (Maldonado, 2019, p. 3), en el manejo reproductivo los productos hormonales provienen de cinco grupos farmacológicos según su naturaleza química así tenemos:

- a) **Hormonas peptídicas hipotalámicas**, que incluye a la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH) o sus equivalentes sintéticos (buserelina, gonadorelina, ovarelina, entre otros), y la oxitocina (OXT);
- b) **Las hormonas glicoproteicas hipofisiarias y placentarias**, que incluyen la FSH y la LH, y las hormonas de origen coriónico, de peso molecular y estructura más compleja que las dos anteriores, como son la gonadotropina coriónica humana (hCG) y la gonadotropina coriónica equina (eCG) también conocida como gonadotropina sérica de la yegua preñada (PMSG);
- c) **Esteroides sexuales**, entre ellas los andrógenos, los estrógenos, y los progestágenos;
- d) **Esteroides adrenales**, que comprenden los glucocorticoides, por su implicación en la inducción del parto y como inhibidores de la GnRH;

- e) **Prostaglandinas**, en particular la prostaglandina tipo F2-alfa (PGF2 $\alpha$ ) y la prostaglandina tipo E2 (PGE2).

El grupo de hormonas indicadas anteriormente, abarca la mayoría de productos hormonales que se utilizan en tratamientos para resolver problemas reproductivos. Algunas excepciones a estos cinco grupos, son los alcaloides del grupo de la ergotamina y los inhibidores de receptores alfa-adrenérgicos que se usan para privar las concentraciones uterinas (Maldonado, 2019, p. 1).

### **1.20. Hormonas peptídicas hipotalámicas**

A este grupo pertenecen la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH) y sus derivados sintéticos, y los derivados sintéticos de la Oxitocina (OXT). Al ser de tipo polipéptido, la GnRH está compuesta de 10 aminoácidos y la oxitocina está formada de nueve aminoácidos (Maldonado, 2019, p. 3).

#### **1.20.1. Hormona GnRH.**

Principio activo: GnRH: Acetato de buserelina, Gonadorelina –HCl, acetato de Gonadorelina. (Maldonado, 2019, p. 3), manifiesta, la GnRH es el enlace entre el sistema nervioso central (SNC) y el sistema reproductivo. La GnRH es producida por diversos cuerpos neuronales denominados Neuronas GnRH-I y Neuronas GnRH-II. La GnRH es un decapeptido.

### **1.21. Las hormonas glicoproteicas hipofisarias y placentarias**

Principio activo: gonadotropina

Las hormonas glicoproteicas son glicoproteínas derivadas en la hipófisis anterior (gonadotropinas hipofisarias) y procedentes en la placenta (gonadotropinas coriónicas). Las gonadotropinas hipofisarias comprenden: la hormona estimulante del folículo (FSH) y la hormona luteinizante (LH). Las hormonas LH y FSH son producidas por células especializadas de la adenohipófisis, conocidas como gonadotropos (Maldonado, 2019, p. 10).

#### **1.21.1. FSH.**

La FSH utilizada principalmente en los protocolos superovulación (SOV) usados en las vacas donadoras de embriones, cuando es aplicada en un protocolo de superovulación la FSH promueve

el crecimiento de varios folículos que alcanzan diámetro dominante y posteriormente el diámetro preovulatorio en los programas de transferencia de embriones. (Maldonado, 2019, p. 12)

### ***1.21.2. LH.***

La hormona luteinizante dentro del uso farmacológico reproductivo es más desarrollada que el de la FSH. La LH se usa al igual que la GnRH en la inducción de la ovulación, en el tratamiento de los quistes foliculares (QF) y en los protocolos de inducción de superovulación (Maldonado, 2019, p. 13).

### ***1.21.3. eCG-PMSG.***

Principio activo: gonadotropina coriónica

La gonadotropina coriónica equina se utiliza como fuente de FSH y LH en protocolos de inducción de superovulación. Los preparados comerciales contienen un 85% de efecto LH y un 15% de efecto FSH. Se usa principalmente como fuente de FSH, en los protocolos de inducción de SOV (Maldonado 2019, p. 13).

### ***1.21.4. hCG.***

Principio activo: gonadotropina coriónica

La hCG se usa como fuente de LH en protocolos de inducción de superovulación, para actuar en la inducción de la ovulación de los Folículos Dominantes que responden al tratamiento. Los preparados comerciales tienen un 100% de efecto LH. Su uso exclusivo es como fuente de LH (Maldonado 2019, p. 13).

## **1.22. Esteroides sexuales.**

Principio activo: Medroxi progesterona, benzoato de estradiol

En este grupo de hormonas tenemos: los andrógenos, los estrógenos y los progestágenos. Todas estas hormonas tienen un origen usual en un núcleo químico denominado el Ciclopentano-perhidrofenantreno, que contiene 27 átomos de carbono, producto de la ruptura de la cadena lateral del colesterol (Maldonado, 2019, p. 13, 14).

Los análogos sintéticos hacen referencia a productos derivados del estradiol o la progesterona, a los cuales se les ha adicionado un radical específico para modificar sus propiedades farmacocinéticas y su potencial biológico (Maldonado, 2019, p. 17, 18).

### ***1.22.1. Progestágenos.***

Principio activo: medroxi-progesterona (MGA), Norgestomet, Melengestrol acetato, Altrenogest  
Los análogos sintéticos de la progesterona comprenden el acetato de medroxi-progesterona (MGA), el Megestrol, el Norgestomet y el Altrenogest. Los implantes subcutáneos o dispositivos intravaginales, la liberación de progesterona es lenta y constante, manteniéndose en altas concentraciones en sangre, que simulas las concentraciones de progesterona del diestro. Cuando el implante es retirado las concentraciones plasmáticas caen rápidamente, en un lapso de 12-24 horas (Maldonado, 2019, p. 18, 19).

### ***1.22.2. Estrógenos.***

Principio activo: benzoato de estradiol, cipionato de estradiol, valerato de estradiol.

Los análogos sintéticos del estradiol comprenden el benzoato de estradiol, el cipionato de estradiol y el valerato de estradiol. El estradiol al ser absorbido circula unido a proteínas plasmáticas y se distribuye en todos los tejidos. Una vez en la célula atraviesa la membrana plasmática y se une a receptores nucleares. La adición de ésteres como en el Benzoato de estradiol, los hace más liposolubles y aumenta su potencia biológica. La longitud de la cadena lateral aumenta la potencia biológica, por lo que el cipionato de estradiol y el valerato de estradiol, poseen efectos más prolongados (Maldonado, 2019, p. 19)

### **1.23. Esteroides adrenales: los glucocorticoides.**

Principio activo: 17-beta-Estradiol

Los glucocorticoides son esteroides producidos en la corteza adrenal (de ahí su nombre de glucocorticoides naturales). Los productos farmacológicos son todos derivados sintéticos que tienen una acción corta, acción media o acción prolongada. Sus efectos farmacológicos comprenden efectos antiinflamatorios, efectos inmunosupresores y efectos sobre diferentes procesos reproductivos, por su antagonismo sobre las acciones de la GnRH y su efecto luteolítico

en las especies donde el mantenimiento de la gestación depende del cuerpo lúteo, como los bovinos, equinos, pequeños rumiantes, y porcinos (Maldonado, 2019, p. 22).

#### **1.24. Prostaglandinas.**

Principio activo: Clorprostenol sódico, Dinoprost trometamina, D-Cloprostenol, DL-Cloprosteno, Luproston.

Según (Maldonado 2019, p. 29), en la práctica reproductiva las prostaglandinas de mayor uso son la  $PGF2\alpha$  y la  $PGE-2$ . Por sus acciones gonadotrópicas en el útero tanto la FSH como la LH, inducen la secreción de  $PGE2$  y  $PGF2\alpha$ .

**PGE2.** Ejerce efectos vasodilatadores en la circulación del endometrio y de las arteriolas foliculares y del cuerpo lúteo (Consecuente con un folículo ovulatorio). Su acción es contrarrestada por la acción de la  $PGF2\alpha$ , de tal manera que predomina su efecto vaso dilatador sobre el efecto vasoconstrictor de la  $PGF2\alpha$  (Maldonado 2019, p. 31).

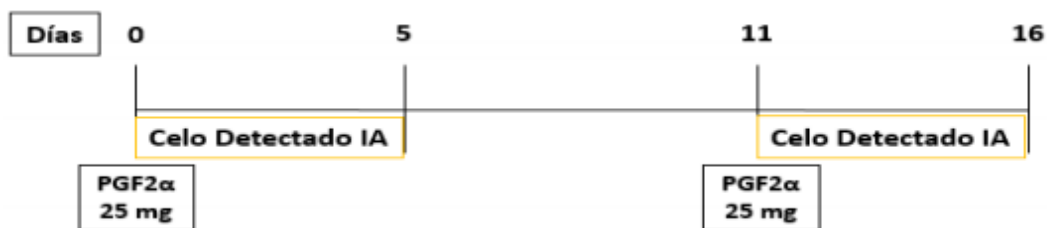
**PGF2 $\alpha$ .** Ejerce efectos vasodilatadores en la arteria folicular del folículo dominante, en los primeros días del ciclo estral, lo que ayuda la creación del cuerpo lúteo por aportar un adecuado soporte sanguíneo del cuerpo lúteo en formación. Este efecto vasodilatador es ejercido de manera excepcional sobre la arteria del folículo dominante que ovula y se convierte en cuerpo lúteo (y, por lo tanto, en la arteria lútea) (Maldonado, 2019, p. 31).

#### **1.25. Protocolos de sincronización de celo e inducción de la ovulación en bovinos.**

Los protocolos de sincronización de celo son alternativas que se utilizan para intervenir en el ciclo estral de la vaca mediante la utilización de hormonas para sincronizar los celos y con el objetivo de que se origine una ovulación en determinado tiempo en la hembra ya sea para hacer inseminación artificial o monta natural (Meza Contreras, 2017a, p. 76). El objetivo principal de los métodos de sincronización del celo y ovulaciones se basa en la manipulación de los ciclos estrales para que en todas las hembras aparezca el celo de forma simultánea o en un breve y próximo periodo de tiempo. En este contexto, se debe conocer profundamente la fisiología reproductiva de las diferentes especies domésticas que da lugar a facilitar el manejo de las hembras, aumentando de esta forma la eficacia de técnicas reproductivas que posteriormente se instauren como pueden ser la Inseminación Artificial, Transferencia de embriones e implantación de embriones (Arias, García y Lorenzo, 2017, p. 64).

### 1.25.1. Sincronización de estro con prostaglandinas

Técnica conocido también como sincronización de estros por luteólisis. Se emplean inyecciones intramusculares de prostaglandina F<sub>2</sub>α (PGF<sub>2</sub>α) Agrupando a las hembras en celo a un periodo de 2 a 5 días con un 70% de éxito en vacas que se hallan ciclando, no obstante, se debe tener en cuenta que este protocolo con prostaglandinas F<sub>2</sub>α son utilizables únicamente en vacas ciclando, no son efectivas los primeros 5 días del ciclo y se les considera abortíferas (Ramírez y Miller, 2004, p. 98), ver figura 1-1, 2-1.



**Figura 1-1:** Protocolo de uso de dos dosis de PGF<sub>2</sub>α con intervalo de 11 días.

Fuente: (Obando 2020, p. 15).



**Figura 2-1:** Protocolo de uso de dos dosis de PGF<sub>2</sub>α con intervalo de 14 días.

Fuente: (Obando 2020, p. 15).

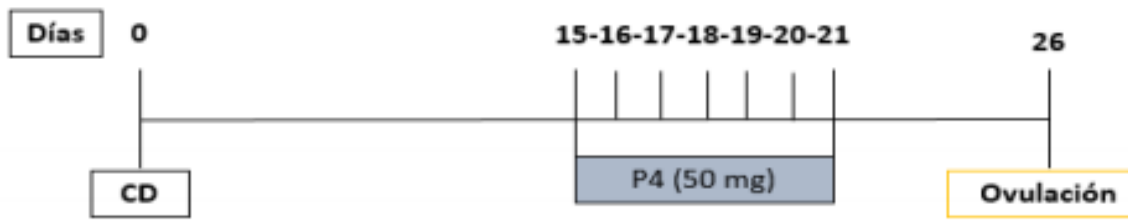
### 1.25.2. Sincronización del estro con progestágenos

Para manipular el ciclo estral de los bovinos, se han utilizado diversos procedimientos a base de progesterona o progestágenos, en distintas presentaciones y métodos de aplicación, generalmente combinados con otras hormonas de uso reproductivo, ver figura 3-1, 4-1, 5-1, 6-1, 7-1. En diferentes escenarios de manejo, genotipos y climas, el uso de progesterona ha demostrado ser una herramienta útil como agentes sincronizadores del celo (Hernández et al. 2008, p. 120).

Comercialmente encontramos diferentes productos en presentaciones tanto parenteral como de dispositivos intravaginales que liberan esta progesterona a través del epitelio de la vagina. Los



dispositivos son implantan al inicio de un protocolo en combinación con hormonas parenterales y tienen una duración de 5 a 9 días, según el protocolo (Obando 2020, p. 9).



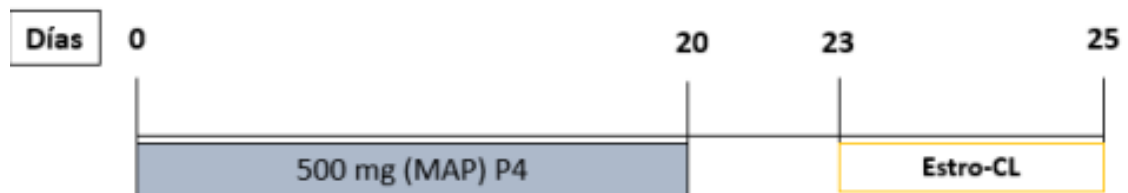
**Figura 3-1:** Protocolo de suministro de progesterona entre días

Fuente: (Obando 2020, p. 12).



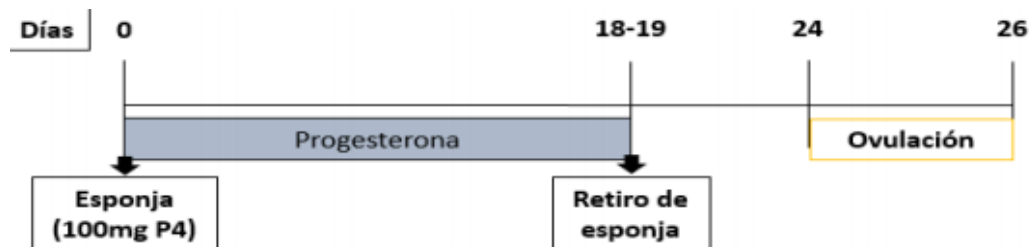
**Figura 4-1:** Protocolo de combinación de progestágenos y gonadotropina coriónica equina

Fuente: (Obando 2020, p. 15).



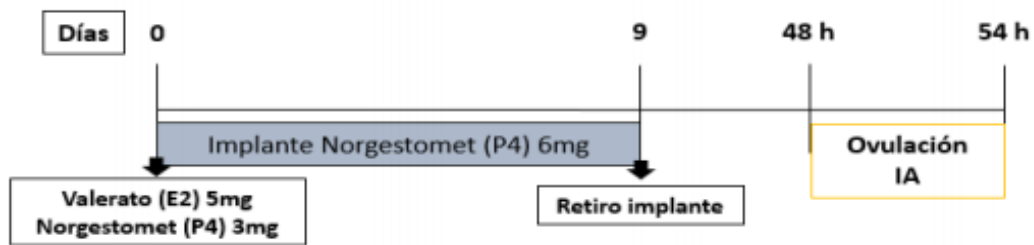
**Figura 5-1:** Protocolo con uso de medroxiprogesterona durante 20 días

Fuente: (Obando 2020, p. 13)



**Figura 6-1:** Protocolo con uso de esponjas impregnadas con progesterona durante 19 días.

Fuente: (Obando 2020, p. 14).



**Figura 7-1:** Protocolo de Norgestomet en implante auricular, apoyado por inyección y valerato de estradiol.

Fuente: (Obando 2020, p. 14).

### 1.26. Protocolos de inseminación artificial a tiempo fijo (IATF).

**Protocolo Ovsynch:** este protocolo es el más exitoso para la sincronización de la ovulación para uso de la Inseminación Artificial a tiempo Fijo en vacas lecheras lactante que utiliza GnRH. En este protocolo se administran 100 µg GnRH, y 7 días después una dosis de PGF2α y una segunda dosis de GnRH a las 48 o 56 horas de la aplicación de la PGF2α, permitiendo realizar la IATF 16 a 18 horas después, ver figura 8-1. Cuando se aplica la GnRH en presencia de un Folículo Dominante, esta consiente desencadenar la ovulación Y provoca una nueva oleada folicular 2 o 3 días después. La PGF2α al ser administrada al día 7 destruye (lisis) el Cuerpo Lúteo de la onda sincronizada, la segunda inyección de la GnRH culmina el desarrollo del folículo dominante hasta su ovulación (Obando, 2020, p. 16).



**Figura 8-1:** Protocolo Ovsynch de 7 días

Fuente: (Obando, 2020, p. 16).

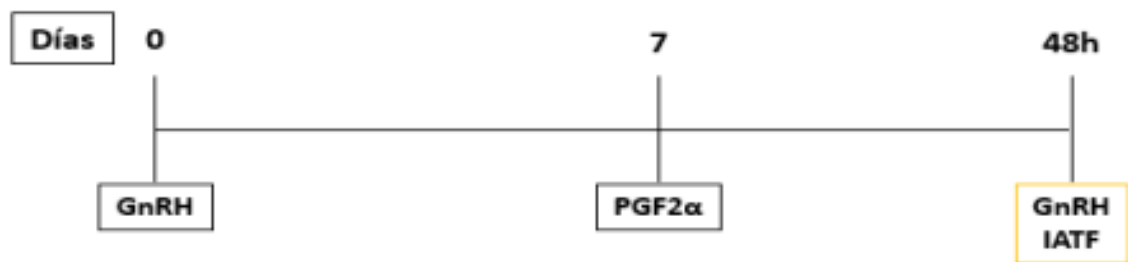
**Protocolo Presynch:** este protocolo incluye una presincronización previa con dos dosis de PGF2α con intervalo de 11 o 14 días para asegurarse que las hembras presenten un folículo dominante. El inicio de aplicación de la GnRH es 11 o 14 días después de la segunda aplicación de PGF2α, luego a los 7 días se aplica PGF2α y 48 horas después la segunda aplicación de GnRH. La Inseminación Artificial a Tiempo Fijo se realiza de 16-18 horas posterior a la aplicación de GnRH, ver figura 9-1. La certeza del protocolo en la ovulación a la segunda aplicación de GnRH es de 70-80% (Moreira et al., 2001) citado por (Obando, 2020, p. 16).



**Figura 9-1:** Protocolo Presynch: dos inyecciones previas de prostaglandinas.

Fuente: (Obando, 2020, p. 17).

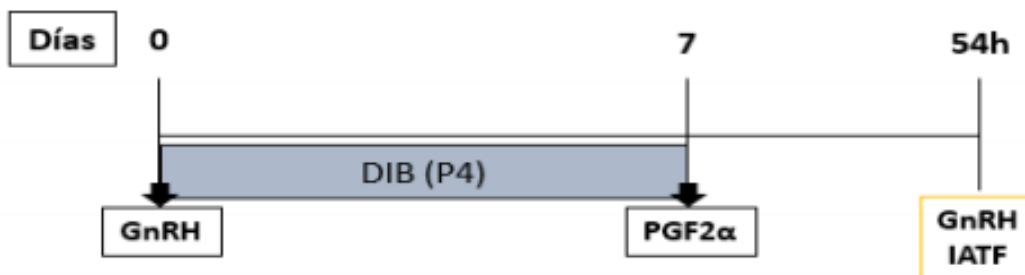
**Protocolo Co-Synch:** este programa parte con la aplicación de una dosis al día 0 de GnRH, luego al día 7 se administra PGF2α y 48 horas posterior, se administra una segunda dosis de GnRH y en el momento se hace la Inseminación Artificial (Obando, 2020, p. 17), ver figura 10-1.



**Figura 10-1:** Protocolo Co-synch convencional.

Fuente: (Obando, 2020, p. 17).

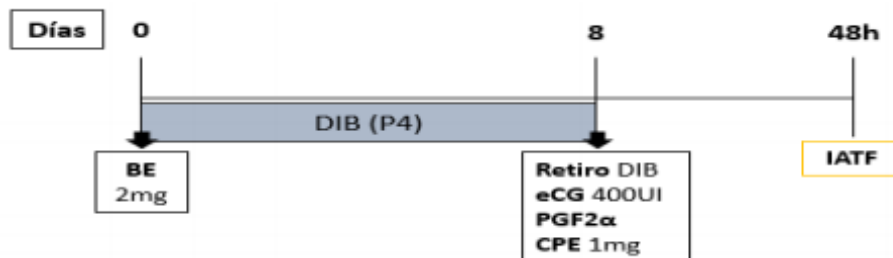
**Protocolo Co-Synch 7:** La adición de un implante de progesterona (P4) durante un programa Co-Synch en vacas se evidenció en un aumento de 10% en el porcentaje de preñez a la IATF. El protocolo parte con la implantación del dispositivo intravaginal bovino (DIB) de P4, seguido por la aplicación de una dosis de GnRH, 7 días después se retira el dispositivo y administra PGF2α. 54 horas posterior al retiro del DIB se coloca una segunda dosis de GnRH y se realiza la IATF, ver figura 11-1, (Lamb et al., 2001) citado por (Obando, 2020, p. 17, 18).



**Figura 11-1:** Protocolo Co-synch 7

Fuente: (Obando, 2020, p. 18).

**Protocolo Co-Synch 8 + E2 y eCG:** Protocolo convencional para IATF más utilizado en los países de Sudamérica en explotaciones de bovinos de carne, consiste en la aplicación de Benzoato de Estradiol (BE) por vía intramuscular junto con la aplicación de un dispositivo intravaginal de progesterona durante 8 días. Al retiro del dispositivo se aplica una dosis de PGF2 $\alpha$ , eCG y Ciprionato de Estradiol (CPE) como incitador de la ovulación, y la IATF se realiza desde las 46 a 56 h luego de retirar el dispositivo de progesterona (Obando, 2020, p. 18) ver figura 12-1.



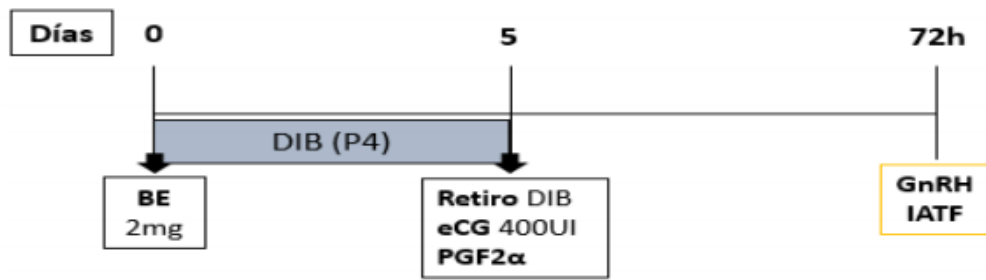
**Figura 12-1:** Protocolo Co-Synch 8, cipionato de estradiol

Fuente: (Obando, 2020, p. 19).

### Protocolo para controlar el ciclo estral basados en el alargamiento del proestro

Ré (2018, p. 24), manifiesta, en Sudamérica protocolos para Inseminación Artificial a Tiempo Fijo que utilizan dispositivos con progesterona y sales de estradiol son los más difundidos. Sin embargo, últimamente se publicaron los resultados de un tratamiento realizado utilizando un protocolo basado en benzoato de estradiol y un dispositivo con progesterona, pero donde el retiro del dispositivo con progesterona fue realizado 5 días después (en lugar de 7 u 8 días) y se alargó el proestro, aplicando GnRH como inductor de la ovulación en el momento de la IATF que fue realizada 72 horas después de la remoción del dispositivo.

**Protocolo J-Synch:** consiste en la administración de una dosis de 2 mg de Benzoato de Estradiol vía intramuscular, al implantar un dispositivo intravaginal con progesterona durante 5 días (en lugar de 8 como indica el protocolo convencional). Al momento de retirar el dispositivo de progesterona se inyecta una dosis de eCG 400UI y PGF2 $\alpha$ . A las 72 horas de remoción del dispositivo se administra se administra GnRH (en lugar de CPE al retirar el dispositivo) Como incitador de ovulación realizando la Inseminación Artificial a Tiempo Fijo en el mismo instante (Obando, 2020, p. 19) ver figura 13-1.



**Figura 13-1:** Protocolo J-Synch.

Fuente: (Obando, 2020, p. 20)

### 1.27. Uso de la ultrasonografía en la reproducción animal.

La ultrasonografía o comúnmente ecografía se ha convertido en una herramienta de uso frecuente entre profesionales, técnicos y productores dedicados a la ganadería (Fernández Sánchez, 2013, p. 8). Esta técnica ha tenido gran impacto durante las últimas décadas como valiosa herramienta utilizada en el control reproductivo y en biotecnologías creadas para bovinos, principalmente en programas de superovulación (SOV) y transferencia de embriones(TE); esta técnica facilita realizar un examen detallado del sistema reproductivo sin comprometer el potencial reproductivo de la vaca ni afectar el embrión o feto, para lo cual mediante la ultrasonografía se puede realizar un diagnóstico temprano de preñez, identificación del sexo del feto y, además, el diagnóstico de patologías reproductivas (Camargo y Barón, 2012, p. 31).

La ultrasonografía permite visualizar (en una pantalla) con exactitud tejidos vivos por medio de equipos llamados ecógrafos, tanto en su estructura interna como externa, de una forma rápida, confiable y eficaz (Robson et al. 2005, p. 1). Esta técnica que emplea los ecos, una emisión de ultrasonidos dirigida sobre una parte del cuerpo, como fuente de datos para formar o generar una imagen de los órganos o masas internas con un fin diagnóstico (Fernández Sánchez, 2013, p. 8). Un pequeño instrumento llamado transductor (sonda del ecógrafo) emite ondas de ultrasonidos. Estas ondas sonoras de alta frecuencia chocan sobre el área del cuerpo bajo estudio, y se recibe su eco. El transductor recibe el eco de las ondas sonoras y un ordenador convierte este eco en una imagen que refleja en la pantalla del ecógrafo (Fernández 2013, p. 24).

Dentro de las aplicaciones de la ecografía en reproducción animal son: diagnóstico de precoz de la gestación (alcanzando 100 % de certeza alrededor del día 28 de preñez en bovinos), permite realizar un seguimiento del desarrollo embrionario para detectar anomalías o la muerte fetal, el sexado del embrión entre los días 58 y 65 de gestación, trastornos del tracto genital y el examen de los ovarios. De esta forma, esta técnica acrecienta la capacidad del profesional para la evaluación de las estructuras reproductivas. La ultrasonografía se vuelve fundamental en

actividades como en sistemas de cría bovina, en donde es importante maximizar todos los eventos relacionados a la reproducción. Uno de los pasos para lograr este objetivo identificar aquellas hembras que no se encuentren ciclando, es decir que no han iniciado o reiniciado su actividad reproductiva para poder dar solución a través del uso de biotecnologías reproductivas, para el momento en que se inicia el servicio todas se encuentren aptas. (Robson et al. 2005, p. 1).

### ***1.27.1. Emisión del ultrasonido***

Fernández (2013, p. 24), menciona, los ultrasonidos se forman debido a la deformación resultante al hacer pasar una carga eléctrica a través de las superficies o caras de un tipo de cristales que tienen carga iónica de distribución asimétrica. Los más usados inicialmente fueron el cuarzo y el sulfato de litio, aunque actualmente se utilizan cristales de cerámica sintética, circonato de zinc, etc. En estos cristales se produce un movimiento de oscilación (fluctúa es decir se expande y contrae en relación con la frecuencia aplicada) que da lugar a la vibración del medio de propagación y de ello resulta la emisión de la onda sonora. Si repetimos ese proceso de emisión de ondas, de forma cíclica, hacia la materia podremos estudiar el comportamiento de la misma (en nuestro caso, de los tejidos orgánicos) (Fernández, 2013, p. 24).

Para Fernández (2013, p. 24), el comportamiento depende de la densidad del tejido atravesado, de forma que, en función de su impedancia acústica, las ondas pueden comportarse de maneras diversas y, según estas diferencias de propagación, los tejidos se clasifican en:

- **Tejidos anecogénicos (anecoicos):** Corresponden con estructuras llenas de líquido y se aprecian de color negro en la pantalla del ecógrafo. Se identifican porque son atravesados por las ondas.
- **Tejidos ecogénicos (ecoicos):** Corresponden con estructuras de tejido blando y se aprecian de color gris de distintas tonalidades dependiendo del tipo de tejido. Estos tejidos rechazan las ondas y permiten que una parte del sonido se refleje hacia el transductor mientras que otra parte los atraviese, de ahí la diversidad de tonalidades grises que pueden tener.
- **Tejidos hiperecogénicos (hiperecoicos):** Corresponden con estructuras óseas y aire y se aprecian de color blanco. Se identifican porque reflejan todos los ultrasonidos.

### **1.27.2. El ecógrafo**

#### **1.27.2.1. Estructura del ecógrafo**

El ecógrafo está constituido por los siguientes elementos:

**Transductor o sonda.** Se denomina transductor a cualquier dispositivo que transforma un tipo de energía en otro. Así, un transductor de sonido convertiría la energía eléctrica en energía de sonido y viceversa (Fernández, 2013, p. 28). El transductor ultrasónico es el encargado de convertir la señal eléctrica a ondas ultrasónicas en una señal de presión acústica que radia por el aire. La sonda aloja los cristales piezoeléctricos que generan los ultrasonidos hacia los tejidos y se basa en lo que se denomina efecto piezoeléctrico (Fernández, 2013, p. 28).

Existen tres tipos básicos de transductores (sondas): sectorial, lineal y convexo.

**Transmisor.** Normaliza el envío de ultrasonidos por parte del transductor.

**Receptor y amplificador de señales.** Recepta los impulsos eléctricos formados en el transductor.

**Osciloscopio o tubo catódico.** Procesa los ecos que provienen desde el amplificador de señales

### **1.28. Diagnostico con ecografía normal y ecografía Doppler**

Para Domínguez y de la Sota (2016, p. 629), la ecografía permite diagnosticar con exactitud y dar seguimiento individual a cada animal. Permite diagnosticar el estadio del ciclo estral e identificar las anomalías del útero y del ovario, estas anomalías son las responsables de la pérdidas económicas si no son diagnosticadas y corregidas a tiempo. La ecografía permite realizar diagnósticos de gestación temprana entre los 25-28 días de haber sido servidas identificando las hembras vacías para poder ser incorporadas nuevamente al programa de sincronización del estro. También, dado que se pueden visualizar los latidos del corazón, se puede valorar la viabilidad del feto. En conclusión, con la ecografía se puede determinar el sexo del feto con un 99% de eficacia entre los 60 y 75 días de gestación.

### ***1.28.1. Ecografía normal***

El uso de las nuevas tecnologías como lo es la ecografía transrectal ha aportado significativamente a conocer y comprender la función ovárica y luteal de la hembra bovina. Esta técnica posee mayor exactitud que la palpación rectal. En el mercado se puede encontrar ecógrafos altamente funcionales, manejables (portátiles) y a un costo asequible, y cada vez más utilizado en el control y manejo reproductivo (Colazo y Kastelic, 2014, p. 1). Con la ultrasonografía se puede cuantificar los cambios dinámicos en situ. La aplicación práctica de la ecografía transrectal en el control de la reproducción de los bovinos incluye la evaluación del ciclo ovárico, el diagnóstico preciso de las anomalías uterinas y ováricas, diagnóstico de temprano de preñez, identificación de hembras vacías (no gestantes), identificación de la mortalidad embrionaria y la detección de embarazos gemelares (Colazo y Kastelic, 2014, p. 1).

Otro uso práctico incluye verificar la respuesta a la terapia farmacológica u hormonal que se realiza simultáneamente con la sincronización del celo y la ovulación. La mayoría de profesionales consideran a la ultrasonografía como un medio de identificación temprana de vacas vacías. La incorporación del ultrasonido dentro de la práctica de detección de celos disminuirá errores de detección e incrementará los porcentajes de fertilidad de las explotaciones ganaderas. En las explotaciones que se utilizan programas de inseminación artificial a tiempo fijo (IATF) la ecografía se convierte en una gran herramienta que permitirá identificar a las hembras que no responden adecuadamente al protocolo y alterar el mismo ligeramente dando solución, lo que se evidenciara enormemente en sincronía y las tasas de concepción (Colazo y Kastelic, 2014, p. 1).

### ***1.28.2. Ecografía Doppler***

La ecografía Doppler color es una técnica no invasiva útil para el estudio de las estructuras reproductivas de la vaca o otras especies en la que se combina los datos anatómicos y del flujo sanguíneo para examinar su estado normal y patológico. Por lo cual este tipo de ecografía permitido valorar la función luteal, el desarrollo folicular, embrionario y el fetal, estudios recientes comprueban la gran funcionalidad de esta técnica para realizar diagnósticos más certeros de gestación y no preñez y de patologías reproductivas como: quistes foliculares o luteínicos, riesgo de mortandad embrionaria o fetal, así como predecir la respuesta superovulatoria y la eficacia en la transferencia de embriones (Rodríguez et al. 2013).



## **1.29. Variantes y actualización en protocolos de IATF.**

### ***1.29.1. Protocolo de sincronización basado en estradiol y progesterona***

Los programas de sincronización basados en la utilización con estradiol y progesterona son útiles para la formación de la onda folicular y la ovulación y consiste en implantar un dispositivo intravaginal de progesterona (P4) el día 0, al igual que la administración de 2mg de benzoato de estradiol (BE) por vía intramuscular; al combinar la progesterona con el benzoato de estradiol reducen los niveles de la hormona folículo estimulante (FSH), la hormona luteinizante (LH) y el crecimiento de folículos antrales; después de que el estradiol es metabolizado, la hormona folículo estimulante (FSH) aumenta y 4 días después de la aplicación de tratamiento se genera una nueva onda folicular. El dispositivo de progesterona es retirado a los 7 u 8 días y se continúa con la administración de una inyección prostaglandina F2 $\alpha$  (PGF2 $\alpha$ ) 2ml vía intramuscular para garantizar la luteólisis, 24 horas después de la remoción del dispositivo nuevamente se aplica una inyección de benzoato de estradiol (BE) pero en una dosis más baja de 1mg para provocar y sincronizar un pico de hormona luteinizante (LH) que se realizaría en el día 9 y se procede a realizar la Inseminación Artificial a Tiempo Fijo alrededor de las 48 a 56 horas después (Rayo, 2018, p. 7).

### ***1.29.2. Ovsynch y Cosynch - Protocolos de sincronización basados en la combinación de prostaglandina F2 $\alpha$ (PGF2 $\alpha$ ) y GnRH***

Los programas basados en la combinación de hormona liberadora de gonadotropina (GnRH) provocan la liberación de la hormona luteinizante (LH) y la hormona folículo estimulante (FSH) ayudando a la formación de la emergencia de una nueva oleada folicular. En este protocolo inicia con la primera aplicación de GnRH en el día 0 a una dosis de 100 $\mu$ g; seguido de la inyección intramuscular de prostaglandina F2 $\alpha$  (PGF2 $\alpha$ ) a una dosis de 2ml al día 7 para provocar la regresión del cuerpo lúteo y posteriormente al día 9 una segunda aplicación de hormona liberadora de gonadotropina (GnRH) que se realizaría a las 36 a 48 horas, con la misma dosis de la primera administración, lo que provocara una nueva liberación de la hormona luteinizante (LH) y la ovulación de un folículo dominante alrededor de las 30 horas, consecuentemente se procede a realizar la Inseminación Artificial a Tiempo Fijo de 16 a 20 horas antes de la ovulación (Rayo, 2018, p. 8).

### ***1.29.3. Pre-Ovsynch***

Este programa inicia con la una presincronización que se realiza con el objetivo de tener un mayor número de hembras que respondan a la primera dosis de hormona liberadora de gonadotropina (GnRH) incrementando la posibilidad de obtener un folículo de tamaño ovulatorio. En este protocolo se aplica la primera dosis de prostaglandina F2 $\alpha$  en el día 0, se repite nuevamente la aplicación de una dosis de PGF2 $\alpha$ , a los 12 días se administra la hormona liberadora de gonadotropina (GnRH) incrementando la posibilidad de que a la hora de la liberación de la hormona luteinizante (LH) se encuentre presente un folículo y a los 7 días se vuelve aplicar la dosis de prostaglandina F2 $\alpha$  (PGF2 $\alpha$ ) y a los 2 días de nuevo se administra la hormona liberadora de gonadotropina (GnRH) y al día siguiente la Inseminación Artificial a Tiempo Fijo (Rayo, 2018, p. 9)

### ***1.29.4. Doble Ovsynch***

Programa que incluye una presincronización tanto de la prostaglandina F2 $\alpha$  (PGF2 $\alpha$ ) como de la hormona liberadora de gonadotropina (GnRH). Consiste en un protocolo de Ovsynch seguido de otro con el objetivo de iniciar en el momento preciso del ciclo estral para obtener mejores resultados de fertilidad. Se inicia con la administración de una de 100 $\mu$ g de hormona liberadora de gonadotropina (GnRH) en el día 0, una dosis de prostaglandina F2 $\alpha$  en el día 7, a los 3 días se vuelve aplicar una dosis de hormona liberadora de gonadotropina (GnRH) y 7 días después se administra nuevamente GnRH, luego, se aplica una dosis de PGF2 $\alpha$  a los 3 días y 3 días después se administra la hormona liberadora de gonadotropina (GnRH), posteriormente entre las 16 a 20 horas se procede a efectuar la Inseminación Artificial a Tiempo Fijo (Rayo, 2018, p. 10)

### ***1.29.5. Protocolo de sincronización basado en Gonadotropina coriónica equina (eCG)***

También llamada gonadotropina de suero de yegua preñada (PMSG), es un producto glandular con un efecto semejante a la hormona folículo estimulante (FSH) y la hormona luteinizante (LH), incrementa los niveles de progesterona después de la ovulación, mejorando así el desarrollo embrionario y mantenimiento de la gestación (Rayo, 2018).

La hormona gonadotropina coriónica equina ha tenido un efecto favorable en animales con anestro posparto o con condiciones corporales muy bajas. Este protocolo inicia con la administración de un implante de un dispositivo intravaginal de progesterona (P4) y una inyección de benzoato de estradiol (BE) a una dosis de 2mg en el día 0, en el día 6 se aplica una inyección de una dosis de 400UI de gonadotropina coriónica equina (eCG), a las 48 horas se retira el

dispositivo de progesterona que sería en el día 8 y también se administra una dosis de prostaglandina F<sub>2α</sub>, a las 24 horas se aplica una dosis 1mg de benzoato de estradiol (BE) y a las 54 horas de haber retirado el dispositivo intravaginal se hace la Inseminación Artificial a Tiempo Fijo que sería en el día 10 (Rayo, 2018, p. 11).

## CAPITULO II.

### 2. METODOLOGIA

#### 2.1. Procedimiento para la recolección de la información

##### 2.1.1. *Búsqueda bibliográfica*

Se realizó una revisión descriptiva de investigaciones publicadas en Sede Web (internet), revistas indexadas en base de datos reconocidos, tesis doctorales, artículos científicos, libros, citas que describan la biotecnología aplicada en el control y manipulación del ciclo estral de los bovinos. Las estrategias de búsqueda se asumieron con criterio de inclusión que las fuentes consultadas traten sobre las biotecnologías aplicadas en el control y manipulación del ciclo estral de los bovinos.

##### 2.1.2. *Criterios de selección*

Las principales fuentes consultadas para la recopilación de la información de acuerdo a cada ítem fueron las siguientes:

**En lo que concierne a la biotecnología de la reproducción animal:** Arias, García y Lorenzo (2017): Biotecnologías de la reproducción aplicadas a especies de interés veterinario.; Baruselli, Reis, Marques, Nasser, y Bó, (2004): *The use of hormonal treatments to improve reproductive performance of anestrous beef cattle in tropical climates.*; Vázquez y Vidal, (2010): Horizontes en biotecnología de la reproducción animal.; Báez y Grajales, (2009) Anestro posparto en ganado bovino en el trópico.

**Sobre la fisiología del ciclo estral:** Amiridis y Cseh, (2012): *Assisted reproductive technologies in the reproductive management of small ruminants.*; Matamoros, (2017): Fundamentos de fisiología y endocrinología reproductiva en animales domésticos.; Hernández, (2016): Fisiología Clínica de la Reproducción de Bovinos Lecheros

**En la endocrinología de la hembra bovina y hormonas utilizadas en la reproducción:** Alba Gómez, (2015): La reproducción de la hembra bovina en Cuba: un enfoque agroecológico y

epizootiológico.; Maldonado, (2019): Farmacología Reproductiva aplicación en Teriogenología.; Hafez y Hafez, (2000): *Reproduction in farm animals*.

**Sobre los protocolos de sincronización de celo e inducción de la ovulación en bovinos:** Meza Contreras, (2017): Protocolos de sincronización del estro y ovulación en bovinos en Colombia.; Arias, García y Lorenzo (2017): Biotecnologías de la reproducción aplicadas a especies de interés veterinario.; Obando, (2020): Bases farmacológicas y actualización de la sincronización del celo bovino.; Ré, (2018): Tratamientos que prolongan el proestro usando estradiol y progesterona en vaquillonas de leche.; Rayo, (2018): Actualización de protocolos de inseminación artificial al tiempo fijo (IATF).

### **Sobre el uso de la ultrasonografía en la reproducción animal**

Camargo y Barón, (2012): Aplicaciones de la ultrasonografía en la reproducción bovina.; Domínguez y de la Sota, (2016): Utilización de la ultrasonografía en el manejo reproductivo en explotaciones lecheras.; Fernández, (2013): Reproducción y control ecográfico en vacuno: el ciclo estral desde una nueva perspectiva.; Colazo y Kastelic, (2014): Aspectos básicos y aplicados del uso de la ultrasonografía en el manejo reproductivo del ganado bovino.

## **2.2. Plataformas digitales, científicas, etc.**

- Ebook ESPOCH
- RESEARCHGATE
- SciELO
- Springer
- LA Referencia
- DSpace ESPOCH
- Cobuec/bibec
- redalyc
- Dialnet

## **2.3. Métodos para sistematización de la información**

La información recopilada se organizó y ordeno a través de la elaboración de tablas y/ o gráficos como método de sistematización de la información. Como herramienta bibliográfica para organizar, compartir, e insertar bibliografía, se utilizó el gestor bibliográfico Zotero.

## CAPITULO III

### 3. RESULTADOS DE INVESTIGACIONES Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Mecanismos y herramientas involucrados en el control y manipulación del ciclo estral.

Para Rayo (2018, p. 3-4), el ciclo estral de la hembra bovina está regulado por varios órganos el eje hipotálamo-hipófisis, ovario, útero y las hormonas que son las encargadas de llevar los mensajes químicos y regular las 4 fases del ciclo estral. Atuesta y Diaza, (2011, p. 15), mencionan, los acontecimientos hormonales que ocurren durante el ciclo estral están regulados por: el hipotálamo mediante la secreción de la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH); la hipófisis con la secreción de la hormona luteinizante (LH) y la hormona folículo estimulante (FSH); el folículo produce estrógenos e inhibina; el cuerpo lúteo secreta progesterona y oxitocina y el útero productor de prostaglandina  $F2\alpha$  ( $PGF2\alpha$ ). Conocer la fisiología del ciclo estral nos permite entender como las distintas hormonas que intervienen en la reproducción actúan en el ciclo.

**Tabla 1-3:** Hormonas que regulan y control del ciclo estral de la hembra bovina.

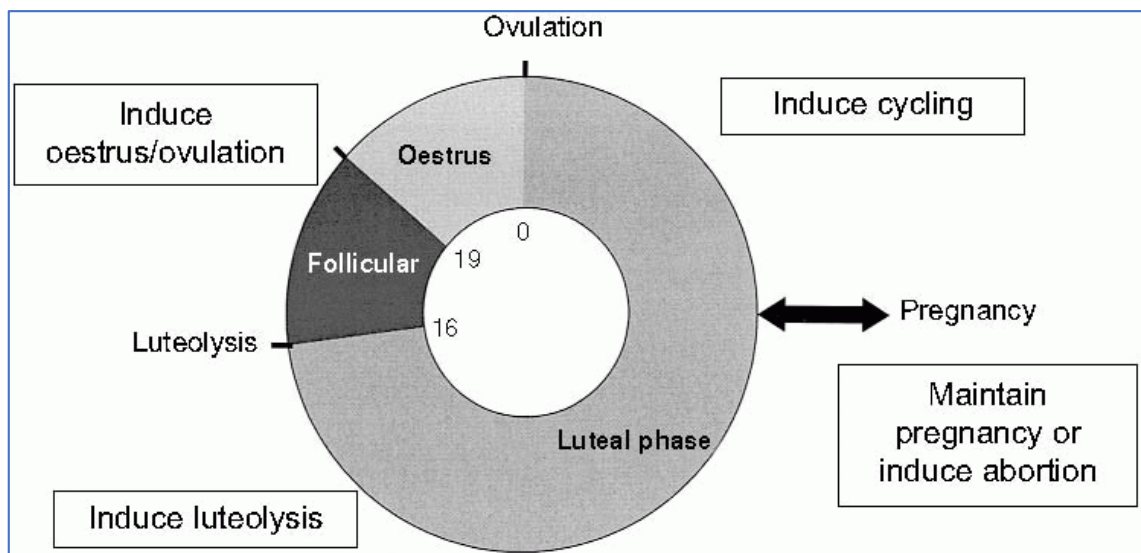
<b>Autor</b>	<b>Hormona</b>	<b>Estructura y origen</b>	<b>Funciones</b>
(Matamoros, 2017, p. 178)	Hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH)	Hipotálamo	Estimula la secreción FSH y LH por el lóbulo anterior de la hipófisis.
(Alba Gómez, 2015, p. 117).	Hormona folículo estimulante (FSH)	Glucoproteína, gonadotropos en el lóbulo anterior de la hipófisis	Considerada como la hormona iniciadora del crecimiento folicular y síntesis de estradiol por la células de la granulosa
(Maldonado, 2019, p. 13)	Hormona luteinizante (LH)	Glucoproteína, gonadotropos en el lóbulo anterior de la hipófisis	Estimula la ovulación y luteinización de los folículos ováricos (cuerpo amarillo)
(Alba Gómez, 2015, p. 117).	Estrógeno	Esteroides de 18 carbonos, producida por las células de la granulosa de folículos en crecimiento	Promueve el comportamiento sexual; estimula el desarrollo de características sexuales secundarias
(Matamoros, 2017, p. 182),	Progesterona	Esteroides de 21 carbonos, secretada por el cuerpo amarillo	Inhibe la acción de la GnRH, Prepara el aparato reproductivo para la implantación, mantiene la gestación.
(Colazo y Mapletoft, 2017, p. 43), (Maldonado, 2019, p. 31).	Prostaglandina F <sub>2α</sub>	Ácido graso de 20 carbonos, secretada por los órganos reproductores	La secreción de PGF <sub>2α</sub> por parte del útero es la principal señal hormonal que induce la regresión del CL e interrumpe la fase luteal dando lugar a la fase folicular
(Martínez et al. 2020, p. 9)	Activinas	Proteína, encontrada en el líquido folicular	Estimula la secreción de FSH
(Martínez et al. 2020, p. 8)	Inhibinas	Fracción proteica del líquido folicular	La asociación de inhibina y E2 inhibe la liberación de FSH por la hipófisis anterior a un nivel que mantiene el número específico de ovulaciones de la especie

Realizado por: Díaz, Néstor, 2021.

En la Tabla 1-3 varios autores mencionan las principales funciones que cumplen las hormonas reproductivas dentro del ciclo estral. Para Matamoros (2017, p. 178), la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH) es producida y almacenada en el hipotálamo su función es actuar en el lóbulo anterior de la hipófisis para estimular la secreción de la hormona folículo estimulante y

hormona luteinizante. Alba Gómez (2015, p. 117), menciona, la hormona folículo estimulante (FSH) es una glucoproteína producida en el lóbulo anterior de la hipófisis considerada como la hormona iniciadora del crecimiento folicular. Maldonado (2019, p. 13), manifiesta, la hormona luteinizante (LH) tiene como función estimular la ovulación y luteinización de los folículos ováricos la LH es una glucoproteína sintetizada en los gonadotropos en el lóbulo anterior de la hipófisis.

Alba Gómez (2015, p. 117), menciona, el Estrógeno es un esteroide de 18 carbonos producido por las células de la granulosa de los folículos en crecimiento cuya función es promover la conducta sexual de la hembra y estimula las características sexuales secundarias. Matamoros (2017, p. 182), manifiesta, la progesterona actúa inhibiendo la acción de la GnRH prepara el aparato reproductivo para la implantación del embrión y es la encargada de mantener la gestación. Colazo y Mapletoft (2017, p. 43) y Maldonado (2019, p. 31), concuerdan, la Prostaglandina F2 $\alpha$  es un ácido graso de 20 carbonos secretada por los órganos reproductores, la secreción de PGF2 $\alpha$  por parte del útero es la principal señal hormonal que induce la regresión del cuerpo lúteo e interrumpe la fase luteal dando lugar a la fase folicular. Para Martínez et al.,( 2020, p. 9), las Activinas e Inhibinas son proteínas encontradas en el líquido folicular la Activinas tiene la función de estimular la secreción de FSH y las Inhibinas en asociación con los E2 inhibe la liberación de FSH a un nivel que mantienen un numero de ovulaciones especifico de la especie.



**Figura 14-3:** Oportunidades de manipulación del ciclo estral

Fuente: (Squires, 2010, p. 165).

Según Squires (2010), la información sobre los factores que afectan el desarrollo de los folículos, el comportamiento estral, la ovulación y el desarrollo y regresión del cuerpo lúteo se puede utilizar para diseñar métodos para mejorar el rendimiento reproductivo, ver figura 1-3. En el ganado lechero, el objetivo es manipular el ciclo reproductivo para maximizar la producción de leche. En



el ganado de carne, el objetivo es maximizar el número de terneros La producción de un ternero por año para vacas lecheras y de carne se considera óptima.

**Tabla 2-3:** Hormonas sintéticas utilizadas en el control del ciclo estral.

<b>Finalidad</b>	<b>Hormonas</b>	<b>Autores</b>
<b>Sincronización de la onda folicular</b>	GnRH Estradiol Progesterona	(Colazo et al. 2017, p. 4) (Basto, 2019, p. 5)
<b>Control de la fase luteal</b>	PgF2α Dispositivos de progesterona	(Obando, 2020, p. 1), (Rayo, 2018, p. 6)
<b>Inducción de la ovulación</b>	GnRH Estradiol eCG LH	(Rayo, 2018, p. 4), (Bartolomé, 2020)

**Realizado por:** Díaz, Néstor, 2021.

Colazo et al., (2017, p. 4) y Basto (2019, p. 5), concuerdan, para sincronizar el crecimiento folicular se utilizan hormonas como: la hormona liberadora de gonadotropina (GnRH), estradiol y progesterona (P4). Obando (2020, p. 1) y Rayo (2018, p. 6), mencionan, para provocar la regresión del cuerpo lúteo se administra hormonas como: prostaglandina F2α (PGF2α), progesterona (P4) y estradiol. Rayo (2018, p. 4) y Bartolomé (2020), manifiestan, para la inducción de la ovulación hormonas como: estradiol, hormona liberadora de gonadotropina (GnRH), hormona luteinizante (LH) y hormona gonadotropina coriónica equina (eCG)

### **3.2. Biotecnologías reproductivas aplicadas en el control y manipulación del ciclo estral.**

En la actualidad existen preparaciones hormonales utilizadas para la manipulación del ciclo. Estas preparaciones como: análogos de GnRH, gonadotropinas, progestágenos, estrógenos y prostaglandinas permiten crear protocolos de sincronización e inducción del estro y de la ovulación. Alcanzar adecuados parámetros productivos y reproductivos es uno de los aspectos de mayor importancia que se debe considerar para que una empresa ganadera sea productiva y alcance una óptima rentabilidad.

Con el paso del tiempo, las técnicas de manejo reproductivo del ganado bovino han adquirido avances importantes. El uso de biotecnologías como técnicas de control de la reproducción ha permitido mejorar la eficiencia reproductiva de las hembras. Dentro de las biotecnologías aplicadas en el control y manipulación del ciclo estral en bovinos surgen los distintitos protocolos de sincronización e inducción de la ovulación. Estos protocolos se basan en el uso de productos

hormonales que permiten manipular el ciclo estral con la finalidad de inducir y sincronizar la presencia del estro.

**Tabla 3-3:** Rol de la hormonas reproductivas en el control de ciclo estral.

<b>Hormona</b>	<b>Rol en el control del ciclo estral</b>	<b>Autor</b>
<b>GnRH</b>	Responsable de dar inicio a los procesos reproductivos, induce la secreción de la LH y FSH.	Maldonado (2019, p.1), Morocco (2019, p. 36).
<b>Prostaglandina F2<math>\alpha</math></b>	Causa una rápida regresión del cuerpo lúteo inhibiendo la producción de progesterona.	Morocco (2019, p. 36), Delgado (2020, p. 27)
<b>Progestágenos</b>	Inhibe la secreción gonadotrófica (FSH y/o LH) y con ello la ovulación.	Jiménez (2016, p. 2), Maldonado (2019, p. 18).
<b>Estradiol</b>	Generan el inicio de una nueva onda folicular, una vez hayan destruido los existentes.	(Baos 2019, p. 29)
<b>eCG</b>	Estimula el crecimiento folicular a través de su acción de FSH y LH, incrementa las concentraciones plasmáticas de progesterona luego de la ovulación, mejora la fertilidad.	Vanegas (2020, p. 37), Morocco (2019, p. 48).

**Realizado por:** Díaz, Néstor, 2021.

### **3.2.1. Uso de GnRH**

Maldonado (2019, p.1), argumenta, esta hormona es la responsable de iniciar los procesos relacionados con la reproducción. La hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH) es la encargada de ejercer acción en la adenohipófisis para incitar la liberación de las hormonas hipofisarias reproductivas como lo es la hormona luteinizante y folículo estimulante (LH Y FSH). La secreción cíclica de LH y FSH es propia de la hembra, y muestra una significativa variación durante el pico preovulatorio. Esta oleada o pico preovulatorio es responsable de la ovulación, y dura entre 6 y 12 horas en la mayoría de las especies domésticas (Morocco, 2019, p. 36). Los equivalentes sintéticos de la GnRH inducen la ovulación cuando hay un folículo de diámetro preovulatorio: en las vacas de 1.5 a 1.8 cm (15 a 18 mm). En programas de IATF los análogos sintéticos de la GnRH se usan en diferentes tiempos a una sola dosis según el protocolo (protocolo con implante de progesterona o protocolo con dos dosis de prostaglandina) Maldonado (2019, p. 5).

### ***3.2.2. Uso de prostaglandinas para manipular el ciclo estral***

Morocco (2019, p. 36), argumenta, la PGF $2\alpha$  ocasiona una rápida regresión del cuerpo lúteo funcional con un rápido declive en la producción de progesterona. La luteólisis es frecuentemente seguida por el desarrollo de folículos ováricos y el estro con una ovulación normal. El uso prostaglandinas para sincronizar el estro es uno de los protocolos ms usados consiste en la aplicación de PGF $2\alpha$  en el día 0 y está ser repetida el día 11, a dosis de 25 mg IM, la segunda aplicación junto con parches detectores de celo, Roelofs et al., (2010) citado por Delgado (2020, p. 27), una de la función de las PGF $2\alpha$  es la lisis del cuerpo lúteo inhibiendo la producción de progesterona lo cual ocasiona que la vaca entre en celo siempre y cuando se encuentren en diestro (días 6 a 16 del ciclo estral).

### ***3.2.3. Uso de progestágenos***

Jiménez (2016, p. 2), menciona compuestos de progesterona (P4), derivados del colesterol pertenecen al grupo de los esteroides, termoestables, no se eliminan en el sistema digestivo y, liposolubles por lo que atraviesan libremente las membranas celulares. Es por ello, que las vas de administración puede ser: oral, cutánea y subcutánea, y por las mucosas rectal o vaginal. Los implantes subcutáneos o dispositivos intravaginales tienen una liberación lenta y constante, por lo que se mantienen altos niveles de producto en sangre, que imitan las concentraciones naturales la de progesterona del diestro (Maldonado, 2019, p. 18).

La sincronización del estro con esta hormona es altamente eficaz para inducir signos de celo sin embargo la ovulación seguirá bloqueada mientras permanezca el progestágeno (P4) ya que esta se priva la producción gonadotrópica (FSH y/o LH) y con ello la ovulación mientras permanezca el implante o dispositivo que al retirarlo cesará duramente el bloqueo hipofisario exhibiendo las hembras en forma sincronizada, entre 48-96 horas después de una fase folicular muestra que dará lugar al celo y ovulación a fecha prefijada (Macmillan, 2010) citado por (Jiménez 2016, p. 2).

### ***3.2.4. Uso de Estradiol***

El uso de estradiol exógeno en el control del ciclo estral tiene como objetivo desencadenar la luteólisis cuando es aplicado en la mitad del ciclo o impedir el crecimiento de un nuevo cuerpo lúteo cuando es aplicado luego de la ovulación. Así mismo el estradiol al ser aplicado al momento de la aplicación del progestágeno suprime la onda folicular presente e induce el desarrollo de una nueva onda folicular en promedio de 3 a 4 días (Bavera, 2018) citado por (Morocco, 2019, p. 40).

### 3.2.5. *Uso eCG*

Vanegas (2020, p. 37), Mencionan la gonadotropina coriónica equina desde el punto de vista farmacodinámico posee una actividad equivalente a las hormonas folículo estimulante (FHS) y luteinizantes (LH). La eCG cuando es suministrada algunas horas previas a la ovulación promueve el crecimiento folicular a través de su labor de FSH y LH, aumenta el tamaño de folículos preovulatorio, incrementa los niveles plasmáticos de progesterona luego de la ovulación, perfeccionando la implantación y desarrollo embrionario y el mantenimiento de la gestación (Morocco, 2019, p. 48).

### 3.2.6. *Variantes y actualización de los protocolos de IATF*

**Tabla 4-3:** Protocolos de Inseminación Artificial a Tiempo Fijo (IATF).

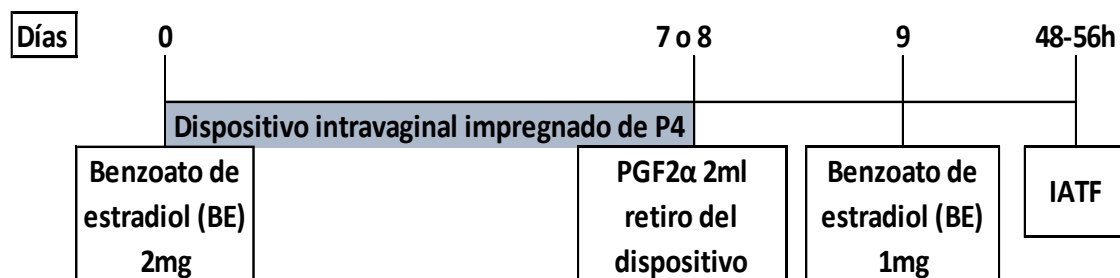
<b>Protocolo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Fin</b>	<b>Autor</b>
<b>Progesterona en combinación con estrógenos</b>	Sincronización de la onda folicular posterior a la atresia del folículo preovulatorio o en dominancia.	Bovinos de carne y leche	Rayo (2018, p. 8) y Obando (2020, p. 12)
<b>Ovsynch</b>	Controla la dinámica folicular y luteal de manera tal que el tiempo de ovulación pudiera ser sincronizado con precisión.	Bovinos de carne	Ré (2018b, p. 9,11)
<b>Cosynch</b>	Utilizan GnRH para sincronizar la onda folicular mediante la ovulación de un folículo dominante al inicio del protocolo y para sincronizar la ovulación al final del protocolo.	Bovinos de carne	(Pereira et al. 2013, p. 6904-6914), Rayo (2018, p. 8)
<b>Pre-Ovsynch</b>	Pre sincroniza a las vacas a los estados iniciales del ciclo estral para optimizar la respuesta de la GnRH.	Bovinos de carne y leche	(Abascal 2016, p. 23, 24), (Quispe 2012, p. 40).
<b>Doble Ovsynch</b>	Desarrollado para superar la limitación de la presincronización convencional respecto a las vacas anovulatorias, ya que este protocolo sólo emplea PGF2 $\alpha$ .	Vacas primíparas	Souza et al. (2008, p. 214)
<b>Basado en la administración de gonadotropina coriónica equina (eCG)</b>	Estimula el crecimiento folicular y la producción de estradiol lo cual permite la inducción de estro, además aumenta los niveles de progesterona circulante después de la ovulación lo que reduce la muerte embrionaria y mejora la fertilidad	Anestro posparto, baja condición corporal	Kizur et al. (2016, p. 14)

**Realizado por:** Díaz, Néstor, 2021.

### 3.2.6.1. Protocolo de sincronización basado en estradiol y progesterona

La incorporación de un dispositivo de P4 en combinación con estrógenos, mejoró considerablemente la sincronización de la onda folicular posterior a la atresia del folículo preovulatorio o en dominancia (Bridges et al., 2008) citado por (Obando 2020, p. 21), ver figura 2-3.

En un estudio realizado con hembras brahman donde se utilizó un protocolo para IATF basado en la aplicación de estradiol y progesterona se obtuvieron como resultado del diagnóstico de preñez, para vaconas 56% y para vacas un 55% (Delgado, 2020, p. 41).



**Figura 15-3:** Esquema protocolo de sincronización basado en estradiol y progesterona.

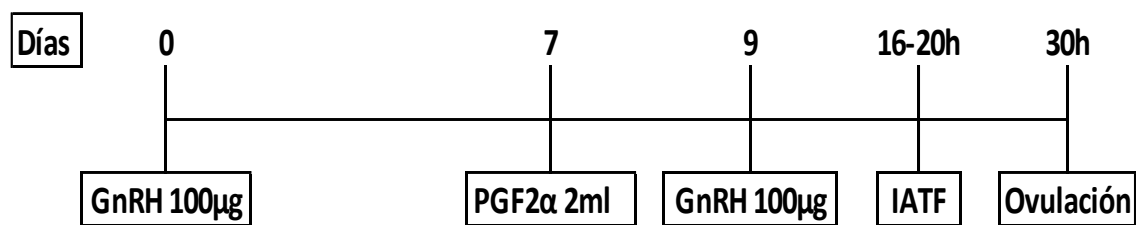
Fuente: Adaptado de Rayo (2018, p. 8) y Obando (2020, p. 12).

### 3.2.6.2. Ovsynch y Cosynch - Protocolos de sincronización basados en la combinación de prostaglandina F2α (PGF2α) y GnRH

Según Ré (2018b, p. 9,11), el desarrollo del protocolo Ovsynch se basó en la combinación de tratamientos para controlar la dinámica folicular y luteal de manera tal que el tiempo de ovulación pudiera ser sincronizado con precisión. La mejor ventana del ciclo estral para comenzar un programa Ovsynch es entre los días 5 y 10 del ciclo, debido a la presencia de un folículo dominante mayor a 10 mm lo que explica la tasa de ovulación después de la GnRH del 96% y una sincronización adecuada de la nueva onda folicular. El Cosynch resulta de una modificación del Ovsynch o Presynch en la cual las vacas reciben la IATF inmediatamente después de la administración de la segunda inyección de GnRH (Quispe, 2012, p. 41), ver figura 3-3.

Quispe (2012, p. 39), menciona luego de la segunda inyección de GnRH las vacas son servidas sin tener en cuenta las manifestaciones de estro. Algunos autores reportan que se obtienen tasa de pariciones aceptables con el servicio de las vacas en cualquier momento entre las 0 y las 24 horas posteriores a la segunda aplicación del GnRH, sin embargo, la tasa más óptima se encontró cuando se sirve a las 16 horas de la GnRH.

Estudios realizados muestran los resultados del protocolo Ovsynch que varían entre el 9% al 37%, por lo han surgido otras alternativas para complementarlo, como por ejemplo el Cosynch, el cual tiene el agregado de progestágenos P4, la administración de P4 durante 7 días junto con la inyección de GnRH mejora los porcentajes de preñez entre un 50% y un 55% en comparación con vacas en anestro tratadas con el Ovsynch tradicional (Silva y Pimentel, 2017, p. 254). Por otro lado para Guevara y Buitrago (2021, p. 26), estudios realizados con el protocolo Cosynch en vacas con ternero y han dado como resultado preñez del 49% mientras que con el protocolo Ovsynch con un 57% de preñez.



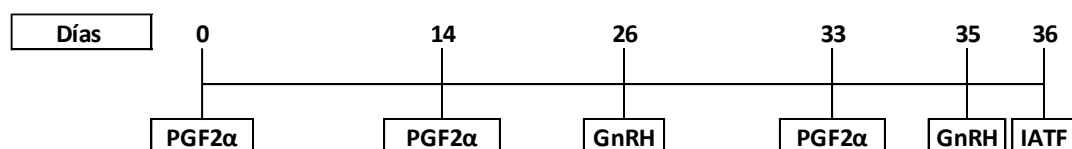
**Figura 16-314:** Esquema de protocolos basados en la combinación de PGF2 $\alpha$  y GnRH.

**Fuente:** Adaptado de Quispe (2012, p. 44), Rayo (2018, p. 36) y Ré (2018b, p. 9).

### 3.2.6.3. Pre-Ovsynch

El protocolo Pre-Ovsynch pre sincroniza a las vacas a los estados iniciales del ciclo estral para optimizar la respuesta de la GnRH, mejorando las tasas de preñez en el método Ovsynch. En este protocolo utiliza dos inyecciones de PGF antes de iniciar el protocolo de Ovsynch (Abascal 2016, p. 23, 24); Una estrategia de presincronización en la que dos inyecciones de prostaglandinas F2 $\alpha$  se administran con 14 días de intervalo precediendo la iniciación de Ovsynch en 12 días ha demostrado mejorar las tasa de concepción de vacas lecheras en producción en producción (Quispe 2012, p. 40), ver figura 4-3.

Para las vacas cíclicas, la tasa de concepción se incrementó desde el 29% para Ovsynch hasta el 43% para las vacas Presynch, sin embargo, no se detecta diferencia estadística en el tratamiento cuando se incluyeron todas las vacas en el análisis (cíclicas y anovulares). Por lo tanto, el uso de Presynch para programar vacas lecheras para recibir su primera IA posparto puede mejorar la tasa de concepción al primer servicio en un rebaño lechero (CALSAMIGLIA et al. 2012, p. 43)

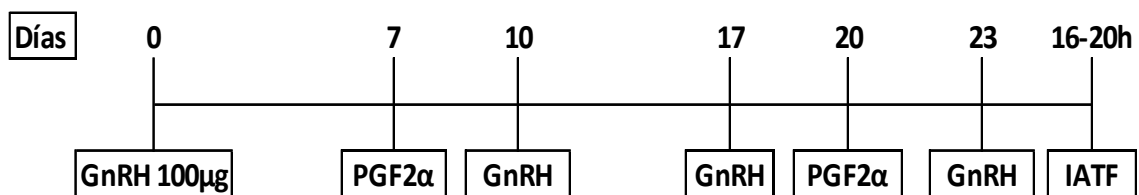


**Figura 17-3:** Esquema de protocolo Pre-Ovsynch.

**Fuente:** Adaptado de Abascal (2016, p. 23), Quispe (2012, p. 40, 41) y Rayo (2018, p.9).

### 3.2.6.4. Doble Ovsynch

Morocco (2019, p. 44) argumenta este protocolo fue desarrollado para superar las limitación de la presincronización convencional con dos inyecciones de PGF2 $\alpha$ . Souza et al. (2008, p. 214) mencionan los resultados que mostraron que las vacas tratadas con Doble Ovsynch tuvieron mejores tasas de concepción a la primera inseminación comparadas con las vacas en el tratamiento de Presynch convencional de dos inyecciones de PGF2 $\alpha$ , ver figura 5-3. Que concuerda con lo mencionado por Rayo (2018, p. 10), los doble Ovsynch han tenido mejores resultados de preñez en vacas primíparas con el 65% vs 45% pero no en vacas multíparas 38% vs 40%.

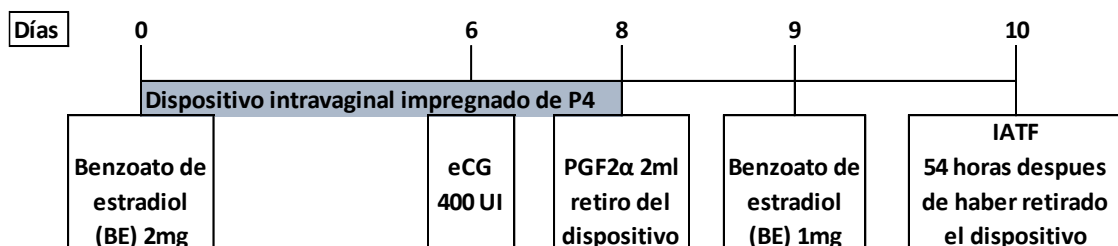


**Figura 18-3:** Esquema protocolo Doble Ovsynch.

**Fuente:** Adaptado de Morocco (2019, p. 44, 45), Souza et al. (2008, p. 212) y (Rayo 2018, p. 10).

### 3.2.6.5. Protocolo de sincronización basado en Gonadotropina coriónica equina (eCG)

Kizur et al. (2016, p. 14), manifiesta la administración de gonadotropina coriónica equina (eCG) en un protocolo con progesterona, tiene finalidad de estimular el crecimiento folicular en el ovario y la producción de estradiol, consiguiendo inducir el estro y el mejorar las tasas de ovulación en hembras acíclicas. Al mismo tiempo, este tratamiento incrementa los niveles de progesterona circulante luego de la ovulación, lo que ayudaría a evitar la muerte embrionaria y mejorar la fertilidad de las vacas tratadas, ver figura 6-3. Villavicencio et al. (2021, p. 9) menciona las tasas de preñez observadas en las vacas que recibieron eCG fueron del 73%.



**Figura 19-3:** Esquema protocolo basado en gonadotropina coriónica equina.

**Fuente:** Adaptado de Kizur et al. (2016, p. 14) y Rayo (2018, p. 10-12).

### 3.2.6.6. Uso de la ultrasonografía en el manejo reproductivo

Las nuevas tecnologías permiten al ganadero fortalecer los programas de manejo y control reproductivo, la ultrasonografía ha pasado a ser en una herramienta valiosísima para el estudio del desempeño reproductivo de la hembra bovina. Benavides (2020, p. 31) lo que incluye detección temprana de vaca vacía (25-28 días de ser inseminadas) para poder iniciar nuevamente un protocolo de sincronización y su rápido retorno al servicio, dinámica folicular ovárica y elección de los protocolos de sincronización de celo e inducción de la ovulación, diagnóstico de patologías de ovarios y útero entre otras.

Domínguez y de la Sota (2016, p. 629) argumentan por medio de la ecografía se puede hacer un diagnóstico confiable y realizar un seguimiento individual a cada animal. Además, Permite establecer el fase del ciclo estral e identificar las anomalías uterinas y ováricas que son las que originan numerosas pérdidas económicas en los sistemas de explotación pecuaria. Benavides (2020, p. 32) ha sido esta tecnología la que nos permite evaluar el patrón de la dinámica folicular ovárica y luteal, para aplicar un tratamiento de sincronización.

### 3.3. Ventajas al aplicar biotecnologías reproductivas en las explotaciones ganaderas.

**Tabla 5-3:** Ventajas de utilizar biotecnologías reproductivas en la ganadería.

Autores	Ventajas
<b>Meza Contreras (2017b, p. 12)</b>	Permite programar el estro en un tiempo determinado, proporciona una innovación en las prácticas reproductivas, mejora las tasas de concepción y permite alcanzar el mejoramiento genético.
<b>(Silva y Pimentel, 2017, p. 249)</b>	La biotecnología reproductiva permite la mejora genética a través de la manipulación del ciclo estral al lograr obtener crías con características productivas superiores,
<b>INTAGRI (2018)</b>	Ayudan a obtener mejores rendimientos reproductivos.
<b>(Hoyos y Bastidas 2017, p. 118)</b>	Permite concentrar animales en estro en un corto periodo de tiempo y optimizar la IA, programar las épocas de empadre y en consecuencia la de partos, optimizar la mano de obra, permite ser más eficientes en el manejo reproductivo.

**Realizado por:** Díaz, Néstor, 2021.

Meza Contreras (2017b, p. 12), menciona los programas de sincronización de estro, aportan a la ganadería con numerosas ventajas como: programación del estro en un determinado tiempo, genera una práctica innovadora para las técnicas reproductivas como en la inseminación artificial



y en la transferencia de embriones, programación de la temporada de partos en épocas con disponibilidad forrajera, mejora e incrementa las tasas de concepción y permite alcanzar un mejoramiento genético en las ganaderías, siendo esto evidenciado en mejores índices reproductivos y productivos, que dirigen a la sostenibilidad rentabilidad de la empresa ganadera. INTAGRI (2018), argumenta, el comportamiento reproductivo es uno de los indicadores más importantes de la ganadería, porque un manejo adecuado aumentará los índices de preñez, por lo tanto, se obtiene un número mayor de animales con los que se puede generar más recursos económicos. En la sincronización del estro se busca controlar o manipular del ciclo estral con el objetivo de que las vacas tratadas muestren celo en lapso de tiempo determinado. La sincronización de estro es una práctica muy utilizada en los programas de inseminación artificial, transferencia de embriones, concentraciones de partos y uso intensivo, por pocos días, de un toro con monta natural.

La manipulación del ciclo estral permite a los ganaderos obtener mejores rendimientos reproductivos de las explotaciones ganaderas. (Hoyos y Bastidas 2017, p. 118) mencionan las ventajas que se obtiene cuando las ganaderías utilizan esta biotecnología:

- Concentración de hembras en celo en determinado lapso de tiempo.
- Optimización de la inseminación artificial especialmente en sistemas de producción de ganado de carne.
- Programación de la temporada de partos.
- Un mejor manejo de los alimentos de acuerdo con la época del año y las categorías de animales.
- Facilita la formación de test de evaluación zootécnica para posibilitar la compra de individuos con intervalos cortos entre los nacimientos producción homogénea.
- Registro de los terneros, facilitando las prácticas de manejo y comercialización.

Según Basurto y Hernández (2002) citado por Hoyos y Bastidas (2017, p. 118), mencionan con la manipulación y control del estro destacan las siguientes ventajas:

- Alcanzar la mejora genética optimizando las técnicas reproductivas como la inseminación artificial, y la transferencia de embriones.
- Programación de la temporada de empadre consecuentemente la de partos.
- Permite planificar la contratación o destinar el personal calificado o técnicos capacitados por periodos cortos para realizar la Inseminación Artificial o transferencia de embriones de forma efectiva, con la evidente reducción del tiempo invertido en la detección del celo.

- Permite producir lotes homogéneos en cuanto a cruza, edad y peso, facilitando actividades como el manejo, la alimentación y la comercialización.
- Aumento en el número de vaquillas gestantes al inicio de la época de empadre. Las vacas primíparas requieren mayor tiempo para la siguiente concepción posparto que las multíparas, por ello debe darse prioridad para que las vaquillas o novillonas queden gestantes un par de semanas antes que el resto de las vacas.
- Incremento de los índices de eficiencia reproductiva, con épocas determinadas de partos e inducción de la actividad ovárica en las hembras que paren tardíamente.

## CONCLUSIONES

- Todos los procesos fisiológicos que se llevan dentro del sistema reproductivo de la hembra bovina para poder lograr la preñez son llevados a cabo por eventos hormonales regulados por el hipotálamo mediante la secreción de GnRH que estimula la secreción de FSH y LH, la hipófisis secreta FSH que estimula el crecimiento folicular y realizar el reclutamiento de los folículos y la LH es encargada del desarrollo y maduración del folículo y estimula la ovulación y luteinización de los folículos, el folículo secreta estrógenos que permite expresar el comportamiento sexual de la hembra a aceptar la copula o monta y la inhibina que inhibe la secreción de FSH, el cuerpo lúteo secreta progesterona que tiene la función de preparar el tracto reproductivo para la implantación del embrión y el útero productor de prostaglandina que causa la ruptura del cuerpo lúteo.
- La aplicación de diferentes hormonas es una técnica reproductiva en donde se puede controlar y manipular el ciclo estral de las hembras a través de la creación de protocolos que permiten inducir el estro y la ovulación. La aplicación de esta biotecnología reproductiva ha permitido mejorar los índices productivos y reproductivos de las explotaciones ganaderas. Aplicar una serie de hormonas como la GnRH Estradiol y Progesterona para la sincronización de la onda folicular, PgF2 $\alpha$  y dispositivos de progesterona para el control de la fase luteal, la GnRH Estradiol y LH para la inducción de la ovulación, estas combinaciones hormonales permiten manipular la fisiología reproductiva de la vaca lo cual permite la inducción y sincronización del estro y de la ovulación.
- Las biotecnología reproductiva aplicada al control y manipulación del ciclo estral es una técnica que se ha desarrollado con el objetivo concentrar el estro en un periodo determinado, mejorar las tasas de concepción, optimizar la inseminación artificial, programar la reproducción en ciertos periodos del año para que en consecuencia la temporada de partos se realicen en épocas favorables e incrementa la eficiencia reproductiva de las hembras bovinas.

## RECOMENDACIONES

- Para mejorar la eficiencia reproductiva de las hembras bovinas se debe utilizar protocolos de sincronización del estro e inducción de la ovulación que permiten programar el periodo de receptividad de la hembra y hacer uso de la inseminación artificial a tiempo fijo con la finalidad de inseminar varios animales en un mismo periodo.
- Utilizar la ultrasonografía como una herramienta para fortalecer los programas de manejo y control reproductivo, ya que esta tecnología permite evaluar el patrón de la dinámica folicular, ovárica y luteal que permite aplicar un tratamiento de sincronización específico.
- Difundir los resultados y de esta investigación como una guía sobre el uso de biotecnologías aplicadas al control y manipulación de la fisiología reproductiva de la hembra bovina, con la finalidad que los ganaderos mejoren los índices productivos y reproductivos de los hatos ganaderos.
- Sugerir la realización de un folleto informativo con el contenido de esta investigación que servirá como material explicativo para los estudiantes, técnicos y ganaderos que desean conocer más acerca del uso de biotecnologías aplicadas a la reproducción animal.

## GLOSARIO

**Anestro:** ausencia de comportamiento de celo, bien porque los animales no tienen actividad ovárica cíclica o porque no se observó el celo en animales cíclicos normales (López 2017).

**Biotecnología:** es una disciplina que dispone de un origen multidisciplinario y cuyo trabajo y conclusiones se aplican normalmente a instancias de procesos tecnológicos e industriales. Es decir, la biotecnología implica una aplicación de origen tecnológico que usa organismos vivos o sistemas biológicos para así poder crear procesos y productos que dispondrán de un uso específico (Ucha 2013, p. 1).

**Ciclo estral:** conjunto de signos fisiológicos que ocurren antes de la ovulación, el tiempo entre el estro (entre 17 a 24 días, promedio 21 días), que se divide en 2 fases y 4 etapas en bovinos, que se denominan por la estructura del ovario que gobierna, se clasifica en folicular (presencia de estrógenos) y lútea (presencia de progesterona) (Ortiz y Ávila 2020, p. 3).

**GnRH** Hormona elaborada por una parte del encéfalo que se llama hipotálamo. La hormona liberadora de gonadotropina hace que la hipófisis elabore y segregue la hormona luteinizante (LH) y la hormona foliculoestimulante (FSH). (López 2017, p. 62).

**Gonadotropina coriónica equina (eCG):** hormona fue descrita hace más de 80 años como un factor que se encuentra en la sangre circulante de la yegua preñada durante el primer tercio de la gestación. Es una variante de la LH glicosilada por las células trofoblásticas equinas. Tiene la particularidad de provocar un efecto similar tanto al de FSH como al de LH en especies diferentes a los equinos (Núñez 2014, p. 7).

**hormona foliculoestimulante (FSH):** Gonadotropina hipofisaria responsable del crecimiento folicular (López 2017, p. 62).

**Hormona luteinizante (LH):** Gonadotropina hipofisaria responsable de la maduración y ovulación de folículos ováricos y de la formación y mantenimiento del cuerpo lúteo de las hembras (López 2017, p. 63).

**Implantación:** La unión y subsecuente penetración del blastocito libre de zona pelúcida usualmente en el endometrio, que comienza 5 a 7 días después de la fecundación (López 2017, p. 62).

**Inseminación artificial a tiempo fijo (IATF):** es una gran herramienta para llevar a cabo inseminación evitando la detección de celos, mediante protocolos sencillos a realizar con responsabilidad y aplicación técnica. Busca mejorar la productividad ganadera, y ser el método más eficiente para el mejoramiento genético ganadero (Basto 2019, p. 1).

**Progesterona (P4):** La p4 es la hormona responsable de la implantación y el mantenimiento de la gestación en la mayoría de las hembras. Además, por su efecto de realimentación negativa de la producción del pico preovulatorio de la LH inhibe la ovulación de folículos dominantes. De ahí su uso como uno de los productos para los protocolos de sincronización del estro y protocolos de IATF (Maldonado 2019, p. 22).

**Prostaglandina:** hormona que regulan varios fenómenos fisiológicos y farmacológicos, como la contracción del musculo liso en los aparatos gastrointestinal y reproductivo, la erección, eyaculación, en el transporte de los espermatozoides, formación del cuerpo amarillo, el parto y la eyección de la leche (Hafez y Hafez 2000, p. 46).

**Sincronización:** es un método hormonal que agrupa la presentación de estros y la ovulación en un corto periodo, de modo que permite la utilización eficiente de la inseminación artificial (IA) con el objetivo de lograr el mayor número de hembras gestantes (Casanovas 2014, p. 14).

**Tasa de concepción:** número de hembras gestantes, expresado como porcentaje del número total de cubiertas o inseminadas (López 2017, p. 63).

## BIBLIOGRAFIA

**ABASCAL FERRIÑO, G.** Comparación de dos esquemas de sincronización de la ovulación (Ovsynch y Pre – Ovsynch) y su efecto en la tasa de preñez en búfalas de agua (*Bubalus bubalis*) [en línea] (Trabajo de titulación). (Licenciatura) Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, Guatemala. 2016. pp. 23-24 [Consulta: 2021-01-30]. Disponible en: <http://www.repositorio.usac.edu.gt/5771/>.

**ALBA GÓMEZ, L.** *La reproducción de la hembra bovina en Cuba: un enfoque agroecológico y epizootológico* [en línea]. Sancti Spíritus, Cuba: Editorial Universitaria, 2015. [Consulta: 8 noviembre 2020]. Disponible en: <http://site.ebrary.com/id/11087877>.

**AMIRIDIS, G. & CSEH, S.** "Assisted reproductive technologies in the reproductive management of small ruminants". *Animal Reproduction Science* [en línea], 2012, (Grecia) 130(3-4) pp. 152-161. ISSN 03784320. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/journal/animal-reproduction-science/vol/130/issue/3>

**ARIAS, M. & GARCÍA, R. & LORENZO, P.** *Biotechnologías de la reproducción aplicadas a especies de interés veterinario* [en línea]. 1. Madrid-España: INIA - Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria, 2017. [Consulta: 6 noviembre 2020]. Disponible en: <https://elibro.net/ereader/elibrodemo/52146>.

**ATUESTA, J. & DIAZA, Á.** "Control hormonal del ciclo estral en bovinos y ovinos". *Spei Domus* [en línea], 2011, (Colombia) 7(14), pp 15. [Consulta: 9 enero 2021]. ISSN 2382-4247. Disponible en: <https://revistas.ucc.edu.co/index.php/sp/article/view/598>.

**BAEZ, G. & GRAJALES, H.** "Anestro posparto en ganado bovino en el trópico". *Revista MVZ Córdoba* [en línea], 2009, (Colombia) 14(3), pp 1867-1868. [Consulta: 20 noviembre 2020]. ISSN 1909-0544. Disponible en: <https://revistamvz.unicordoba.edu.co/article/view/347>.

**BAOS, J.,** Implementación de un programa de mejoramiento genético, mediante el uso de la biotecnología de inseminación artificial a tiempo fijo, en la especie bovina en el municipio de Sucre (Cauca) [En línea] (Trabajo de titulación) (Zootecnista). Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, Popayán, Colombia. 2019. pp 29. [Consulta: 2021-05-21]. Disponible en: <http://repository.unad.edu.co/handle/10596/25252>.

**BARUSELLI, P. & REIS, E. & MARQUES, M. & NASSER, L. & BÓ, G.A.** "The use of hormonal treatments to improve reproductive performance of anestrus beef cattle in tropical climates". *Animal Reproduction Science*, vol. 82-83, (2004), (Brasil) pp. 479-486.

**BASTO, D.** Generalidades de inseminación artificial a tiempo fijo (IATF) en bovinos [En línea] (Trabajo de titulación). (Médico veterinario) Universidad Cooperativa de Colombia, Villavicencio, Colombia. 2019. pp. 1-5. [Consulta: 2020-11-14]. Disponible en: <https://repository.ucc.edu.co/handle/20.500.12494/12916>.

**BENAVIDES, Á.** "Estrategia para mejorar la tasa de servicio y la subsecuente tasa de preñez en vacas, utilizando la técnica de ultrasonografía". *Tierra Infinita*, vol. 6, no. 1 (2020), (Ecuador) pp. 24-34.

**BERRIO, J.** Pilares del anestro postparto en bovinos [En línea] (Trabajo de titulación). (Tesis de pregrado) Universidad Cooperativa de Colombia, Ibagué, Colombia. 2018. pp. 4-5 [Consulta: 2021-03-06]. Disponible en: <https://repository.ucc.edu.co/handle/20.500.12494/13216>.

**BRITO, R. & TAGLE, L.** *Fisiología de la reproducción animal: con elementos de biotecnología*. [En línea]. La Habana-Cuba: Editorial Félix Varela, 2010. [Consulta: 8 noviembre 2020]. Disponible en: <http://public.ebookcentral.proquest.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=3191708>.

**CALSAMIGLIA, S., DESROCHERS, A., MÜLLER, K.E., DAUGSCHIES, A., PÉREZ, J., MONTOYA, J., SÁNCHEZ, Á., FIZ, J., POZO, M., GOFF, J.P., FERREIRA, L., FRICKE, P.M., LÓPEZ, F., DE LA FUENTE, J., FUENTES, S., MARTÍNE, D., MANTECA, X., HEUWIESER, W., HOGEVEEN, H., MARADIAGA, B. y LARRY, K.** *XVII CONGRESO INTERNACIONAL ANEMBE DE MEDICINA BOVINA*. [En línea]. Santander-España: Asociación Nacional de Especialistas en Medicina Bovina de España, 2012. [Consulta: 01 diciembre 2021]. Disponible en: [https://www.unillanos.edu.co/docus/libro%20ponencias%20ANEMBE%202012\(1\).pdf#page=42](https://www.unillanos.edu.co/docus/libro%20ponencias%20ANEMBE%202012(1).pdf#page=42)

**CAMARGO, E. & BARÓN, E.** "Aplicaciones de la ultrasonografía en la reproducción bovina: revisión". *Revista Ciencia y Agricultura*, vol. 9, no. 2 (2012), (Colombia) pp. 29-37.



**CASANOVAS, D.** Mejora de la eficiencia reproductiva del ganado vacuno lechero a través del manejo [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad de Córdoba, Córdoba, España. 2014. pp 14. [Consulta: 2020-11-14]. Disponible en: [http://www.uco.es/zootecniaygestion/img/pictorex/02\\_12\\_30\\_DAVID\\_CASANOVA.pdf](http://www.uco.es/zootecniaygestion/img/pictorex/02_12_30_DAVID_CASANOVA.pdf).

**COLAZO, M. & KASTELIC, J.** *Aspectos básicos y aplicados del uso de la ultrasonografía en el manejo reproductivo del ganado bovino*. Alberta-Canadá: Livestock Research Branch, 2014. pp. 2-22 [Consulta: 8 noviembre 2020]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/262106056\\_Aspectos\\_basicos\\_y\\_aplicados\\_del\\_uso\\_de\\_la\\_ultrasonografia\\_en\\_el\\_manejo\\_reproductivo\\_del\\_ganado\\_bovino](https://www.researchgate.net/publication/262106056_Aspectos_basicos_y_aplicados_del_uso_de_la_ultrasonografia_en_el_manejo_reproductivo_del_ganado_bovino)

**COLAZO, M.G. y MAPLETOFT, R.,** "Fisiología del ciclo estral bovino". *Ciencia Veterinaria* [En línea], 2017, (Argentina) 16(2), pp. 31-46. [Consulta: 20 noviembre 2020]. ISSN 1853-8495. Disponible en: <http://170.210.120.129/index.php/veterinaria/article/view/1702/1689>

**COLAZO, M. & MAPLETOFT, R. & MARTINEZ, M. & KASTELIC, J.** "El uso de tratamientos para sincronizar el celo y la ovulación en vaquillonas". *Ciencia Veterinaria*, vol. 9, no. 1 (2017), (Canadá) pp. 4-19.

**DELGADO, A.** Evaluación de la sincronización de celo en vacas y vaconas brahman en la hacienda Don Manuel [En línea] (Trabajo de titulación). (Médico Veterinario y Zootecnista) Universidad Agraria del Ecuador, Guayaquil, Ecuador. 2020. pp. 27. [Consulta: 2020-11-20]. Disponible en: <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/DELGADO%20MENDEZ%20ALEXIS%20FARID.pdf>

**DOMÍNGUEZ, G. & DE LA SOTA, R. (ed.).** *Utilización de la ultrasonografía en el manejo reproductivo en explotaciones lecheras* [En línea]. La Plata-Argentina: Editorial Universidad Nacional de La Plata, 2016. [Consulta: 16 noviembre 2020]. Disponible en: <http://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/117505>.

**FERNÁNDEZ, M.** *El ciclo estral de la vaca*. Zaragoza-España: Servet editorial - Grupo Asís Biomedica, 2008, ISBN 978-1-5129-4299-6. pp. 23-29

**FERNÁNDEZ, M.** *Reproducción y control ecográfico en vacuno: el ciclo estral desde una nueva perspectiva*. Zaragoza-España: Servet editorial, 2013, ISBN 978-84-92569-77-9. pp.24-28.

**HAFEZ, B. & HAFEZ, E.S.E.** *Reproduction in farm animals*. 7th ed. Philadelphia- Estados Unidos: Lippincott Williams & Wilkins, 2000, ISBN 978-0-683-30577-7. pp. 33-46.

**GUEVARA GARCIA, C.A. y BUITRAGO TORO, D.F.** Actualización en los protocolos de inseminación artificial a tiempo fijo (iatf) en bovinos. [En línea] (Trabajo de titulación). (Zootecnista) Universidad Cooperativa de Colombia, Colombia. 2021. pp. 26. [Consulta: 2021-11-01]. Disponible en: <https://repository.ucc.edu.co/handle/20.500.12494/33692>.

**HERNÁNDEZ, C. & MENDOZA, J. & HIDALGO, C. & GODOY, A. & AVILA, H. & GARCÍA, S.** *Reutilización de un dispositivo liberador de progesterona (CIDR-B) para sincronizar el estro en un programa de transferencia de embriones bovinos*. México: Téc Pecú Méx, 2008, pp. 18.

**HERNÁNDEZ, J.** *Fisiología Clínica de la Reproducción de Bovinos Lecheros*. México: DCV F. Avril Braulio Ortiz, 2016, ISBN 978-607-02-8690-2. pp. 17-31.

**HOYOS, C. & BASTIDAS, Y.** Métodos de sincronización de celo en bovinos de leche aplicables para la meseta de Popayán [En línea] (Trabajo de titulación). (Zootecnista) Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Popayán, Colombia. 2017. pp. 118. [Consulta: 2021-02-21]. Disponible en: <http://repository.unad.edu.co/handle/10596/13891>.

**INTAGRI**, *Métodos de Sincronización de Celo en Bovinos*. [Blog]. 2018. [Consulta: 1 febrero 2021]. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/ganaderia/metodos-de-sincronizacion-de-celo-en-bovinos>.

**JIMÉNEZ, A.** *Manejo hormonal del ciclo estral*. Sitio Argentino de Producción Animal [Blog]. 2016. Disponible en: [http://www.produccion-animal.com.ar/informacion\\_tecnica/inseminacion\\_artificial/251-Manejo\\_hormonal.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/inseminacion_artificial/251-Manejo_hormonal.pdf).

**KIZUR, A. & GARRIDO, M. & KONRAD, J. & CRUDEL, G. & GATICA, R.** "Inducción de ciclos estrales en vacas lecheras con anestro posparto utilizando progesterona y hormonas gonadotróficas". *Revista Veterinaria* [en línea], 2016, (Argentina) 26(1), pp. 13-16. [Consulta: 20 diciembre 2020].

**LÓPEZ, P.** Eficiencia de la Prostaglandina natural vs Prostaglandina sintética en el índice de concepción en Vacas Mestizas Sincronizadas con P4 Cider [en línea] (Trabajo de titulación). (Médico veterinario zootecnista) Universidad Estatal De Bolívar. Guaranda, Ecuador. 2017. pp. 62-63 [Consulta: 2021-03-05]. Disponible en: <http://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/1996>.

**MALDONADO, J.** Farmacología Reproductiva aplicación en Teriogenologia [en línea]. Colombia: ResearchGate, 2019 [Consulta: 8 noviembre 2020]. Disponible en: <http://rgdoi.net/10.13140/RG.2.2.23029.93927>.

**MARTÍNEZ, I.Y.H., LÓPEZ, J.J.P., SANTOS, A.P.C. y SALES, J.N. de S.,** "Factores endocrinos involucrados en la divergencia y la dominancia folicular en bovinos". Spei Domus [En línea], 2020, (Colombia) 16(2), pp. 1-16. [Consulta: 19 noviembre 2020]. ISSN 2382-4247. Disponible en: <https://revistas.ucc.edu.co/index.php/sp/article/view/3970>

**MATAMOROS, R.,** *Fundamentos de fisiología y endocrinología reproductiva en animales domésticos*. Santiago de Chile-Chile: RIL editores, 2017. ISBN 978-1-5129-6266-6. pp. 177-178.

**MEZA CONTRERAS, G.** Protocolos de sincronización del estro y ovulación en bovinos en Colombia [en línea] (Trabajo de titulación). (Zootecnista) Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Popayán, Colombia. 2017. pp. 12-76. [Consulta: 2020-11-12]. Disponible en: <http://repository.unad.edu.co/handle/10596/23128>.

**MOROCCO, E.** Evaluación de la Técnica de Sincronización de Doble Ovsynch al Primer Servicio en Vacas Lecheras Post Parto en el Distrito de Santa Rita de Sigwas Provincia de Arequipa [en línea] (Trabajo de titulación). (Médico Veterinario y Zootecnista) Universidad Católica de Santa María, Arequipa, Perú. 2019. pp. 36-44. [Consulta: 8 noviembre 2020]. Disponible en: <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/UCSM/8908/68.0868.VZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**NÚÑEZ OLIVERA, R.** Uso de gonadotrofina coriónica equina en la sincronización de la ovulación y el mantenimiento de la gestación en vacas de carne [en línea] (Trabajo de titulación). (Magíster en Reproducción Bovina) Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Colombia. 2014. pp. 7. [Consulta: 2021-03-05]. Disponible en: <https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/1501>.

**OBANDO, D.** Bases farmacológicas y actualización de la sincronización del celo bovino [en línea] (Trabajo de titulación). (Médico Veterinario y Zootecnista) Universidad Cooperativa de Colombia, Villavicencio, Colombia. 2020. pp 12-21 [Consulta: 2020-11-14]. Disponible en: <https://repository.ucc.edu.co/handle/20.500.12494/17467>.

**ORTIZ SANABRIA, S. & AVILA PARRA, K.** Fundamentos y métodos actuales de detección de celo en bovinos [en línea] (Trabajo de titulación). (Médico Veterinario y Zootecnista) Universidad Cooperativa de Colombia, Villavicencio, Colombia. 2020. pp. 3. [Consulta: 2020-11-03]. Disponible en: <https://repository.ucc.edu.co/handle/20.500.12494/17509>.

**PALMA, G.** *Bioteología de la Reproducción*. Buenos Aires-Argentina: Gustavo Palma, 2001. ISBN 978-987-43-3779-5, pp. 1.

**PEREIRA, M.H.C., RODRIGUES, A.D.P., MARTINS, T., OLIVEIRA, W.V.C., SILVEIRA, P.S.A., WILTBANK, M.C. y VASCONCELOS, J.L.M.,** "Timed artificial insemination programs during the summer in lactating dairy cows: Comparison of the 5-d Cosynch protocol with an estrogen/progesterone-based protocol". *Journal of Dairy Science* [En línea], 2013, (Estados Unidos) 96(11), pp. 6904-6914. [Consulta: 02 enero 2021]. ISSN 0022-0302. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030213006309>

**QUISPE, H.** Tratamientos Hormonales para Mejorar la Fertilidad [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2012. pp. 40-44 [Consulta: 2021-01-30]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2102>.

**RAMÍREZ, C.** Inducción y Sincronización del Celos con Implante Intravaginal (CIDR) Más Estrógeno y Prostaglandina F2a en Vacas Holstein Friesian Mestizas [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2012. pp. 3. [Consulta: 14 noviembre 2020-11-14]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/1662>.

**RAMÍREZ, J. & MILLER, B.** *Adelantos biotécnicos en reproducción animal aplicada a bovinos de carne*. Chihuahua, México: Universidad Autónoma de Chihuahua, Dirección de Extensión y Difusión Cultural: Sindicato del Personal Académico de la UACH, 2004. ISBN 978-970-748-007-0, pp. 98.

**RAYO, A.** Actualización de protocolos de inseminación artificial al tiempo fijo (IATF) [En línea] (Trabajo de titulación). (Médico Veterinario Zootecnista) Universidad Cooperativa de Colombia, Tolima, Colombia. 2018. pp. 3-1. [Consulta: 2020-11-16]. Disponible en: <https://repository.ucc.edu.co/handle/20.500.12494/13227>.

**RÉ, M.** Tratamientos que prolongan el proestro usando estradiol y progesterona en vaquillonas de leche [En línea] (Trabajo de titulación). (Magíster en Reproducción Bovina) Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Colombia. 2018. pp. 9-24. Consulta: 2020-11-16]. Disponible en: <https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/6733/R%C3%A9%2c%20Mart%C3%ADn%20G.%20-%20Tratamientos%20que%20prolongan%20el%20proestro%20usando%20estradiol%20y%20progesterona%20en%20vaquillonas%20de%20leche.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

**ROBSON, C. & VOGEL, R. & CEISER, R. & SAMPEDRO, D.** Nuevas tecnologías para optimizar el desempeño reproductivo del rodeo de cría. [En línea]. 20 Argentina: Sitio Argentino de Producción Animal, 2005. [Consulta: 16 noviembre 2020]. Disponible en: [http://www.produccion-animal.com.ar/informacion\\_tecnica/ecografia\\_ultrasonido/00-ecografia\\_ultrasonido.htm](http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/ecografia_ultrasonido/00-ecografia_ultrasonido.htm).

**RODRÍGUEZ, L. & ABUELO, A. & BEJAR, J. & CAZAPAL, C. & LÓPEZ, L. & PÉREZ, A. & SANCHÍS, J. & VIGO, M. & TELJEIRA, R. & CONTRERAS, J. & BECERRA, J. & BARRIO, M. & HERRADÓN, P. & QUINTELA, A.** El uso de la ecografía doppler color en el control reproductivo del vacuno [en línea]. España: PortalVeterinaria, 2013. [Consulta: 8 noviembre 2020] [.oli/articulos/9663/el-uso-de-la-ecografia-doppler-color-en-el-control-reproductivo-del-vacuno.html](http://www.portalveterinaria.com/oli/articulos/9663/el-uso-de-la-ecografia-doppler-color-en-el-control-reproductivo-del-vacuno.html).

**ROSENDO, A. & ROSALES, F. & SÁNCHEZ, J.** Sincronización de estro en vaquillas criollas Lechero Tropical puras y mestizas. [en línea]. México: ResearchGate, 2017. [Consulta: 8 noviembre 2020]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/331998780\\_Sincronizacion\\_de\\_estro\\_en\\_vaquillas\\_criollas\\_Lechero\\_Tropical\\_puras\\_y\\_mestizas](https://www.researchgate.net/publication/331998780_Sincronizacion_de_estro_en_vaquillas_criollas_Lechero_Tropical_puras_y_mestizas)

**SILVA, M.A.M. y PIMENTEL, L.A.,** "Mejoramiento genético en bovinos a través de la inseminación artificial y la inseminación artificial a tiempo fijo". Revista de Investigación Agraria

y Ambiental [En línea], 2017, (Colombia) 8(2), pp. 247-259. [Consulta: 25 enero 2021]. ISSN 2145-6453. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6285365>

**SOUZA, A. & AYRES, H. & FERREIRA, R. & WILTBANK, M.** "A new presynchronization system (Double-Ovsynch) increases fertility at first postpartum timed AI in lactating dairy cows". *Theriogenology*, vol. 70, no. 2, (2008). (Brasil) pp. 208-215.

**SQUIRES, E.** *Applied animal endocrinology*. 2º ed . Wallingford-Inglaterra: CABI, 2010. ISBN 978-1-84593-755-3, pp. 165.

**UCHA, F.** Definición de Biotecnología. [en línea]. Brasil: Definición ABC, 2013 [Consulta: 5 marzo 2021]. Disponible en: <https://www.definicionabc.com/ciencia/biotecnologia.php>.

**VANEGAS, E.** Efecto de la gonadotropina coriónica equina (eCG) en la tasa de preñez en vacas Brahman con protocolos de inseminación artificial a tiempo fijo (IATF) en condiciones de altitud [en línea] (Trabajo de titulación). (Médico Veterinario Zootecnista) Universidad Politécnica Salesiana, Sede Cuenca, Cuenca, Ecuador. 2020. pp. 37. S.l.: s.n. [Consulta: 2021-01-30]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19468>.

**VÁZQUEZ, J. & VIDAL, M.** **Horizontes en biotecnología de la reproducción animal.** Murcia-España: Academia de Ciencias de la Región de Murcia, 2010. ISBN 978-84-613-7395-6, pp. 19.

**VILLAVICENCIO, J.L.E., PALACIOS-ESPINOSA, A., ORTEGA-PÉREZ, R., GUILLÉN-TRUJILLO, A. y MANRÍQUEZ-HIRALES, E.,** "Inseminación artificial a tiempo fijo y reinseminación de vacas para carne tratadas con y sin gonadotropina coriónica equina". *Nova Scientia* [En línea], 2021, (México) 13(27), p. 9. [Consulta: 2 diciembre 2021]. ISSN 2007-0705. Disponible en: <http://novascientia.delasalle.edu.mx/ojs/index.php/Nova/article/view/2747>.