



---

---

Universidad Autónoma del Estado de México  
Centro Universitario UAEM Amecameca

Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia

**MANUAL DE PROTOCOLOS DE SINCRONIZACIÓN EN TIEMPO  
FIJO EN GANADO LECHERO**

**TESINA**

PARA OBTENER EL TÍTULO DE MÉDICA VETERINARIA  
ZOOTECNISTA

Presenta

Daniela Díaz Bolaños

Asesor

Dr. Enrique Espinosa Ayala

Co Asesor

Dr. Pedro Abel Hernández García

Amecameca, México a Octubre de 2018

## Dedicatoria

A mis padres Mercedes y Santiago, les dedico este logro en mi vida que con ayuda de su esfuerzo, dedicación, confianza lo hicieron posible, por apoyarme siempre en todo durante la carrera, gracias por enseñarme a luchar por lo que queremos en la vida y no darme por vencida, así como el darme la oportunidad de estudiar lo que me apasionaba y siempre confiar en mí y apoyarme en cualquier decisión, gracias por todo.

## Agradecimientos

A mi asesor Enrique Espinosa Ayala por brindarme su apoyo, conocimiento, experiencia profesional, así como el tiempo necesario durante la elaboración de este documento, y durante la carrera, gracias por motivarme, estar pendiente de mis avances y correcciones para obtener excelentes resultados.

A mi co asesor Pedro Abel Hernández García por ayudarme a la realización de este documento, por los consejos durante la elaboración de este documento, así como el compartir su experiencia profesional, conocimientos, por darme sus puntos de vista buenos y malos.

A mis revisores por formar parte importante también al momento de realizar mi trabajo, por estar al pendiente de todo detalle, por su tiempo que se tomaron para la revisión del mismo, ya que hacían su mejor esfuerzo para obtener un buen documento.

A mis profesores porque a lo largo de la carrera me brindaron sus conocimientos y también formaron parte de mi formación como profesional.

## Resumen

La presente tesina tuvo como objetivo generar un manual técnico que incluyera las principales técnicas y métodos reproductivos; realizando una revisión exhaustiva así como documentar los principales avances reproductivos, con la ayuda de documentos de carácter técnico y científico como lo son journals de reconocimiento, revistas con rigor científico, bases de datos, libros, entre otros; con la finalidad de obtener información pertinente, adecuada y amplia, debido a que actualmente las fallas reproductivas generan gran cantidad de pérdidas económicas a causa de la baja producción de leche y a los desechos voluntarios. Actualmente los empleos de técnicas reproductivas en el ganado bovino lechero han demostrado ser de gran ayuda para los sistemas de producción, de esta manera se pudo concluir que existen diversos protocolos reproductivos que mejoran la tasa de preñez, siendo el protocolo ovsynch uno de los más empleados debido a su mejor respuesta ya que puede lograr desde un 30 a un 55% de tasa de preñez.

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>1. Antecedentes.....</b>	<b>3</b>
<b>1.1 Producción de leche .....</b>	<b>3</b>
1.1.2 Producción de leche en México.....	5
1.1.3 Sistemas de producción de leche en México.....	9
1.1.3.1 Sistema intensivo .....	10
1.1.3.2. Sistema semi-intensivo .....	11
1.1.3.3. Sistema de doble propósito.....	11
1.1.3.4. Producción familiar.....	12
<b>1.2. Anatomía del aparato reproductor de la hembra .....</b>	<b>14</b>
1.2.1. Vulva .....	15
1.2.2. Vagina.....	15
1.2.3. Cérvix.....	15
1.2.4. Útero .....	16
1.2.5. Ovarios.....	17
1.2.5.1. Folículo.....	17
1.2.5.2. Cuerpo lúteo.....	18
<b>1.3. Anatomía del macho .....</b>	<b>18</b>
1.3.1. Testículos.....	18
1.3.2. Epidídimo .....	19
1.3.3. Glándulas accesorias.....	19
1.3.4. Pene.....	21
<b>1.4. Endocrinología de la reproducción .....</b>	<b>21</b>
1.4.1. Hormona Hipotalámica (GnRH).....	22
1.4.2. Hormonas Adenohipofisarias (FSH) y (LH) .....	23
1.4.3. Oxitocina .....	23
1.4.4. Estrógenos.....	24
1.4.5. Progesterona .....	25
1.4.6. Prostaglandinas .....	25
<b>1.5. Fisiología del aparato reproductor de la hembra bovina .....</b>	<b>26</b>
1.5.1. Dinámica folicular.....	28
1.5.1.2. Proceso de reclutamiento.....	29
1.5.1.3. Proceso de selección y dominancia .....	30
1.5.1.4. Proceso de atresia .....	30
1.5.2. Ondas foliculares .....	30
1.6. Foliculogénesis y desarrollo folicular .....	31
1.6.1. Folículos primordiales .....	32
1.6.2. Folículo primario .....	33
1.6.3. Folículo secundario.....	33
1.6.4. Folículo de Graff .....	33
1.6.5. Cuerpo hemorrágico .....	34

1.6.6. Cuerpo lúteo .....	34
<b>1.7. Ciclo reproductivo .....</b>	<b>35</b>
1.7.1. Fase folicular.....	35
1.7.2. Fase periovulatoria .....	36
1.7.3. Fase lútea .....	37
<b>1.8 Reproducción aplicada .....</b>	<b>37</b>
1.8.1. Inseminación artificial.....	39
1.8.2. Inseminación artificial a tiempo fijo .....	40
1.8.3. Sincronización de celos .....	41
1.8.4. Transferencia embrionaria en bovinos.....	42
<b>1.9. Protocolos de sincronización.....</b>	<b>43</b>
1.9.1. Ovsynch .....	44
<b>2. Planteamiento del problema .....</b>	<b>45</b>
<b>3. Justificación .....</b>	<b>46</b>
<b>4. Objetivos .....</b>	<b>47</b>
<b>5. Materiales y métodos.....</b>	<b>48</b>
<b>6. Resultados .....</b>	<b>50</b>
6.1. Protocolos de sincronización en ganado lechero.....	50
6.2. Principales hormonas utilizadas en los protocolos de sincronización	51
6.3. Protocolo Targeted Breeding .....	53
6.4. Protocolo Presynch.....	54
6.5. Protocolo Ovsynch.....	56
6.6. Presynch + Ovsynch .....	59
6.7. Protocolo Cosynch.....	61
6.8. CIDR.....	62
6.9. Presynch + CIDR.....	63
6.10. CIDR+ Ovsynch.....	64
6.11. Heatsynch .....	65
<b>7. Conclusiones.....</b>	<b>68</b>
<b>6. Bibliografía.....</b>	<b>69</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>80</b>
Equipo de inseminación artificial.....	80
Técnica de cuidado de semen.....	81
Técnica de inseminación artificial .....	82
Dispositivos intravaginales .....	84

<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>PAGINAS</b>
<b>Figura 1. Principales especies productoras de leche en el mundo.....</b>	<b>3</b>
<b>Figura 2. Principales países productores de leche bovina en el mundo .....</b>	<b>5</b>
<b>Cuadro1. Principales estados productores de leche bovina .....</b>	<b>7</b>
<b>Figura 3. Producción anual de leche hasta el 2016 y expectativa del 2017 (miles de litros).....</b>	<b>8</b>
<b>Figura 4. Sistemas de producción en México .....</b>	<b>10</b>
<b>Figura 5. Anatomía reproductiva de la hembra.....</b>	<b>14</b>
<b>Figura 6. Útero y Cérvix de hembra bovina .....</b>	<b>16</b>
<b>Figura 7. Eje hipotálamo-hipófisis-ovario .....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 8. Dinámica folicular .....</b>	<b>29</b>
<b>Figura 9. Esquema de la presentación de las ondas foliculares. ....</b>	<b>31</b>
<b>Figura 10. Desarrollo folicular .....</b>	<b>32</b>
<b>Figura 11. Protocolo targeted breeding .....</b>	<b>53</b>
<b>Figura 12. Protocolo presynch.....</b>	<b>55</b>
<b>Figura 13. Protocolo Ovsynch .....</b>	<b>57</b>
<b>Figura 14. Protocolo Presynch + Ovsynch .....</b>	<b>60</b>
<b>Figura 15. Protocolo Cosynch.....</b>	<b>61</b>
<b>Figura 17. Protocolo CIDR + Ovsynch.....</b>	<b>65</b>
<b>Figura 18. Protocolo Heatsynch .....</b>	<b>66</b>

<b>ÍNDICE DE CUADROS</b>	<b>PAGINAS</b>
<b>Cuadro1. Principales estados productores de leche bovina .....</b>	<b>7</b>
<b>Cuadro 2. Aplicación de biotecnologías reproductivas.....</b>	<b>38</b>
<b>Cuadro 3. Hormonas usadas en la reproducción bovina .....</b>	<b>52</b>

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la leche del ganado bovino es uno de los productos más importantes del sector pecuario, ya que es un alimento básico para toda la población, la alta demanda de la leche de ganado bovino ha influido para que la producción de leche se desarrolle en todas las regiones y estados de la república mexicana (Sifuentes *et al.*, 2005), debido a esto se comercializa no solo en forma de leche, también en otros productos alimenticios como son el queso, mantequilla, yogurt, nata, entre otros (ASERCA, 2010).

En México existen diversos sistemas de producción de leche de ganado bovino, como primer lugar está el sistema intensivo, semi- intensivo, doble propósito y familiar, distinguiéndose por su heterogeneidad productiva, nivel productivo, tecnificación, así como el tamaño de las unidades de producción (Martínez *et al.*, 2012).

La dinámica actual de la producción de leche, así como los aspectos económicos requieren de una mejora en las prácticas de manejo con la intención de incrementar la rentabilidad de los sistemas de producción lechera (Bó *et al.*, 2009 b), es por esto que el uso de biotecnologías en reproducción animal representa una gran oportunidad para mejorar la eficiencia reproductiva, productiva y por consecuencia la económica (Córdova *et al.*, 2011).

A partir de la década de 1990 se han desarrollado protocolos y técnicas reproductivas para mejorar la eficiencia reproductiva de los animales como son: los protocolos de dosis múltiples de hormonas que son diseñados para sincronizar el estro en el sistema de producción, protocolos de dosis única con la misma finalidad pero reduciendo así el costo del tratamiento, así como el desarrollo de dispositivos intravaginales (Ptaszynska, 2007); dichas técnicas han mostrado una eficiencia elevada incrementando la fertilidad, disminuyendo los problemas de detección de estros y por consecuencia mejorando la tasa de preñez, obteniendo así una mejora económica ya



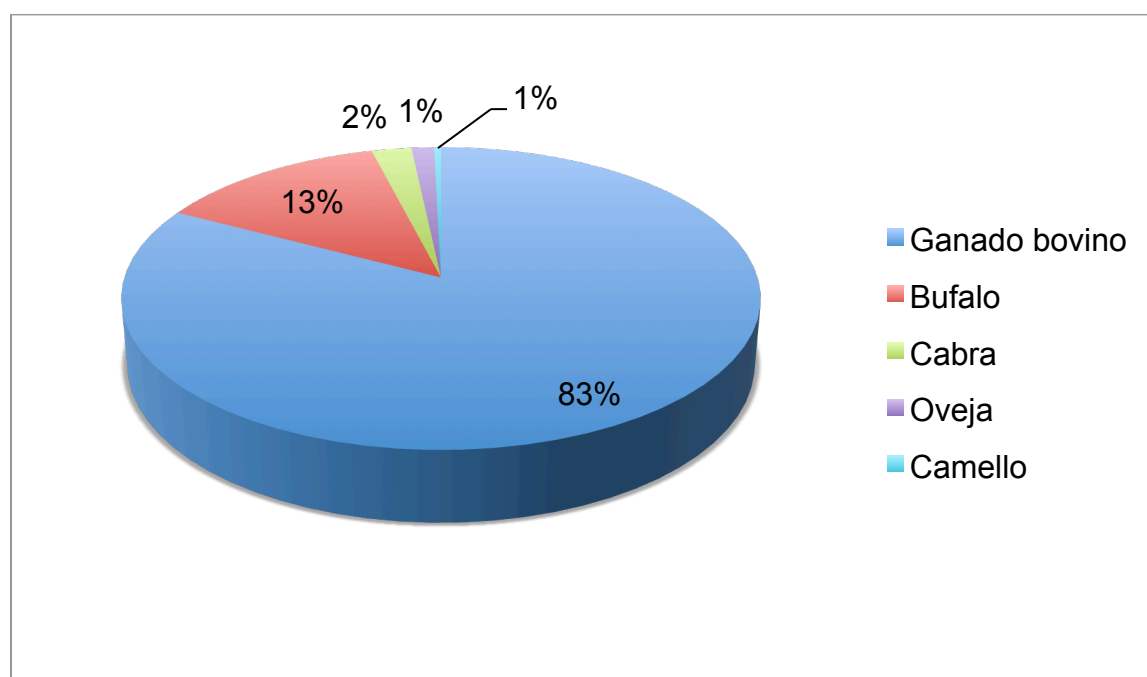
que se disminuye el número de animales por desecho reproductivo, así como un incremento en el número de crías para venta o recria.

La intención de la presente tesina es generar un manual para poder realizar técnicas relacionadas a la reproducción de bovinos productores de leche con la intención de poder dar elementos para la integración de un programa reproductivo que incremente la tasa de preñez en hatos lecheros.

## 1. Antecedentes

### 1.1 Producción de leche

La leche es un producto que se produce y consume básicamente en todos los países del mundo, posicionándose entre los primeros cinco productos agrícolas, proviniendo principalmente de ganado vacuno, búfalos, cabra, oveja y camello (Figura 1), aunque también existen otros animales lecheros menos comunes como lo son los yaks, caballos, renos y burros; la presencia e importancia de cada especie varía según la región y el país, así como la demanda de mercado, tradiciones alimentarias y características socioeconómicas (FAO, 2016).



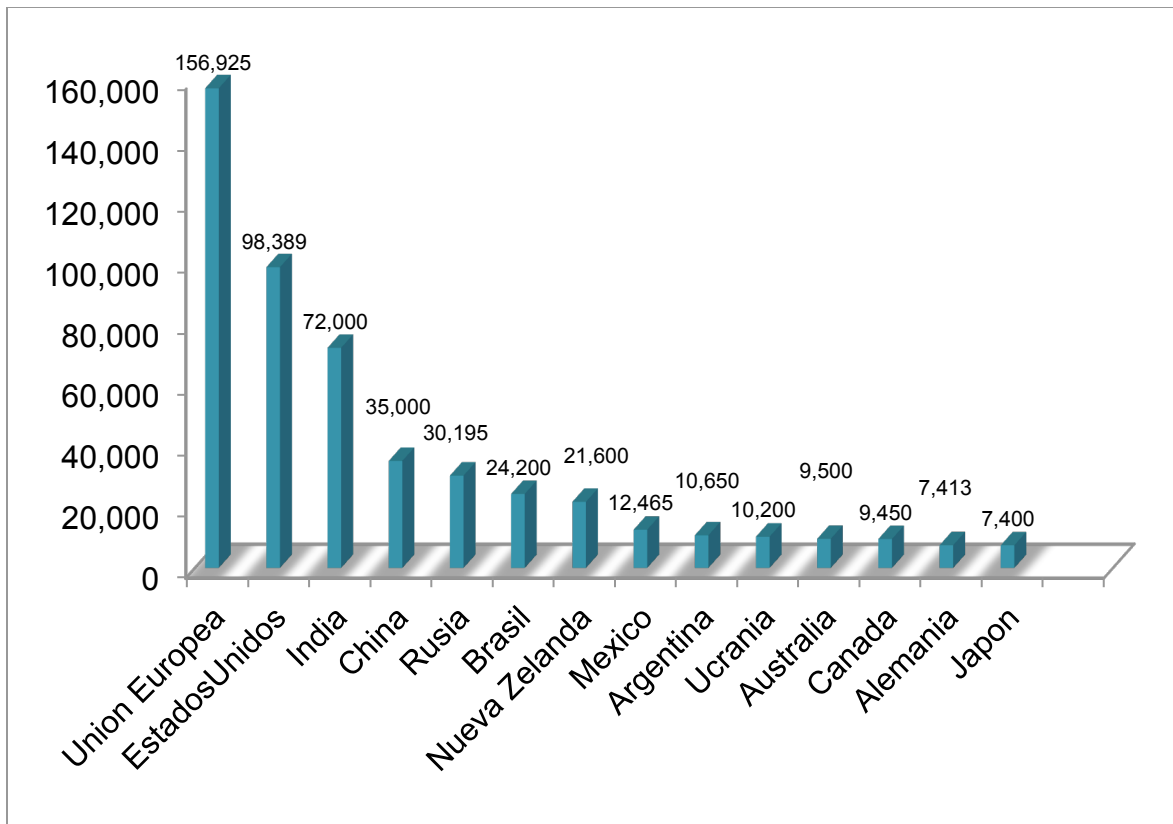
**Figura 1. Principales especies productoras de leche en el mundo**

Fuente: Tomado de FAO, (2016)

La FAO (2018), menciona que aproximadamente 750 millones de personas en todo el mundo se dedican a la producción lechera; el sector lechero proporciona más empleo por unidad de producción en los países en desarrollo que en los países desarrollados, esto es debido a que en los países desarrollados el uso de mano de obra disminuye

debido a la tecnificación, mientras que los países en desarrollo la producción lechera a pequeña escala es de tipo familiar y demanda mano de obra no especializada, además que no cuentan con tecnificación lo cual genera emplear fuerza de trabajo, situación que tiene un impacto social ya que genera empleo para la población en zonas suburbanas y rurales.

En el mercado mundial se observa que la producción lechera se divide en dos, los países desarrollados como Estados Unidos de América y la Unión Europea, donde se cuenta con altos niveles productivos por la eficiencia productiva, tecnificación y acceso a subsidios; por otra parte están los países menos desarrollados con bajos costos de producción como son Australia, Nueva Zelanda, Argentina, Uruguay quienes poseen condiciones agroclimáticas favorables para la producción y cuentan con infraestructura (Figura 2).



**Figura 2. Principales países productores de leche bovina en el mundo**  
Fuente: SAGARPA (2017)

México se encuentra dentro de los primeros 20 países productores de leche (Loera y Banda, 2017). Para el 2017, ocupó la octava posición en la producción nivel mundial, participando con el 3% de la producción mundial, es decir que tres de cada 100 litros que se producen en el mundo se obtienen de México (SAGARPA 2017).

### 1.1.2 Producción de leche en México.

En México, la leche de ganado bovino es un producto prioritario en el subsector pecuario de vital importancia como alimento básico para la población (Sifuentes *et al.*, 2005); además de ser un alimento de gran calidad se puede transformar en otros productos alimenticios con los que se puede comercializar y así permitir el empleo a personas de diferente edad y sexo (Zamudio *et al.*, 2004; SAGARPA, 2016).

La transformación y comercialización de este producto han influido para que la producción de leche se haya desarrollado y esté presente en todas las regiones y estados de la república mexicana (Martínez *et al.*, 2012); la diversidad de productos lácteos varía entre países y regiones, según los hábitos alimentarios, tecnologías disponibles de elaboración de la leche, demanda de mercado, así como circunstancias sociales y culturales las que determina el consumo y por ende la producción y transformación (FAO, 2018).

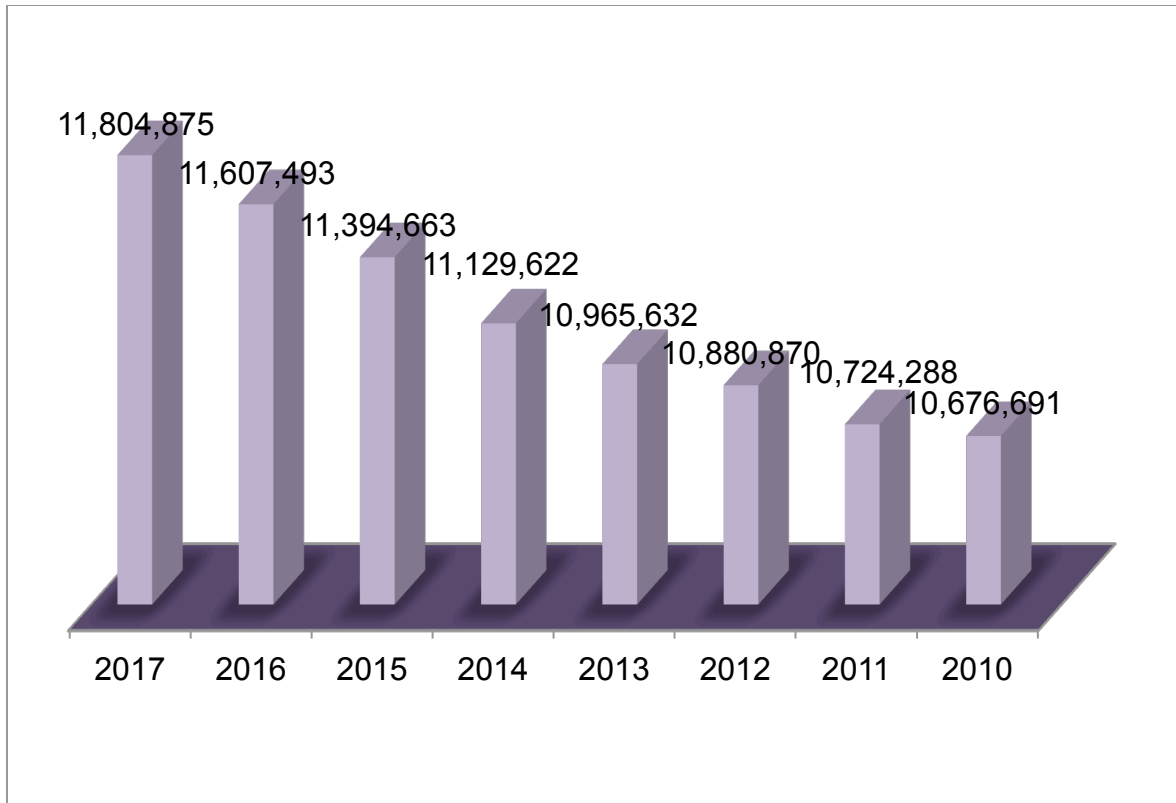
En México los principales estados productores de leche se encuentran (Cuadro 1): Jalisco, Coahuila, Durango, Chihuahua; el estado de Jalisco es perteneciente a la región del occidente, ocupa el primer lugar en producción de leche a nivel nacional, las vacas presentan una producción promedio de 18.6 L de leche por día (lactancias de 5,700 litros); mientras que Coahuila y Durango ocupan el segundo y tercer lugar a nivel nacional, consideradas como la primer cuenca lechera especializada del país ubicada en la zona conocida como “La Laguna” en las divisiones políticas de Coahuila y Durango; mientras que el estado de Chihuahua de la región norte del país ocupa el cuarto lugar a nivel nacional en producción lechera, en estos tres estados del país el sistema de producción son principalmente tecnificado con altos niveles productivos ya que gracias al avance genético y la alimentación las vacas llegan a tener lactancias entre 9,000 y 12,000 litros (Maldonado, 2011).

Entidades	Porcentaje	Producción de leche
Jalisco	18.0	1928.09
Coahuila	12.2	1306.82
Durango	9.1	974.76
Chihuahua	8.8	942.62
Veracruz	6.7	717.68
Guanajuato	7.2	771.24
Estado de México	4.4	471.31
Hidalgo	4.2	449.89
Puebla	3.7	396.33
Otros	25.8	2752.88
<b>Total</b>	<b>100.0</b>	<b>10711.6</b>

**Cuadro1. Principales estados productores de leche bovina**

Fuente: Maldonado, (2011)

Según datos de SAGARPA (2016); la producción de leche de bovino alcanzó 11,607 millones de litros de leche; es decir, poco más de 32 millones de litros por día. Destacando los aumentos productivos en los estados de Jalisco, Guanajuato, Coahuila y Chihuahua. Estimando que la producción en 2017 alcanzaría 11,804 millones de litros, lo que significa un incremento de 1.7% respecto del año anterior (Figura 3).



**Figura 3. Producción anual de leche hasta el 2016 y expectativa del 2017 (miles de litros)**

Fuente: SAGARPA (2016)

SAGARPA (2017) establece que en el 2017 la producción será de 11,804,875 miles de litros, en el segundo trimestre del 2017, la producción de leche de bovino alcanzó los 5,670 millones de litros es decir 2.1% más que en el mismo periodo del año 2016. A Junio del año 2017 se registró una producción de 650 mil litros más por día que el año pasado, tal situación indica que la producción de leche muestra una tendencia a incrementar, tal como se muestra en la Figura 3.

El crecimiento de la producción ha sido la consolidación y expansión de las principales empresas lecheras en México, incrementando su participación en el mercado de productos lácteos (SAGARPA, 2016). El desarrollo del sector lechero se considera una

de las actividades para lograr el crecimiento económico, seguridad alimentaria y la reducción de la pobreza debido a que es una fuente regular de ingresos, proporciona alimento a la población, genera empleos; algunos factores que impulsan al desarrollo del sector lechero son, la mejora de la productividad en el sistema de producción, el uso de tecnologías para la producción (FAO,2018).

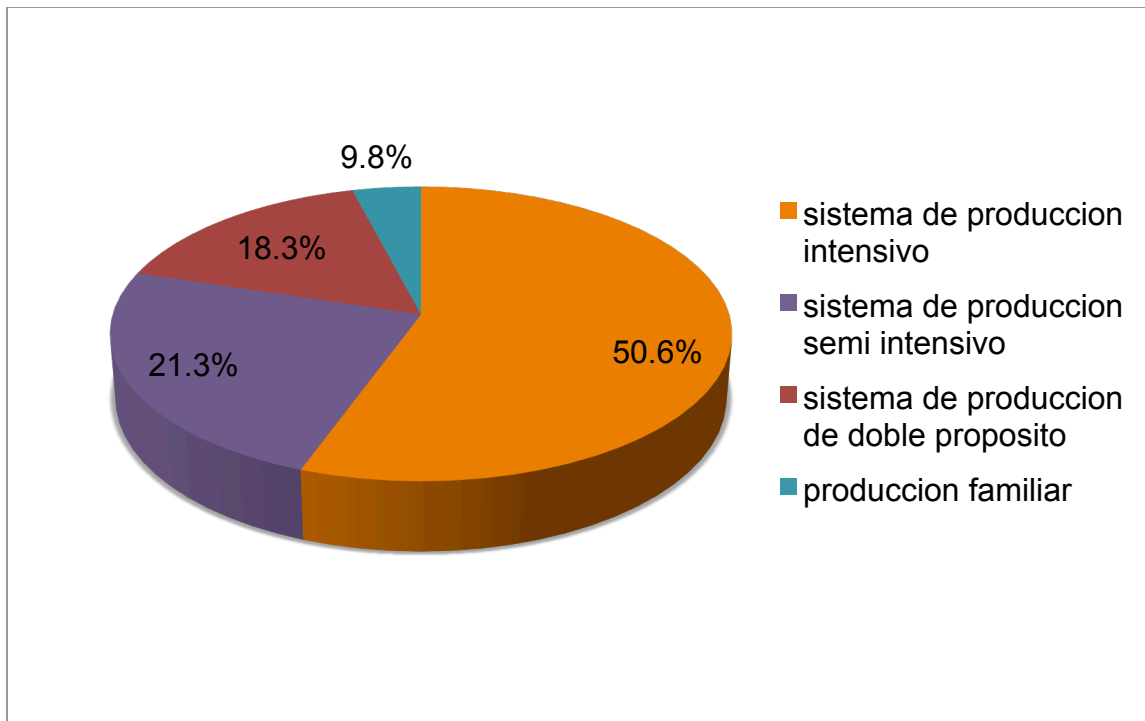
### **1.1.3 Sistemas de producción de leche en México**

La producción de leche en México se desarrolla en condiciones heterogéneas desde el punto de vista tecnológico, agroecológico y socioeconómico. Además de la variedad de condiciones climatológicas, características de la región donde se aplique así como el conjunto de conocimientos y costumbres de dicha región (Armendariz, 2017). Los bovinos son animales muy capaces de adaptarse a una gran variedad de condiciones ambientales, siendo así la especie más utilizada en producción de leche y carne, debido a la diversidad de condiciones ambientales existen diversos sistemas de producción animal ( Pérez, 2016).

En México existen básicamente cuatro sistemas de producción láctea que son: el intensivo localizado en la zona norte del país, semi-intensivo, que se encuentran principalmente en el centro del país, doble propósito que se ubica en las tierras bajas costeras y la producción familiar localizado en todo el territorio nacional principalmente en los valles altos del centro (Espinoza *et al.*, 2007). Cada uno de estos sistemas se distingue por su heterogeneidad productiva, productividad y tecnificación (Martínez *et al.*, 2012).

A nivel nacional la producción láctea (Figura 4) es mayormente de origen jalisciense, seguido por Coahuila, Durango y Chihuahua aportando poco más del 50% de la producción total nacional; la mitad de la producción lechera (50.6%) se genera en sistemas de producción intensiva; 21.3% en semi intensivo; 18.3% en sistemas de doble propósito y 9.8% en producción familiar (SIAP, 2017).





**Figura 4. Sistemas de producción en México**

Fuente: Tomado de SIAP (2017)

#### 1.1.3.1 Sistema intensivo

El ganado se encuentra estabulado totalmente, alimentando con forrajes y concentrados de alta calidad, satisfaciendo las necesidades de los animales de acuerdo a su edad y estado fisiológico, debido a que generalmente la leche es comercializada a grandes empresas productoras de leche y lácteos (Cervantes *et al.*, 2001). Generalmente el ganado que se utiliza es holstein (INEGI, 1998). Dentro de estos sistemas se tienen registros de producción, uso de biotecnologías reproductivas como lo es el mejoramiento genético, inseminación artificial y transferencia embrionaria. Cuentan con un control sanitario, infraestructura y mano de obra especializada (García *et al.*, 2005).

México cuenta con grandes sistemas intensivos lecheros como lo son las cuencas lecheras, los principales son: Comarca Lagunera en Coahuila y Durango, los Altos, Jalisco, Chihuahua, Guanajuato, Oaxaca, Tlaxcala, San Luis Potosí, Puebla, Estado de México, Hidalgo, Querétaro y Baja California Norte (Camacho *et al.*, 2017).

La leche que se produce dentro de esta sistema de producción es destinada a plantas pasteurizadoras y transformadoras ya que la industria de procesamiento de leche es el principal mercado debido a que los otros sistemas difícilmente cumplen con los estándares de calidad; las empresas de estos sistemas se encuentran más apegadas a la industria y es mayor su participación en el valor final del producto (Maldonado, 2011)

#### **1.1.3.2. Sistema semi-intensivo**

Se caracteriza por tener a sus animales durante toda la noche y durante la ordeña en estabulación mientras que en el día los sacan a pastorear (INEGI, 1998). El ganado utilizado dentro de estos sistemas es especializado con cruza de animales adaptados al entorno como es el criollo o cebú (García *et al.*, 2005) las condiciones de este sistemas de producción se hayan en pequeñas extensiones de terreno, manteniendo un nivel medio en cuanto al uso de tecnologías, la ordeña se realiza tanto de forma manual como mecánica, en algunas ocasiones se cuenta con sistema de enfriamiento, y los niveles de producción son menores al de un sistema especializado (Rebollar *et al.*, 2016).

#### **1.1.3.3. Sistema de doble propósito**

Este es caracterizado por unidades de producción de ganado para carne como para leche, utilizando animales de diferentes razas que por lo general son Cebú cruzados con Suizo, Holstein, Suizo puro u otros cebú de mérito lechero (INEGI, 1998); debido a su rusticidad y características para adaptarse a la gran variedad de climas son utilizadas dentro de estos sistemas de producción (Pérez, 2016).

Se diferencia por la utilización de pastoreo en agostaderos, praderas y potreros, con zacates nativos con una suplementación de granos, desperdicios de agroindustria, suplementos alimenticios, sales minerales, etc. (Rebollar *et al.*, 2016). La mayoría de los sistemas de doble propósito realizan una ordeña al día ya sea de forma manual o tecnificada con el apoyo del becerro y en algunos sistemas con el uso de hormonas (oxitocina) para así producir la baja de la leche, al finalizar el ordeño tanto la vaca como el becerro se apartan dejando un cuarto de ubre sin ordeñar para que el becerro se alimente (Martínez *et al.*, 2012). Las vacas que son utilizadas para la obtención de leche son las que se escogen al parir de acuerdo a sus características lecheras (INEGI, 1998).

El ordeño por lo regular se realiza en las mañanas teniendo un total de producción en este tipo de sistema de aproximadamente 6-8 litros por vaca, con una duración de 240 días promedio que es el momento en que se destetan los becerros para venta (Martínez *et al.*, 2012), este sistema llega a aportar el 16% de la producción nacional.

#### **1.1.3.4. Producción familiar**

Ha resultado muy importante en los últimos tiempos debido a que es una fuente de empleo para sobrellevar la pobreza de las zonas rurales en los distintos países en desarrollo, incluso en países no tan desarrollados ya que proporciona estabilidad a través de las ventas diarias a las familias (Espinoza *et al.*, 2007).

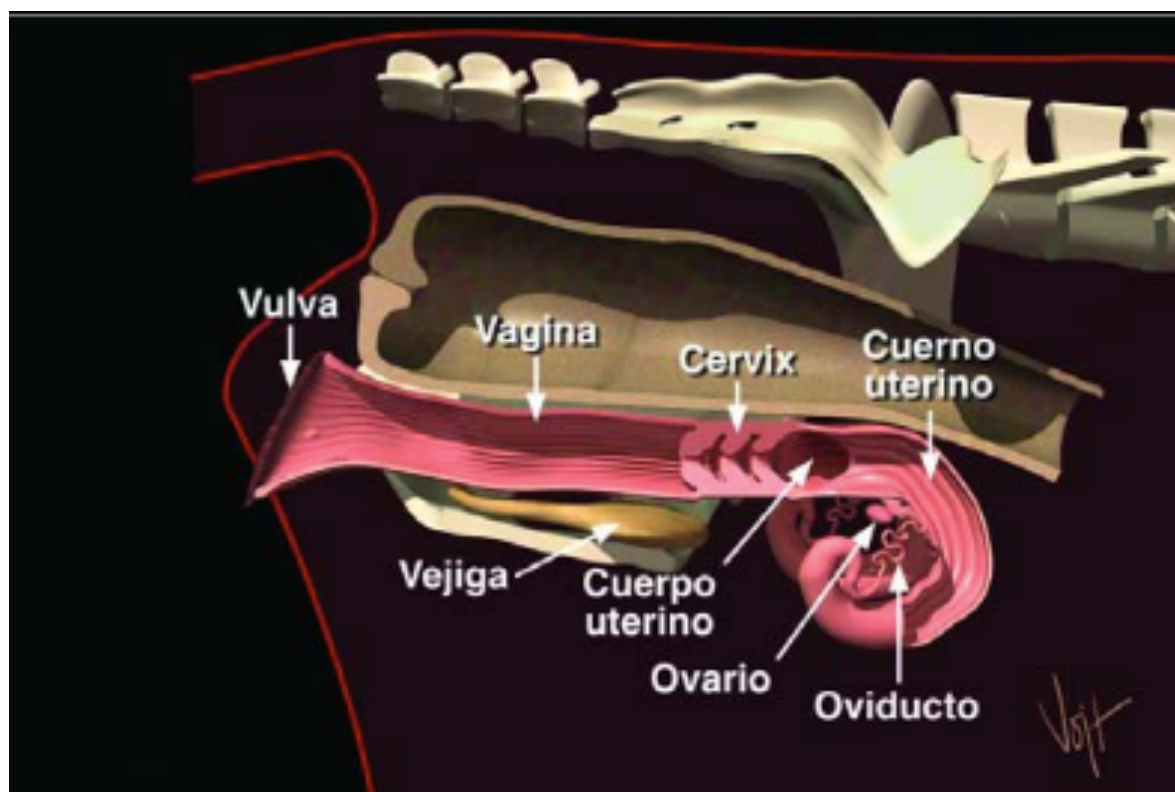
Este tipo de producción regularmente se realiza en el traspatio de algunas viviendas rurales, cuentan con un mínimo de animales (García *et al.*, 2005). Se caracteriza por la utilización de mano de obra familiar. En este sistema las vacas pueden permanecer en el campo y en el corral para complementar su alimentación con grano o sub productos agroindustriales (Zamudio *et al.*, 2004); en este tipo de sistemas el ganado de producción es el resultado de diferentes cruza, predominando el criollo, los hatos son de entre 1 a 50 animales, aunque algunos autores indican que es de 3 a 30 animales en producción (Cervantes *et al.*, 2001).

Se distingue por su bajo nivel tecnológico debido a las mínimas prácticas reproductivas, mejoramiento genético, no hay registros de producción y las instalaciones son rústicas. La ordeña es manual, en pocas ocasiones es mecánica, no cuenta con tecnificación para el proceso o mantenimiento de la leche en refrigeración (Zamudio *et al.*, 2004). Tienen una producción de buena calidad pero en bajas cantidades (García *et al.*, 2005). La producción es para autoconsumo, alimentación de becerros y venta a consumidores locales y en algunos casos para agroindustrias en pequeña escala (Rebollar *et al.*, 2016). Este sistema es ampliamente extendido pero de baja productividad y solo cubre el 5% de la producción nacional.

En México la producción es heterogénea y no se cuenta con un solo sistema productivo, a pesar de la heterogeneidad, existen problemas en común como es el desecho y la sanidad de los animales, una de las causas de desecho de vacas en etapa productiva son los problemas reproductivos o la falta de preñez para iniciar un nuevo ciclo productivo; por tal motivo, a continuación se hará una revisión de la anatomía, fisiología, endocrinología y reproducción aplicada, esto con la intención de poder incidir sobre esta situación.

## 1.2. Anatomía del aparato reproductor de la hembra

La anatomía bovina es compleja (Figura 5), por tal motivo se hará una revisión completa de la ubicación y función de cada una de las estructuras que conforman su anatomía. Porras y Paramo (2009) mencionan que los órganos genitales de la hembra comprenden los genitales internos (ovarios, oviductos, útero, cérvix, vestíbulo y vagina) y los genitales externos (labios vulvares y clítoris). La función del aparato reproductor de la hembra es producir hormonas, recibir los espermatozoides, producir y liberar el óvulo, tener un ambiente idóneo para que ocurra la fertilización o unión de los gametos y garantizar la gestación (Dejarnette, 2007).



**Figura 5. Anatomía reproductiva de la hembra**

Fuente. Palomares, (2009)

### **1.2.1. Vulva**

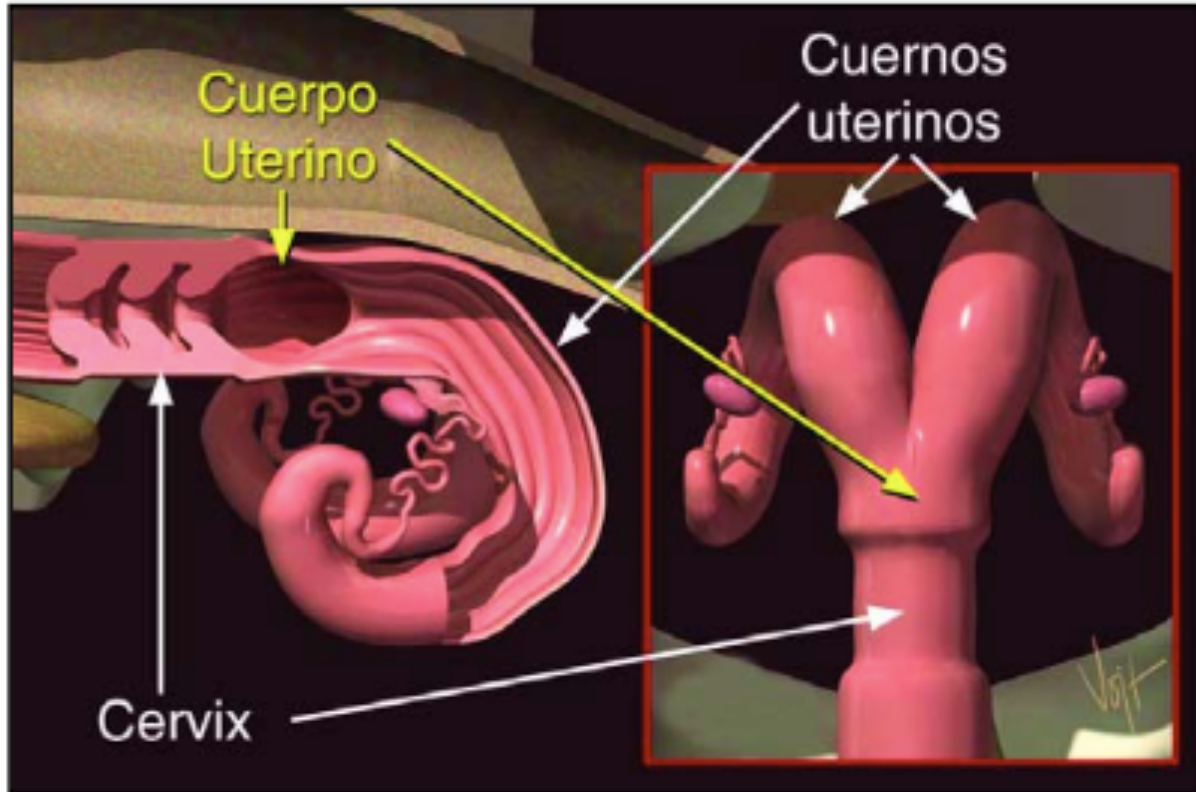
Los labios vulvares son redondeados y un poco prominentes, a la simple exploración se localiza el clítoris (Dyce *et al.*, 2012). Esta representa también el final del aparato urinario, ya que el orificio uretral externo se encuentra a unos 10cm de la comisura ventral (Sisson y Grossman, 2003). La vulva tiene como función el paso de la orina, abrir para permitir la cópula, así como canal de parto (Yunga, 2013).

### **1.2.2. Vagina**

Es un órgano fibromuscular de pared gruesa que se extiende desde el cérvix hasta la vulva. Está compuesta por mucosa, muscular y adventicia (Galina y Valencia, 2008). Durante la monta natural, el semen es depositado en la porción anterior de la vagina, así como es parte del canal de parto (Dejarnette, 2007). Las células de la vagina y del cuello uterino secretan una sustancia mucosa que lubrica el tracto reproductivo durante el celo y la aceptación del toro para la monta (Palomares, 2009).

### **1.2.3. Cérvix**

Es el órgano que separa el útero de la vagina protegiendo al primero del contacto externo, (Figura 6) excepción del momento del parto y periodo de estro. Posee una capa muscular circular bien desarrollada que contiene fibras elásticas, cuyo epitelio contiene células productoras de moco. La funciones del cérvix son facilitar por medio del moco cervical, el transporte de los espermatozoides, así como ser el primer filtro de selección y barrera para los espermatozoides (Galina y Valencia, 2008).



**Figura 6. Útero y Cérvix de hembra bovina**

**Fuente: Dejarnette, (2007)**

#### **1.2.4. Útero**

Este se asienta dentro de la cavidad abdominal en el animal adulto, mide de tres a cuatro cm de largo, aunque externamente da una apariencia de mayor tamaño (Sisson y Grossman, 2003). Este órgano posee un cuerpo y dos cuernos, los cuernos uterinos, derecho e izquierdo, el cuerpo se forma por la fusión de estos conductos dejando una sola cavidad (Galina y Valencia, 2008). Sirve como sitio de transporte para los espermatozoides hacia el sitio de fecundación, regula la vida del cuerpo lúteo a través de la producción de prostaglandina  $F2\alpha$  y permite el desarrollo del producto durante la gestación y la expulsión del mismo durante el parto (Yunga, 2013). La consistencia de los cuernos varía de acuerdo con los niveles hormonales del animal (Palomares, 2009).

### **1.2.5. Ovarios**

Son los órganos principales del aparato reproductor femenino, en todos los animales, los ovarios son pares, su tamaño depende de la edad, la especie y el estadio reproductivo del animal. En la vaca se encuentran suspendidos a derecha y a izquierda lateralmente, sobre las trompas uterinas (Dejarnette, 2007).

Tiene forma ovoide, miden en promedio de 3 a 4 cm de longitud, 2 a 3 cm de ancho y 1 a 2 cm de espesor, sus funciones son las de producir los gametos femeninos (Sisson y Grossman, 2003). Su función exocrina así como la de producir y secretar hormonas de la reproducción. En la superficie del ovario se puede encontrar la presencia de dos estructuras como son el cuerpo lúteo y los folículos ovulatorios (Yunga, 2013). El desarrollo de sus componentes histológicos está bajo el control de las hormonas de la hipófisis (Palomares, 2009).

La superficie del ovario está cubierta por la túnica albugínea que es una formación densa de tejido conjuntivo en donde se pueden encontrar dos estructuras diferentes: folículos y cuerpo lúteo (Dejarnette, 2007).

#### **1.2.5.1. Folículo**

Los folículos son la unidad fundamental del ovario y son los encargados del proceso reproductivo y de las fases del ciclo estral, contiene los oocitos que puede llegar a ovular y darse la fertilización de un embrión. Proporciona los esteroides y hormonas necesarias para el mantenimiento del ciclo ovárico, las características sexuales secundarias y la preparación del útero para implantación (Castañeda, 2009), estos procesos están mediados por la compleja interacción del hipotálamo-hipófisis-ovarios a partir de la liberación de hormonas al torrente sanguíneo (Motta *et al.*, 2011).



Usualmente se pueden encontrar varios folículos en cada ovario, que varían en tamaño desde apenas visibles, hasta 20 mm en diámetro. El folículo más grande sobre el ovario es considerado "el dominante", y es el que probablemente ovule cuando el animal entre en celo (Hafez y Hafez, 2002).

#### **1.2.5.2. Cuerpo lúteo**

El cuerpo lúteo (CL) es una estructura consistente formada por acumulación de células luteales que crecen en el lugar donde ocurrió la ovulación (rompimiento del folículo). Es responsable de la liberación de la hormona progesterona (Fernández, 2009). El cuerpo lúteo crece sobre el sitio de la ovulación del celo anterior. A menos que haya habido más de una ovulación, se debe hallar solo un CL en uno de los ovarios. El CL normalmente tendrá una corona sobre su estructura, lo cual facilita su identificación durante la palpación rectal. El CL también puede tener una cavidad llena de fluidos, pero una pared más gruesa, por lo tanto tendrá una textura más tosca al tacto. El CL en latín significa "cuerpo amarillo." Aunque en su superficie, esta estructura tiene apariencia oscura (Dejarnette, 2007).

### **1.3. Anatomía del macho**

Se pueden clasificar de acuerdo con su localización anatómica, en órganos genitales internos (conductos deferentes, glándulas accesorias y la uretra pélvica), y externos (testículos con su epidídimo). También se ha considerado al testículo como órgano sexual primario, mientras que a los conductos excretores, glándulas accesorias, pene y prepucio se les considera órganos sexuales secundarios (Galina y Valencia, 2008).

#### **1.3.1. Testículos**

Los órganos primordiales del aparato reproductor en el ganado bovino son los testículos que están colocados en una bolsa protectora llamada escroto (Castro, 2002). Están situados fuera del abdomen, dentro del escroto, el cual se deriva de la piel y la

fascia abdominal. El tamaño y la posición de los testículos con respecto al eje espinal, varían de acuerdo con la especie animal, en el toro son grandes y colgantes (Porras y Paramo, 2009); en el sentido general son ovalados, con la parte convexa dirigida hacia delante (Cardozo *et al.*, 2002).

El testículo es una glándula que posee una doble función: la producción de espermatozoides y de la hormona sexual masculina testosterona, que controla el funcionamiento del aparato reproductor masculino y da al macho la conformación y comportamiento sexual (Caravaca *et al.*, 2005).

El escroto y sus músculos regulan la temperatura de los testículos, para obtener una temperatura óptima para permitir un desarrollo normal de los espermatozoides que son las células reproductoras masculinas (Castro, 2002).

### **1.3.2. Epidídimo**

Esta estructura está compuesta por un único ducto muy contorneado y se localiza adyacente al testículo. El epidídimo se divide en: cabeza, cuerpo y cola. La cola continúa en el conducto deferente, el cual se incorpora al cordón espermático junto con los vasos sanguíneos y linfáticos del testículo, para llevar el semen hacia la uretra, aquí se lleva a cabo la maduración espermática y al mismo tiempo sirve como almacén de espermatozoides (Porras y Paramo, 2009).

### **1.3.3. Glándulas accesorias**

En el aparato reproductor de los animales mamíferos se describen cuatro tipos de glándulas accesorias que tienen como función segregar sustancias que favorezcan el transporte y nutrición del espermatozoide una vez depositado en el aparato reproductor femenino (Caravaca *et al.*, 2005).

Las glándulas accesorias producen el plasma seminal, que constituye la fracción líquida del eyaculado que tiene como función servir de vehículo para el transporte de los espermatozoides, aporte de nutrientes, para la limpieza de la uretra y como coagulante después de la eyaculación. Todas las glándulas accesorias están rodeadas por una capa de músculo liso que ayuda a la secreción de su contenido durante la eyaculación (Porras y Paramo, 2009); estas son: vesículas seminales, la próstata, dos glándulas cowper o glándulas bulbouretrales y las glándulas de litre (Caravaca *et al.*, 2005).

Las Vesículas seminales o glándulas vesiculares son glándulas pares que se localizan dorsalmente a la uretra pélvica, en la porción distal del conducto deferente (Sisson y Grossman, 2003). Su tamaño varía según las diferentes razas y edad del animal (Cardozo *et al.*, 2002); estas secretan un líquido blanco o amarillento, que representa un porcentaje importante del volumen total del eyaculado (Caravaca *et al.*, 2005).

La próstata es de color amarillento pálido, está formada por dos partes en el toro, se sitúa oculta por el musculo uretral, teniendo una estructura ramificada cerca de la unión de la vejiga y la uretra pélvica (Sisson y Grossman, 2003).

Las Glándulas bulbouretrales o de cowper se localizan a ambos lados de la uretra pélvica, cerca del arco isquiático. Están constituidas por un alto porcentaje de tejido conjuntivo fibroso, por lo tanto son muy densas (Porras y Paramo, 2009); la secreción de estas glándulas da al semen un aspecto gelatinoso ya que producen una sustancia viscosa (Sisson y Grossman, 2003).

#### **1.3.4. Pene**

El pene está constituido por tres partes: la base, el cuerpo y el glande. La base es la parte insertada al arco isquiático. El cuerpo constituye la mayor proporción del pene; en la parte ventral contiene a la uretra peneana, rodeada por una capa de tejido eréctil, denominada cuerpo esponjoso, y dos porciones más de este tejido (localizadas dorsalmente al cuerpo esponjoso), denominadas cuerpos cavernosos; estas estructuras se encuentran muy desarrolladas en las especies con pene de tipo vascular, en comparación con aquellas cuyo pene es de tipo fibroelástico que es el caso del toro, el cual está rodeado por una cápsula de tejido conjuntivo que no permite la expansión de su diámetro, y posee una flexura sigmoidea o “S” peneana, que sirve para darle extensión al momento de la erección, que es regulada por el músculo retractor del pene (Porrás y Paramo, 2009).

La porción libre del pene está encerrada en una vaina cutánea, el prepucio que durante la erección el pene sale por el orificio prepucial. En rumiantes y suidos presentan un mechón de pelos a nivel del orificio prepucial (Caravaca *et al.*, 2005). El glande es la parte final y distal del pene. Esta porción es rica en terminaciones sensitivas, tiene forma y características específicas según la especie, es el órgano copulador del macho y el sitio de expulsión de orina (Dyce *et al.*, 2012).

Una vez revisada las estructuras anatómicas que comprenden el aparato reproductor de la hembra y macho bovino se hará la revisión de la endocrinología que juega un papel importante en la reproducción ya que en conjunto con los órganos reproductivos se da el ciclo reproductivo de la hembra.

#### **1.4. Endocrinología de la reproducción**

La endocrinología es la ciencia que se encarga del estudio de las hormonas y sus efectos (Galina y Valencia, 2008). Los procesos reproductivos de los mamíferos son

regulados por una cascada de actividades combinadas del sistema nervioso central (SNC), este recibe información y la transmite, en la medida que es importante para la reproducción, a las gónadas por medio de las hormonas (Gutiérrez, 2008).

La reproducción de la hembra está regulada por numerosas hormonas, secretadas por glándulas especializadas (endócrinas), que generalmente pasan a la sangre o linfa que las transporta a partes específicas del animal (órgano "blanco") donde realizan su función (Palomares, 2009); El hipotálamo y la hipófisis anterior en conjunto con los órganos reproductivos aseguran el ritmo de reproducción interrelacionando hipotálamo, hipófisis, ovario y hormonas LH, FSH y esteroides ováricos, para conformar la esencia de la maduración folicular, ovulación, implantación y mantenimiento de la gestación. Todo esto está claramente influenciado por factores hereditarios, nutricionales y ambientales que pueden modificar el ciclo en cualquier animal (Echeverría, 2006).

#### **1.4.1. Hormona Hipotalámica (GnRH)**

La GnRH o factor liberador de las gonadotropinas es una hormona producida en una célula neuronal y liberada en sus terminales neuronales, es secretada en el torrente sanguíneo llevada a la glándula pituitaria, que contiene células gonadotropas donde la GnRH activa su propio receptor (Yunga, 2013). Esta hormona es la que controla la liberación de las dos gonadotropinas hipofisarias: hormona folículoestimulante (FSH) y la hormona luteinizante (LH) por las células gonadotrópicas de la hipófisis (Gutiérrez, 2008). Esta es secretada en forma de pulsos, en donde la frecuencia puede variar dependiendo a la época del año, etapa del ciclo estral, edad del animal, estado nutricional, entre otros (Galina y Valencia, 2008). Siendo hormonas relevantes en el control del ciclo estral que actúan sobre el ovario y causan la maduración del folículo y secreción de estrógeno (Yunga, 2013); De forma terapéutica se utiliza como inductor de la ovulación, del desarrollo folicular y como tratamiento a quistes foliculares (Galina y Valencia, 2008).

### **1.4.2. Hormonas Adenohipofisarias (FSH) y (LH)**

La FSH estimula el desarrollo de los folículos ováricos y la LH estimula la síntesis de androstenediona a partir del colesterol. La androstenediona se convierte en testosterona (Gutiérrez, 2008).

La FSH en la hembra estimula el crecimiento, desarrollo y función del folículo en los ovarios para que, de esta manera, el óvulo se encuentre disponible para la fertilización. La FSH, además junto con la LH estimula la síntesis de estradiol e inhibina en las células tecales de los folículos en desarrollo, que a su vez actuarán en conjunto suprimiendo la liberación de FSH por la hipófisis (Palomares, 2009).

La LH está involucrada en el proceso de esteroidegénesis, liberación de progesterona, ovulación, formación y mantenimiento del cuerpo lúteo (Gutiérrez, 2008). Los niveles tónicos o basales de LH actúan con la FSH para inducir la secreción de estrógenos de los folículos ováricos. La LH es también responsable de inducir una serie de reacciones enzimáticas que terminan con la ruptura de la pared folicular y la ovulación y por efecto da origen al cuerpo lúteo, mismo que empieza a secretar progesterona (Palomares, 2009).

### **1.4.3. Oxitocina**

La oxitocina se sintetiza en el núcleo supraóptico del hipotálamo es transportada por los axones de los nervios hipotalámicos, en pequeñas vesículas rodeadas de una membrana. La secreción de oxitocina es estimulada vía neurogénica por el amamantamiento, ordeño, parto, dilatación cervical o vaginal o el estímulo de clítoris (Galina y Valencia, 2008; Gutiérrez, 2008). Es la encargada de la contracción suave del músculo en el útero y el oviducto ayudando al transporte del espermatozoide y del óvulo por el oviducto (Palomares, 2009).

La acción combinada de oxitocina y la secreción de PGF2 $\alpha$  uterina, definen la duración de la fase lútea al momento del parto. La oxitocina almacenada en la neurohipófisis interviene en la luteólisis permitiendo la posterior ovulación del folículo dominante (Yunga, 2013).

#### **1.4.4. Estrógenos**

Los estrógenos son hormonas esteroideas producidos por los folículos ováricos en maduración que tienen influencia sobre los oviductos, el útero, la vagina, la vulva, así como en el sistema nervioso central y el hipotálamo, estimulando la conducta de celo (Galina y Valencia, 2008; Motta *et al.*, 2011). En la vulva y vagina produce aumento del flujo sanguíneo, congestión e hiperemia (Yunga, 2013).

Los estrógenos actuarían sobre la regulación de la secreción de gonadotropinas a nivel de la hipófisis más que en el hipotálamo, ya que no modifican la frecuencia de pulsos de LH y sí la amplitud y los niveles basales. La elevación en las concentraciones séricas de estradiol produce un aumento en la liberación y síntesis de LH, estimulando la secreción de estradiol por parte de los folículos (Sanz, 2000).

Existen diferentes preparados comerciales de estrógenos, que se diferencian en cuanto a su efecto farmacológico principalmente a su vida media o duración. Esta respuesta debe ser considerada cuando se administran en combinación con progestágenos en los programas de inseminación artificial a tiempo fijo (IATF), ya que la respuesta en la dinámica folicular variará de acuerdo al tipo de estrógeno utilizado, la dosis aplicada y el momento de la aplicación (Gutiérrez, 2008).

El estrógeno en ausencia de progesterona, estimula la síntesis para receptores de GnRH en la hipófisis que la vuelve más sensible a la GnRH estimulando la síntesis del pico de LH permitiendo la ovulación del folículo terciario o de Graaf, así como la progesterona es producida en el cuerpo lúteo por acción de la LH y ejerce su acción después de que los órganos diana han sido estimulados por los estrógenos, preparando el útero principalmente para la gestación (Motta *et al.*, 2011).

#### **1.4.5. Progesterona**

La progesterona, también conocida como P4, pertenece a una clase de hormonas llamadas progestágenos. Es una de las hormonas sexuales que se desarrollan cuando la hembra alcanza la pubertad, actúa principalmente en la segunda fase de los cambios endometriales que inducen a los estrógenos y estimulando los cambios madurativos, preparando así al endometrio para la implantación del embrión (Yunga, 2013). Producida en el cuerpo lúteo del ciclo o de la gestación. Su acción es mantener la gestación en las hembras preñadas (en la vaca casi durante toda la gestación, pues la placenta bovina secreta escasos niveles de progesterona) (Gutiérrez, 2008).

Es producida en el cuerpo lúteo, placenta y glándula suprarrenal por acción de la LH y ejerce su acción después de que los órganos diana han sido estimulados por los estrógenos, preparando al útero principalmente para la gestación (Yunga, 2013). Suprime el desarrollo completo de los folículos y la secreción de estrógenos. Niveles altos de esta hormona y bajos de estrógenos evitan que la vaca presente estro (Palomares, 2009).

#### **1.4.6. Prostaglandinas**

Es una sustancia natural producida por el útero de la vaca, estructuralmente es un ácido graso insaturado compuesto por 20 átomos de carbono. Contiene un anillo ciclopentano y dos cadenas laterales; al igual que todas las de la serie F, presenta un



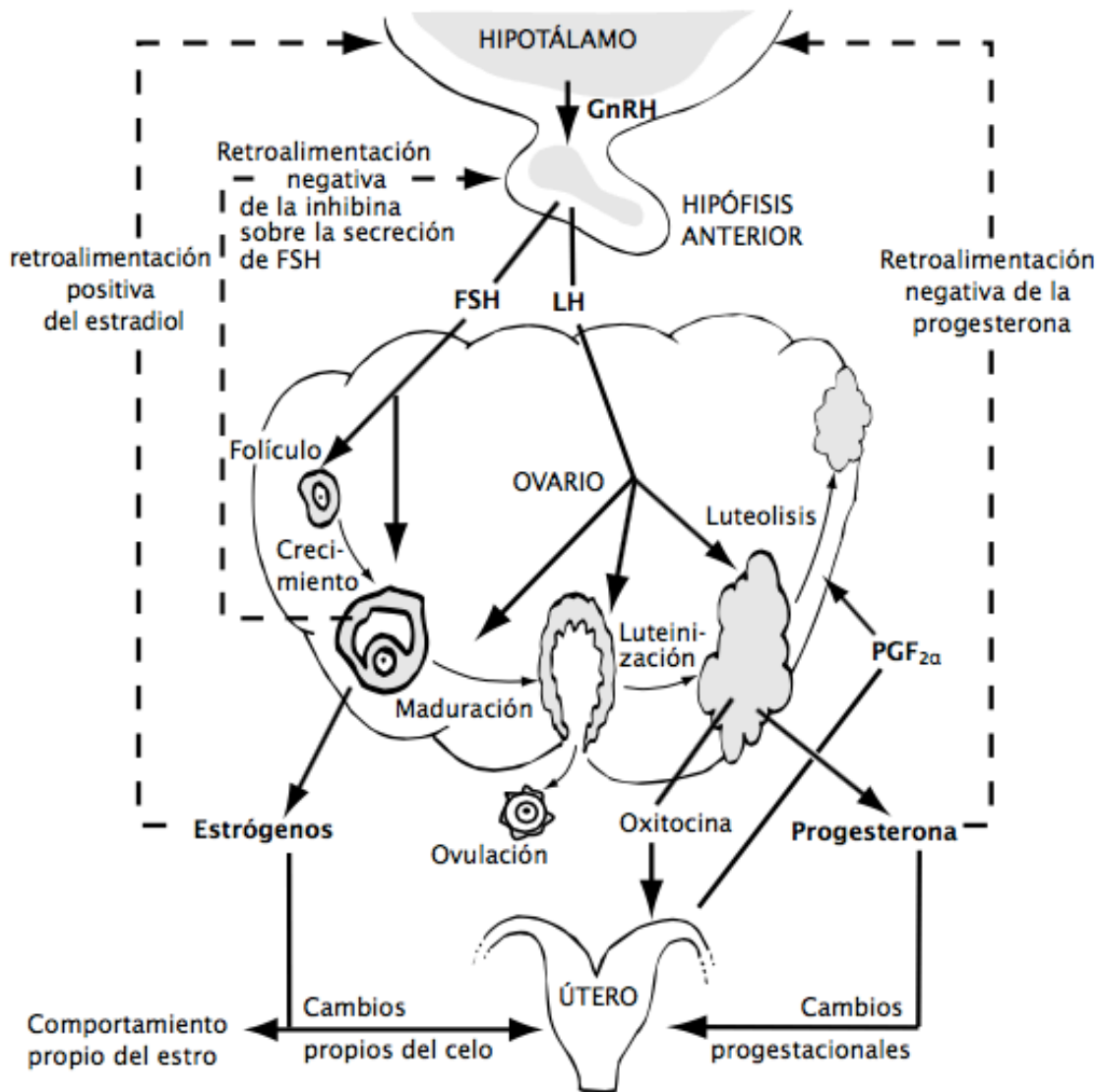
grupo oxhidrilo en la posición 9 (Nieves, 2011). La prostaglandina ( $PGF2\alpha$ ) es responsable de la secreción del factor liberador de LH desde el hipotálamo. Interviene en la ovulación, en la inhibición y contracción de la musculatura uterina (Yunga, 2013). Al mismo tiempo que provoca la apertura del cuello (Echeverría, 2006), en la eliminación de las membranas fetales, abortos en etapas tempranas, tiene una acción luteolítica y destruye el cuerpo amarillo.

Las  $PGF2\alpha$  son utilizadas para sincronizar celo, inducir partos, en caso de quistes luteínicos y piometra (Yunga, 2013). En el ovario, la concentración de  $PGF2\alpha$  dentro de los folículos, aumenta a medida que éstos maduran particularmente. Es la encargada de regular la duración del cuerpo lúteo (CL), cuando se utiliza de forma exógena es capaz de destruir el CL entre 24 y 48 h después de su aplicación, presentando así el estro entre 48 a 120h ya que se considera que induce la luteólisis del mismo (Echeverría, 2006).

### **1.5. Fisiología del aparato reproductor de la hembra bovina**

La reproducción de la hembra bovina consta de una serie de eventos que inician con el desarrollo del sistema reproductivo en el embrión. Seguido de su nacimiento se produce un estado aparente de quietud hasta la pubertad, que es cuando el animal alcanza el tamaño y peso adecuados para enfrentar los cambios de la madurez sexual (Echeverría, 2006).

El proceso reproductivo de una hembra bovina lechera es regulado por una compleja cascada de combinación de actividades del sistema nervioso central (Figura 7); este recibe información del entorno animal y transmite información para iniciar la reproducción a través del eje Hipotálamo-hipófisis-ovario (Ptaszynska, 2007).



**Figura 7. Eje hipotálamo-hipófisis-ovario**

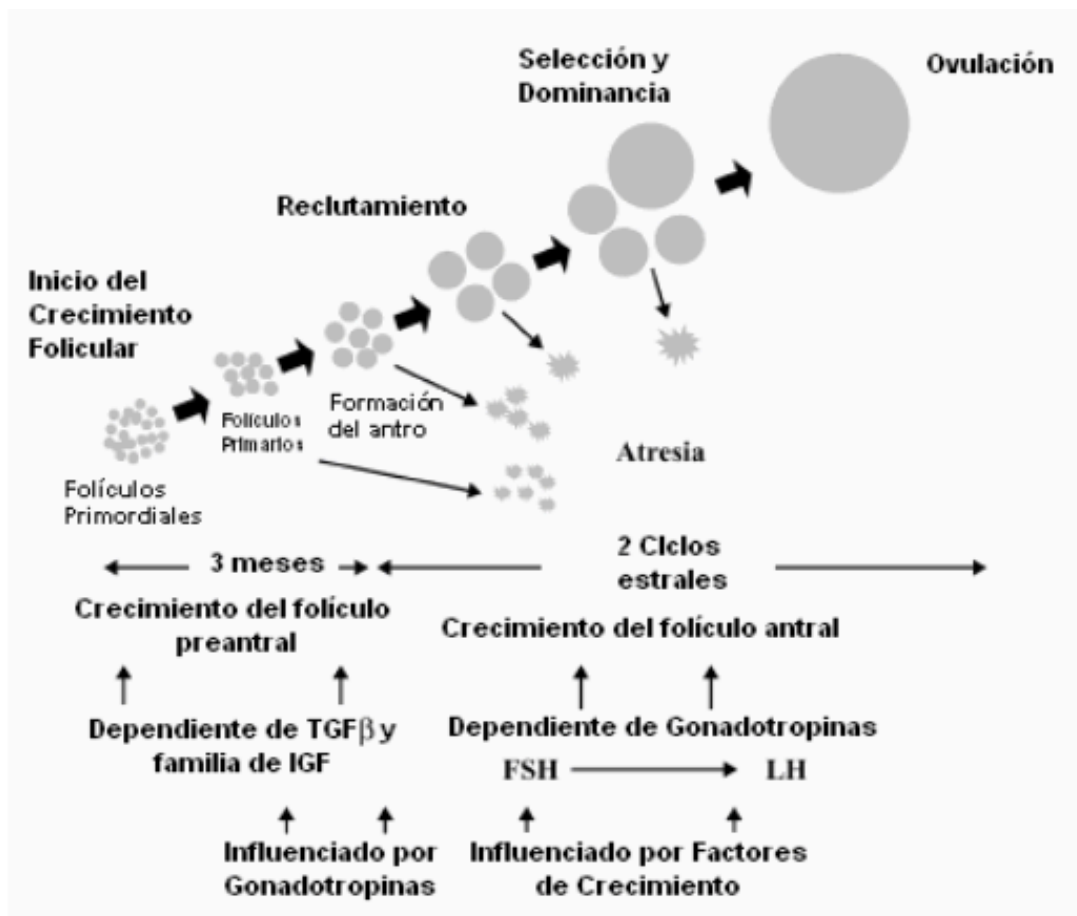
Fuente: Ptaszynska, (2007)

el desempeño de los hatos bovinos está determinado por la eficiencia reproductiva de las hembras, a partir del desarrollo folicular (Motta *et al.*, 2011), (Yunga, 20013). Es por ello que se hace una revisión de literatura del ciclo reproductivo de la hembra bovina.

### **1.5.1. Dinámica folicular**

Se conoce como dinámica folicular al proceso de crecimiento y regresión de folículos por medio de términos o fases que se le llaman reclutamiento, selección y dominancia (Lucy, 2007) que conducen a un folículo preovulatorio (Figura 8). En este proceso se genera entre una y tres ondas de crecimiento y desarrollo folicular las que ocurren durante un ciclo estral bovino y el folículo preovulatorio deriva de la última.

En sí la dinámica folicular ocurre en fases que son el reclutamiento, selección, dominancia y atresia (Yunga, 2013); en la vaca lechera se presentan ciclos con dos oleadas de crecimiento folicular; sin embargo, puede haberlos de tres principalmente en animales que inician con actividad reproductiva (Sumba, 2012).



**Figura 8. Dinámica folicular**

Fuente: Sumba, (2012)

### 1.5.1.2. Proceso de reclutamiento

Esta etapa se caracteriza por folículos que inician madurez gracias a la estimulación gonadotrópica aumentando su tamaño (Lucy, 2007). En donde uno o varios, son seleccionados para la ovulación. En cada ciclo ovárico es reclutado un grupo de folículos primordiales que continúan su crecimiento debido al incremento de concentraciones de FSH (Castañeda, 2009).

### **1.5.1.3. Proceso de selección y dominancia**

En este proceso los folículos siguen su crecimiento, seleccionando solo uno de los folículos caracterizado por tener la capacidad de mayor producción de estradiol convirtiéndose en folículo dominante (Ptaszynska, 2007), evitando atresia y así tener la oportunidad de llegar a la ovulación (Castañeda, 2009).

Al ser seleccionado el folículo dominante y seguir creciendo provoca un aumento de estrógenos e inhibina, así como una disminución en la concentración de FSH provocando atresia a los demás folículos, pues ellos dependían de esa hormona totalmente mientras que el folículo dominante ahora depende de la concentración de LH, perdurando de 4 a 6 días aproximadamente si no es ovulado este sufre atresia (Hernández, 2012).

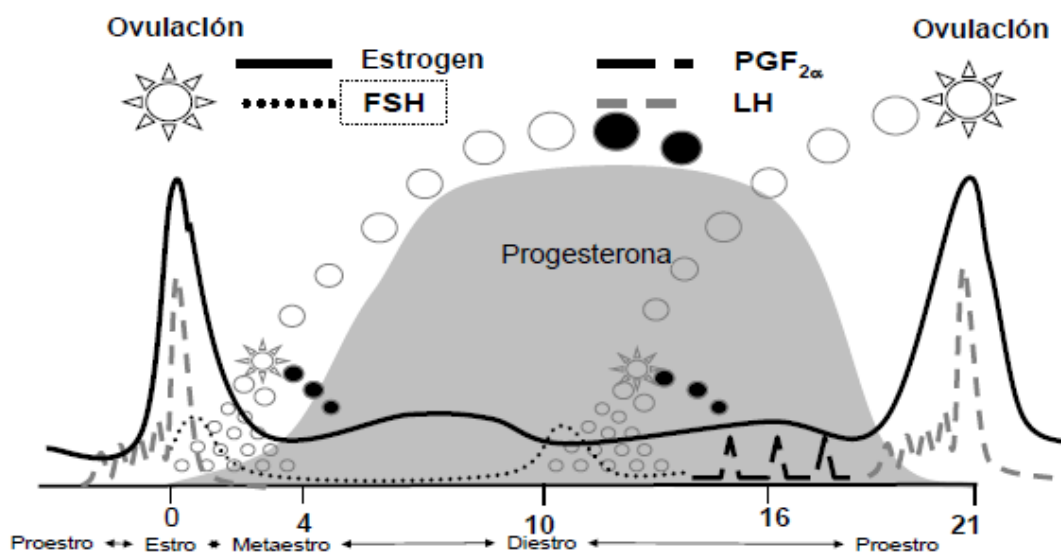
### **1.5.1.4. Proceso de atresia**

Se define como atresia al proceso de regresión de los folículos, la cual ocurre en los folículos presentes en el ovario a excepción de los que son ovulados (Valencia y Galina, 2008). Cuando el folículo dominante sufre atresia hay un aumento de FSH, creándose así otra onda folicular y así reclutamiento de otros folículos y obtener otro folículo dominante (Hernández, 2012). Después de la activación de los folículos primordiales la atresia puede ocurrir en cualquier momento (Valencia y Galina, 2008).

## **1.5.2. Ondas foliculares**

El crecimiento folicular en los bovinos está dado por ondas de crecimiento folicular (Figura 9); durante cada onda de crecimiento folicular existe una población de folículos pequeños, medianos y grandes en cada ovario, de los cuáles uno se torna dominante, mediante un proceso de selección hasta el diámetro preovulatorio y generando la atresia de los folículos pequeños (Motta *et al.*, 2011).

Durante un ciclo estral el 70% de las vacas presenta dos oleadas foliculares, mientras que solo el 30% presenta tres, la presencia de las oleadas determina la duración del ciclo que va de 18 a 23 días siendo el promedio 21. En vacas con dos oleadas el periodo de dominancia es mayor que en las de tres oleadas. Esto tiene referencia al potencial de los ovocitos para desarrollar un embrión viable, así el porcentaje de concepciones menor cuando ovulan folículos que tuvieron mayor tiempo de dominancia que los de menor tiempo (Hernández, 2012).

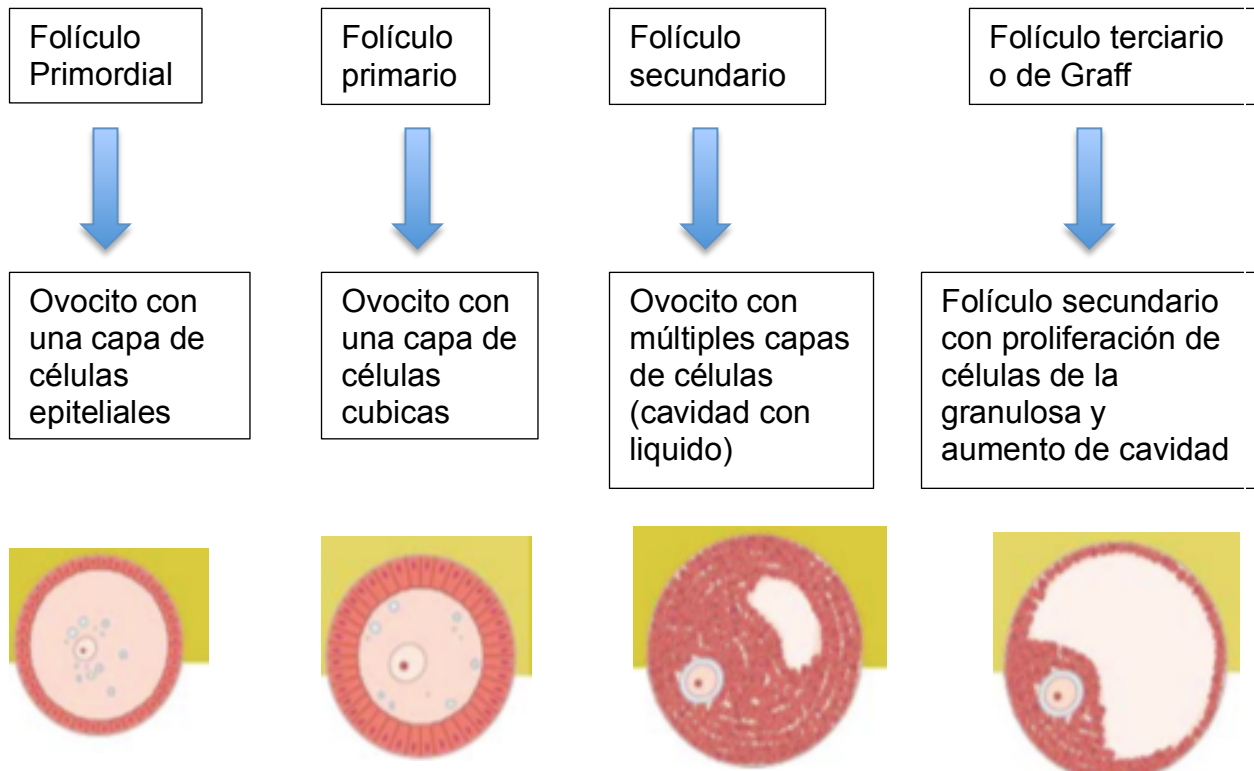


**Figura 9. Esquema de la presentación de las ondas foliculares.**

Fuente: Gómez, (2015)

### 1.6. Foliculogénesis y desarrollo folicular

Segun Castañeda (2009) menciona que la foliculogénesis es un proceso dinámico (Figura 10) caracterizado por una proliferación acelerada y una diferenciación de las células somáticas que componen el folículo permitiendo la obtención de un folículo preovulatorio o de Graaf a partir de folículos primordiales. Este proceso comienza en la vida fetal, en la cual se constituye la reserva de folículos primordiales; y en la vaca se necesitan meses para que un folículo primordial se transforme en un folículo de Graaf (Palma y Gottfried, 2001).



**Figura 10. Desarrollo folicular**

Fuente: Sumba, (2012)

El desarrollo folicular está dado por la ovulación del folículo madurado o por la regresión del mismo (Valencia y Galina, 2008). El estudio del desarrollo folicular en ganado bovino en etapas tempranas, aporta información sobre los cambios fisiológicos y morfológicos del ovario que intervienen en la diferenciación y desarrollo del ovocito (Filipiak *et al.*, 2016).

### 1.6.1. Folículos primordiales

Son el resultado del agrupamiento de las células primordiales (ovogonias). En la mayoría de los mamíferos las ovogonias forman folículos primordiales al momento del

nacimiento, la hembra nace con aproximadamente 200 mil folículos primordiales, de los cuales la mayoría sufrirán atresia y no serán ovulados (Hernández, 2012); constituidos por ovocitos primarios rodeados de una sola capa de células de la granulosa, aplanadas, sin zona pelúcida, rodeados por algunas células de la pre granulosa y envueltos por la membrana basal (Palomares, 2009); midiendo 3 mm, dependiendo de la hormona gonadotrópica (Sanz, 2000). El desarrollo de este folículo empieza hasta la etapa de la pubertad de la hembra, aunque muchos se convertirán en folículos atresicos (Valencia y Galina, 2008).

### **1.6.2. Folículo primario**

Se desarrolla a partir del folículo primordial, aumentando el número de células foliculares alrededor del ovocito, estas células adquieren una forma cuboidal y de apariencia secretora transformándose en células de la granulosa, aumentando su tamaño a 4 u 8 mm, rodeado de 10 a 40 células de la granulosa. Este forma una cavidad, el antro, con lo que quedará transformado en folículo secundario (Echeverría, 2006).

### **1.6.3. Folículo secundario**

Conformado por varias capas de células de granulosa, rodeadas a su vez de células de la teca (células fulsiformes, más alargadas que las células de granulosa). Mientras que el folículo aumenta de tamaño de 8 mm (desarrollo y dinámica folicular). El antro formado en el folículo primario es un espacio lleno de fluido formado por la unión de muchos espacios pequeños entre las células de granulosa, que a su vez segregan mucopolisacaridos formando la zona pelúcida alrededor del ovocito. (Gómez, 2015),

### **1.6.4. Folículo de Graff**

El antro folicular va aumentando su tamaño hasta adquirir las características de folículo de Graff alcanzando aproximadamente 15 mm en animales adultos (desarrollo y



dinámica folicular). Incrementando el tamaño de sus capas de granulosa y el líquido folicular aumenta proyectando el folículo a la superficie del ovario (Palma y Gottfried, 2001).

En esta etapa folicular el desarrollo de los mismos depende de las gonadotropinas, el crecimiento folicular en esta etapa ocurre en forma de las oleadas y cada oleada comienza con el aumento de FSH (Hernández, 2012).

#### **1.6.5. Cuerpo hemorrágico**

El folículo se rompe al momento de la ovulación, el óvulo y el líquido folicular son expulsados hacia el oviducto y las células que permanecían en el folículo se colapsan hacia la cavidad central llenándose de sangre y así formando el cuerpo hemorrágico (Valencia y Galina, 2008).

#### **1.6.6. Cuerpo lúteo**

Está constituido por células tecales y de granulosa hipertofiadadas, los espacios entre estas células son llenados por tejido conectivo y capilares sanguíneos. Tiene como función secretar progesterona hasta el momento de involucionar y convertirse en cuerpo albicans (Valencia y Galina, 2008).

## **1.7. Ciclo reproductivo**

Se define como el intervalo entre dos ovulaciones que varía de 14 a 25 días según (Díaz, 2007) considerándose 21 días como el promedio (Nieves, 2011). Dividiéndose así en tres etapas que son: fase folicular (Proestro), fase periovulatoria (estro y metaestro) y fase lutea (diestro) esto según (Gomez, 2015; Hernandez, 2012; Nieves, 2011).

### **1.7.1. Fase folicular**

Es la primera fase del ciclo reproductivo de la hembra bovina, se caracteriza por la regresión del cuerpo lúteo del ciclo anterior (Echeverría, 2006); esta fase dura aproximadamente 3 días del ciclo (Díaz, 2007) finalizando esta fase con el inicio del celo (Sintex, 2005). La destrucción del cuerpo lúteo existente se da por acción de la PGF2a (Gómez, 2015).

Con la disminución de la concentración de P4 el efecto de retroalimentación negativa que esta hormona ejercía a nivel hipotalámico desaparece y comienza el aumento de las hormonas gonadotropicas (FSH Y LH) estimulando así el crecimiento folicular (Sintex, 2005; Nieves, 2011; Gómez, 2015). En esta fase, a pesar de que muchos folículos están en desarrollo solo uno será el folículo dominante teniendo como características dos filas de células denominadas de la granulosa que es la que se encuentra en contacto con el ovulo, mientras que la otra fila de células más externa recibe el nombre de la teca (Nieves, 2011) estas células trabajan en conjunto durante el desarrollo folicular para la producción de estrógenos, al aumentar estos alcanzan un pico a nivel hipotalámico iniciando así la fase periovulatoria (Gómez, 2015).

### **1.7.2. Fase periovulatoria**

Esta fase se caracteriza por el comienzo de la receptividad y la formación del cuerpo lúteo. La receptividad del animal se manifiesta por medio de signos reproductivos, observándose que la hembra se deja montar por el macho o bien se deja montar por otras vacas o monta a otras vacas (Echeverría, 2006), así como edematización de la vulva, inquietud, secreción de moco vaginal (Gómez, 2015; Díaz, 2007). Según Nieves, (2011) de 16 horas; mientras que Sintex, (2005) menciona que de  $18 \pm 6$  horas y (Díaz, 2007; Gómez, 2015) mencionan que de  $16 \pm 4$  horas, es la duración de la receptividad de la hembra. Durante esta etapa los estrógenos en altas concentraciones provocan el aumento de la secreción de GnRH y así mismo de LH y FSH (Díaz, 2007); posteriormente de 4 a 12 horas después de los picos de LH y FSH se incrementa la concentración basal relacionándose esto con la primera onda folicular (Sintex, 2005).

Luego de 12 a 24 horas del comienzo de la receptividad, el sistema nervioso central del animal se torna refractario a los estrógenos y desapareciendo así las manifestaciones receptivas de la hembra y dando inicio a la ovulación (Gómez, 2015). Dando lugar de 28 a 32 horas iniciado el celo, en respuesta al pico preovulatorio de LH después de la ovulación se produce una hemorragia y llenándose de sangre el folículo convirtiéndose así en cuerpo hemorrágico (Nieves, 2011).

En la formación de cuerpo lúteo (luteinización) se producen una serie de cambios morfológicos y bioquímicos en las células foliculares transformándolas en células luteales (Sintex, 2005).

### **1.7.3. Fase lútea**

Es caracterizada por la presencia y dominio del cuerpo lúteo en el ovario y producción de progesterona esta dada desde el día 5 al 18 del ciclo reproductivo de la hembra (Echeverría, 2006). Se le denomina la como recuperación de los órganos reproductivos debido a que el cuerpo lúteo alcanza su tamaño máximo con un aumento en los niveles de P4 en la sangre alcanzando este pico entre el día 10 del ciclo manteniéndose elevada hasta los días 16 y 18 del ciclo (Díaz, 2007); si la vaca presenta un embrión, el cuerpo lúteo se mantiene y se bloquea la reaparición de estro, y en caso de ausencia de embrión provoca que las concentraciones de PGF2 $\alpha$  aumenten durante la parte final del cuerpo lúteo. La PGF2 $\alpha$  provoca una acción directa e indirecta causando luteólisis o regresión de cuerpo lúteo disminuyendo los niveles de progesterona y con ello el final de la fase lútea y la fase de regresión del cuerpo lúteo (Nieves, 2011).

### **1.8 Reproducción aplicada**

La situación actual en la ganadería lechera requiere de prácticas de manejo eficaces para mejorar la rentabilidad de los establecimientos de producción de leche (Bó *et al.*, 2009b; Fernández *et al.*, 2017). Con ayuda de biotecnologías reproductivas que van desde la inseminación artificial (IA) hasta la clonación, o conjunto de ellas que permiten aumentar la eficiencia reproductiva de los animales, estas biotecnologías son emblemáticos de la investigación, del control y dominio de las ciencias de la vida y zootecnia que lograron incrementar con éxito el progreso de los sistemas de producción a través de diferentes tecnologías aplicadas desde mediados de siglo XX , estas son de gran importancia ya que también pueden ser empleadas para la aplicación de otras tecnologías más modernas, la mayoría de estas tecnologías, dependen de la IA; a continuación (Cuadro 2) se hace mención de algunas de las biotecnologías aplicadas (Palma y Gottfried, 2001).

**Cuadro 2. Aplicación de biotecnologías reproductivas**

Biotecnología	Descripción
Inseminación Artificial y congelación de semen	Eliminación y disminución de enfermedades sexuales Uso de machos con alto valor genético Aumento en los porcentajes de eficiencia reproductiva
Sincronización e inducción de ovulación	Aumento del % de preñez Aumento en la eficiencia de manejo productivo y reproductivo
Súper ovulación, transferencia y congelación de embriones	Uso de hembras de alto valor genético Recuperación más eficaz de razas en peligro de extinción o denominados exóticos Importación y exportación de material genético
Micro manipulación de embriones para producir mellizos homocigotos o quimeras	Aumento del número de animales nacidos por embrión Aumento de la eficiencia genética Creación de modelos óptimos de experimentación
Determinación y selección de sexo de embriones y espermatozoides	Producción de la descendencia con sexo seleccionado
Producción <i>in vitro</i> de embriones	Uso de hembras que no responden a tratamientos súper ovulatorios Uso experimental
Clonación de animales por medio de transferencia nuclear	Eliminación de la variabilidad de genotipos individuales Aumento de la eficiencia de transgénesis

Fuente: Palma y Gottfried, (2001)

En las últimas décadas se han logrado avances significativos para hacer más eficientes los sistemas de producción lecheros, algunas técnicas empleadas en la reproducción son la inseminación artificial, transferencia embrionaria y la sincronización de estros.

### **1.8.1. Inseminación artificial**

La inseminación artificial (IA) es una técnica sencilla usada en hembras bovinas productoras de leche y carne, por medio de la cual se introduce manualmente semen dentro del útero de una hembra para fecundar el óvulo y conseguir la preñez (Guevara *et al.*, 2007).

La IA constituye un medio de ayuda para mejorar las condiciones de producción de las unidades de producción (Barrantes, 2008), es una técnica que, mediante la utilización de hormonas, permite sincronizar los celos y ovulaciones con lo cual es posible inseminar una gran cantidad de animales en un período corto de tiempo (Raso, 2012). También ha demostrado ampliamente su gran aporte para el mejoramiento genético en la ganadería lechera y los índices de producción lechera en diferentes partes del mundo (Huanaca, 2001).

Para obtener buenos resultados en la IA, es necesario considerar el inicio del celo ya que el sistema que se emplea universalmente es la regla AM-PM, es decir, que las vacas que son detectadas en estro por la mañana se inseminan en la tarde del mismo día y las que son detectadas en celo por la tarde son inseminadas por la mañana del día siguiente (Sumba, 2012).

La IA puede dar beneficios económicos a corto plazo para la gran mayoría de ganaderos. Sin embargo, la falta de personal entrenado y las deficiencias básicas en el manejo de las propiedades, han limitado una utilización más amplia. Uno de los principales factores que determinan el éxito del programa de inseminación artificial (IA) es la detección del celo, lo cual requiere tiempo y personal entrenado (Barrantes, 2008).

La eficiencia de la inseminación artificial depende de tres aspectos básicamente como es el tiempo de transporte requerido del esperma viaje desde el sitio en el que se depósito hasta el lugar de la fertilización, el periodo de vida o funcional tanto de los espermatozoides como del ovulo, así como el tiempo de ovulación con relación a la IA; es importante que los espermatozoides se encuentren en el tracto reproductivo de la vaca al menos de 6 a 8 horas antes de la hora estimada en que la vaca ovularía (Jiménez, 2007).

### **1.8.2. Inseminación artificial a tiempo fijo**

La principal razón por la cual se implementa la IA en los sistemas de producción es mantener la genética así como la calidad y alta producción de leche, pero hay ciertas dificultades que hacen que se dificulte el uso de estas tecnologías en un 100% debido al mal manejo así como la ineficiencia al detectar celos, es por esta razón que los sistemas de producción se han dado a la tarea de implementar protocolos de sincronización que permitan la IA sin necesidad de detectar estro, llamándola así IATF (inseminación a tiempo fijo) para así aumentar significativamente el número de animales inseminados (Bo y Cutaia, 2007). Dichos protocolos presentan ventajas y desventajas como son:

#### **Ventajas**

- Mejoría derivada del cruce de razas o mejoramiento genético
- Evitar la detección de celo, incrementando los resultados
- Reducir el tiempo de inseminación, encierres y gastos de honorarios
- Acortar el período de anestro post-parto
- Aumentar la proporción de vientres que se preñan temprano
- Mejor atención de los partos ya que los mismos se concentran en un período más breve
- El potencial reproductivo de un semental se incrementa
- Se puede probar rápidamente el potencial productivo y reproductivo de un semental
- No se utiliza semen de animales enfermos

- Se pueden utilizar sementales que no pueden copular
- Pueden ser servidas hembras jóvenes o de talla pequeña por otros grandes o pesados sin temor de lastimarlas
- Se puede mejorar el control de registros, cubriciones y nacimientos
- Se puede cubrir un gran número de vacas en un mismo día, cosa que sería muy difícil en condiciones naturales para un solo toro
- Permite la prueba de toros en forma confiable y segura
- Eliminación y disminución de enfermedades sexuales
- Uso intensivo de un macho de alto valor genético
- Aumento de la eficiencia de la estimación del valor genético

(Palma y Gottfried, 2001; Raso, 2012; Sumba, 2012).

### **Desventajas**

- Se necesita personal y una adecuada detección de celo (IA)
- Al iniciar un programa de IA en una unidad de producción la inversión monetaria es alta (compra de equipo e instalaciones)
- Si no se tiene un buen manejo del termo (nivel de nitrógeno o de las de semen (descongelación) se puede reducir (incluso llegar a cero) el porcentaje de concepción del hato

(Sumba, 2012).

Las biotecnologías más utilizadas actualmente en los sistemas de producción lechera son la inseminación artificial y la transferencia embrionaria, ya que son de gran utilidad para el aumento de producción convirtiéndose así en un alza económica muy notable.

### **1.8.3. Sincronización de celos**

En la actualidad el aumento constante de los sistemas de producción láctea, los productores han implementado programas de cría sistemáticos permitiendo la



sincronización de celos o la IA (Alvernaz, 2012). La sincronización de estros y la inseminación artificial son técnicas de gran importancia actualmente, ya que gracias a su desarrollo los sistemas de producción han obtenido un mejoramiento genético, incrementos en la producción (Nieves, 2011).

Se le da el nombre de sincronización al uso de hormonas que controlan o bien manipulan el ciclo estral de las hembras con el objetivo de que las hembras elegidas dentro del sistema de producción presenten estro al mismo tiempo aproximadamente, utilizado en los programas de inseminación artificial, transferencia de embriones, etc., por pocos días según sea el tipo de programa (Dejarnette y Nebel, 2007). En los sistemas de producción lechera el objetivo primordial es producir la mayor cantidad de litros de leche, por lo que es necesario lograr mantener un alto porcentaje de fertilidad, buscando inseminar el mayor número de animales en un periodo corto, esto implica el desarrollo de nuevas tecnologías que permitan sincronizar varias hembras en un periodo (Cuataia *et al.*, 2004). Uno de los programas de sincronización de celos más común es el uso de Prostaglandinas, existiendo otros métodos para sincronización de celos, teniendo como función la sincronización de las ondas foliculares (Mérola *et al.*, 2012).

#### **1.8.4. Transferencia embrionaria en bovinos**

Esta técnica puede acelerar la genética, mejora de ganado, así como la conservación genética dentro de un sistema, esto se da con el apoyo de implementación de protocolos de sincronización de estros (Chad *et al.*, 2009).

Es una técnica mediante la cual los embriones son seleccionados de una hembra donante y transferidos a la hembra receptora. En este proceso por lo regular se hace el uso de gonadotropinas para inducir a una súper ovulación en la hembra donante mientras que la hembra receptora debe encontrarse en celo para que ovulen al mismo tiempo que las hembras donantes (Galina y Valencia, 2008). Esta técnica ha sido utilizada en un alto porcentaje en los últimos años ya que gracias a esta biotecnología se pueden recolectar gran número de embriones y ser congelados para utilizarlos en el

momento que se decida así como la descendencia de embriones de toros de gran valor genético (Orellana y Peralta 2007).

Dentro de los diferentes sistemas de producción, llevan a cabo la reproducción aplicada desde la inseminación artificial al momento del celo hasta la sincronización de celos con hormonas para la inseminación en tiempo fijo, esto con la finalidad de obtener mayor número de crías al año y litros de leche al año, por esta razón se muestra a continuación los diferentes protocolos de sincronización con inseminación a tiempo fijo más utilizados dentro de los sistemas de producción ya estudiados.

### **1.9. Protocolos de sincronización**

En la actualidad en los sistemas de producción la detección de estros a resultado uno de los principales problemas de producción y la baja eficiencia reproductiva, optando así por la utilización de diversos métodos y programas para mejorar la detección de celo y con ello la producción, y tasa de preñez (Giraldo, 2008), gracias a el avance de estos programas los sistemas de producción tienen la opción de inseminar un gran número de animales en un corto tiempo (Cutaia *et al.*, 2004); Permitiendo así la inseminación sin la necesidad de la detección de celos usando los programas reproductivos o bien llamados protocolos de sincronización. Es posible escoger entre diferentes protocolos de sincronización de celos que pueden ser desde los más sencillos ( $PGF2\alpha$ ) hasta los más complejos con la utilización de GnRH o bien dispositivos con Progesterona, teniendo así la posibilidad de aplicar IATF (Bó *et al.*, 2009 a).

Los protocolos se pueden dividir de la siguiente forma: aquellos que utilizan combinaciones de GnRH Y  $PGF2\alpha$  reciben el nombre de Ovsynch y los que utilizan dispositivos intravaginales con progesterona (P4) y estradiol (Bó y Cuataia, 2007).

### **1.9.1. Ovsynch**

Este protocolo ha mostrado gran fertilidad para las vacas de leche y carne (Bó y Cuataia, 2007), consiste en la administración de GnRH y PGF2 $\alpha$  para la sincronización de la ovulación de la hembra (Huanca, 2001), siendo este el primer protocolo desarrollado para la sincronización (Flaquer, 2007). La base de Ovsynch consiste en aplicación de GnRH para la inducción de la ovulación, la formación de cuerpo lúteo y una onda folicular, es decir para que la vaca regrese a los inicios de su ciclo, aplicando así la prostaglandina a los 7 días después para regresar el CL y la última GnRH se administra 48 h después para inducir la ovulación de un nuevo folículo, llevando a cabo la inseminación artificial a tiempo fijo (IATF) de 16 a 24 horas después.

El éxito o el fracaso de un programa reproductivo dependen del completo entendimiento del ciclo estral, su fisiología, los mecanismos hormonales así como el funcionamiento de los productos usados para la sincronización (Nieves, 2011).

## **2. Planteamiento del problema**

Las unidades de producción de ganado lechero presentan gran diversidad a nivel nacional, a pesar de esta heterogeneidad, existen problemas en común que generan grandes cantidades de desechos voluntarios, generando pérdidas económicas a las unidades productivas, una de las principales causas de desecho voluntario son los problemas reproductivos, partiendo del hecho de que se requiere el parto para desencadenar la producción láctea; por tal motivo, las fallas reproductivas se convierten en fallas productivas por la inexistente producción lechera.

Para lograr una eficiencia productiva y disminuir el número de desechos voluntarios se deben generar estrategias para lograr la reproducción de las vacas lecheras, tal es el caso de detección adecuadas de celos, periodos de espera voluntarios de 50 a 60 días, inseminación o monta natural de todas las vacas antes del día 70 post parto y mantener un intervalo entre partos lo más cercano a un año.

Considerando lo anterior, la presente investigación documental pretende dar los elementos necesarios para disminuir el desecho voluntario a través del uso eficiente de diversas herramientas y técnicas reproductivas, esto con la intención de que las vacas en cualquier sistema productivo alcance su potencial y se refleje en beneficios económicos para los ganaderos.

### **3. Justificación**

Las fallas reproductivas generan gran cantidad de pérdidas económicas debido a la baja producción de leche y al desecho voluntarios, por tal motivo, la presente investigación muestra una revisión actual y pertinente de las principales técnicas y métodos reproductivos aplicables a sistemas de producción de leche, esto con la intención de generar un documento de consulta con bases científicas que se puedan aplicar por Médicos Veterinarios Zootecnistas, Licenciados en Producción Animal, Ingenieros Agrónomos Zootecnistas o cualquier especialista en producción animal, para así tener un material que coadyuve a mejorar la eficiencia de los sistemas de producción de leche.

## **4. Objetivos**

### General

Generar un manual técnico que incluya las principales técnicas y métodos reproductivos en el ganado lechero

### Particulares

Realizar una revisión exhaustiva sobre las principales técnicas y métodos reproductivos del ganado lechero

Documentar los principales avances en reproducción del ganado lechero

## **5. Materiales y métodos**

Se realizará una investigación documental la cual consistirá en la revisión de documentos de carácter técnico y científico, como son artículos científicos principalmente de journals con reconocimiento, revistas con rigor científico, bases de datos, libros, entre otros. Con la finalidad de obtener información pertinente, adecuada, precisa y amplia para la elaboración de este manual.

La base documental empleará preferentemente artículos científicos de los siguiente journals, además de metabuscadores y bases de datos de carácter científico:

- Journal of Animal Science,
- National Center for Biotechnology Information
- Journal of Dairy Science
- Redalyc
- Scielo
- Dialnet

Una vez obtenida la información de los artículos científicos y bases de datos, se ordenará y sistematizará con la intención de realizar un documento con estructura de manual, se enfatizará en la parte teórica como sustento y posteriormente se realizará la descripción gráfico o en esquemas a manera de manual técnico, esto con la intención de que el usuario pueda tener la parte teórica y práctica en el mismo escrito.

El manual tendrá el siguiente capitulado:

Introducción

Fisioanatomía reproductiva

Endocrinología reproductiva

Reproducción aplicada

Inseminación artificial

Inseminación artificial a tiempo fijo

Diagnóstico de preñez

Finalmente, la información obtenida para dicha investigación documental se colocará en el apartado de referencias y citas bibliográficas.



## 6. Resultados

### 6.1. Protocolos de sincronización en ganado lechero

El desarrollo de protocolos de sincronización de estros ha permitido el uso de la inseminación artificial en bovinos de forma eficiente, con la posibilidad de que un grupo de hembras tengan la oportunidad de manifestar el estro en un periodo corto, manipulando así el ciclo estral con el uso de hormonas (Alvernaz, 2012). Así como también se han desarrollado dispositivos intravaginales con la misma finalidad (Callejas *et al.*, 2014), tal situación obedece a que uno de los factores que disminuye la tasa de preñez es la mala detección de estros, por tal motivo la sincronización permite que disminuya la posibilidad de no detectar los celos.

Los protocolos de sincronización de celo y ovulación en combinación con Inseminación Artificial en Tiempo Fijo (IATF), son utilizados para mejorar la eficiencia reproductiva en vacas lecheras ya que pueden ser una alternativa útil para el manejo reproductivo (Ahmadi *et al.*, 2016); la eficiencia de estos depende de un cierto número de factores que implica un eficiente grupo de trabajadores para la detección de estros, por tal motivo en los sistemas de producción de leche se ha favorecido la implementación de programas con inseminaciones a tiempo fijo, para así mejorar la eficiencia de los programas de sincronización de celos e incrementar la tasa de gestación (Flores *et al.*, 2012) además de disminuir factores exógenos como son los ambientales destacando el fotoperiodo y clima (Contreras, 2017).

Algunos programas de sincronización requieren de la detección de estro, algunos otros incorporan la inseminación a tiempo fijo, así como también existen ciertos programas enfocados en la fase lútea así como la fase folicular, pero en conjunto proporcionan beneficios a los sistemas de producción láctea como son: reducir el manejo y mejorar la tasa de preñez incrementando así la eficiencia reproductiva ya que habría menor desecho de vacas altas productoras, los costos de reemplazo serán reducidos, se verá reflejado el aumento de producción lechera, habrá más becerros nacidos por año que en años anteriores, la detección de estros ya no sería un problema tan grave de

enfrentar gracias a los programas que se han desarrollado para no utilizar la detección de estros, los problemas reproductivos serán diagnosticados fácilmente y rápidamente y gracias a todos estos puntos la rentabilidad de el sistema de producción mejorara notablemente (Jiménez, 2007).

Dentro de los protocolos de sincronización de celos e inseminación a tiempo fijo están aquellos que utilizan combinaciones de PGF2 $\alpha$  y GnRH, llamados Ovsynch así como los dispositivos con Progesterona (P4) y estradiol, también encontraron combinaciones de estos o el uso de otro tipo de protocolos que son Presynch, Coosynch, uso de PGF2 $\alpha$ , P4, GnRH, Benzoanato y estradiol (Camelo y Zorro, 2007), todos estos programas se han empleado en sistemas de producción de leche mostrando ventajas y beneficios que se reflejan en un incremento de la tasa de preñez.

La tasa de preñez es un punto importante dentro de un sistema de producción lechero ya que es el producto de la tasa de detección de celos por la tasa de concepción, siendo así la tasa de detección de celos la relación entre los animales detectados en celo y el total de los que efectivamente están disponibles para ser inseminados, mientras que la tasa de concepción es el porcentaje de preñez obtenido sobre las que se sirvieron (Bó, 2011).

Un punto importante que se debe tener en cuenta el productor debe seleccionar aquel programa de sincronización que sea rentable y eficiente para el sistema de producción, ya que a lo largo del tiempo los programas de sincronización han cambiado, así como han sido combinados, entonces para elegir el protocolo correcto es importante también tener en cuenta la tasa de detección de celos, tasa concepción, y lo primordial la tasa de preñez. (Alvernaz, 2012).

## **6.2. Principales hormonas utilizadas en los protocolos de sincronización**

Las hormonas han sido utilizadas para aumentar la probabilidad de detección de celo e inseminación así como para aumentar la tasa de preñez en animales lecheros, las

hormonas utilizadas para controlar el ciclo estral son hormonas sintéticas (Cuadro 3) reproductivas para controlar el desarrollo de las ondas foliculares, promoviendo así la ovulación (Bó, 2011).

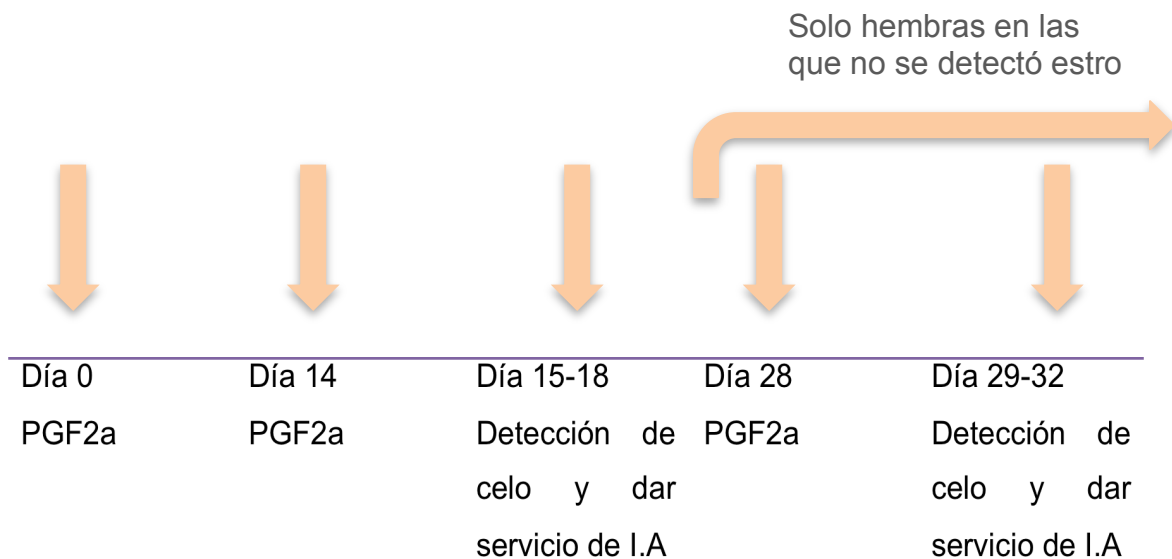
**Cuadro 3. Hormonas usadas en la reproducción bovina**

Hormona	Producto	Vía de admón.	Uso
Progesterona/ progestágenos	MGA™ Premezcla (acetato de melengestrol)	Suministrar en el alimento	Sincronización del apareamiento
	CIDR Dispositivo (Progesterona, farmacia animal health)	Intravaginal	Sincronización del apareamiento Tratamiento del anestro
Prostaglandinas	Lutalyse/dinolytic solución estéril (dinoprost trometamina, farmacia animal health)	IM	Regresión del cuerpo lúteo Sincronización del apareamiento Tratamiento del calor silencioso Metritis crónica y piometra Inducción al aborto Inducción al parto
Estradiol	ECP solución estéril (cipionato de estradiol, farmacia animal health)	IM	Tratamiento del anestro Estimula la expulsión de material virulento y fetos momificados en útero
FSH	Hormona folículo estimulante	IM	Estimula el desarrollo folicular
GnRH	Hormona liberadora de las gonadotropinas	IM	Estimula la liberación de FSH/LH por la pituitaria resultado en : ovulación y nueva onda folicular

Fuente: Nieves (2001)

### 6.3. Protocolo Targeted Breeding

Este programa requiere tres aplicaciones de PGF2 $\alpha$  tal como se muestra en la Figura 11 (Gallegos *et al.*, 2009), los cuales inician a los 28 días post parto, posteriormente se aplica la segunda después de 14 días. La intención de las dos aplicaciones es la siguiente, la primera adecua el ciclo estral de las hembras participantes en el programa para que todas entren en celo, la segunda aplicación sincroniza los celos y genera que todas las vacas participantes sin problemas patológicos reproductivos estén en celo en el mismo periodo permitiendo la detección y la posterior inseminación, en el caso de que no se detecte el celo se esperan 14 días más y se aplica la tercera PGF2 $\alpha$ , se detecta celo y se insemina solo a las hembras que no se habían inseminado (Jiménez, 2007; Alvernaz, 2012).



**Figura 11. Protocolo targeted breeding**

Fuente: Nieves (2011).

Este programa presenta las siguientes ventajas, es uno de los programas más económicos en comparación con los protocolos de sincronización de la ovulación, ya que en la mayoría de los programas el costo total de los medicamentos es mayor al de los protocolos con prostaglandinas (Nieves, 2011; Palomares, 2017), el uso de prostaglandinas no genera residuos en leche, además de que es de fácil aplicación y de no haber patologías el 80% de las vacas entra en celo a las 72 horas post aplicación.

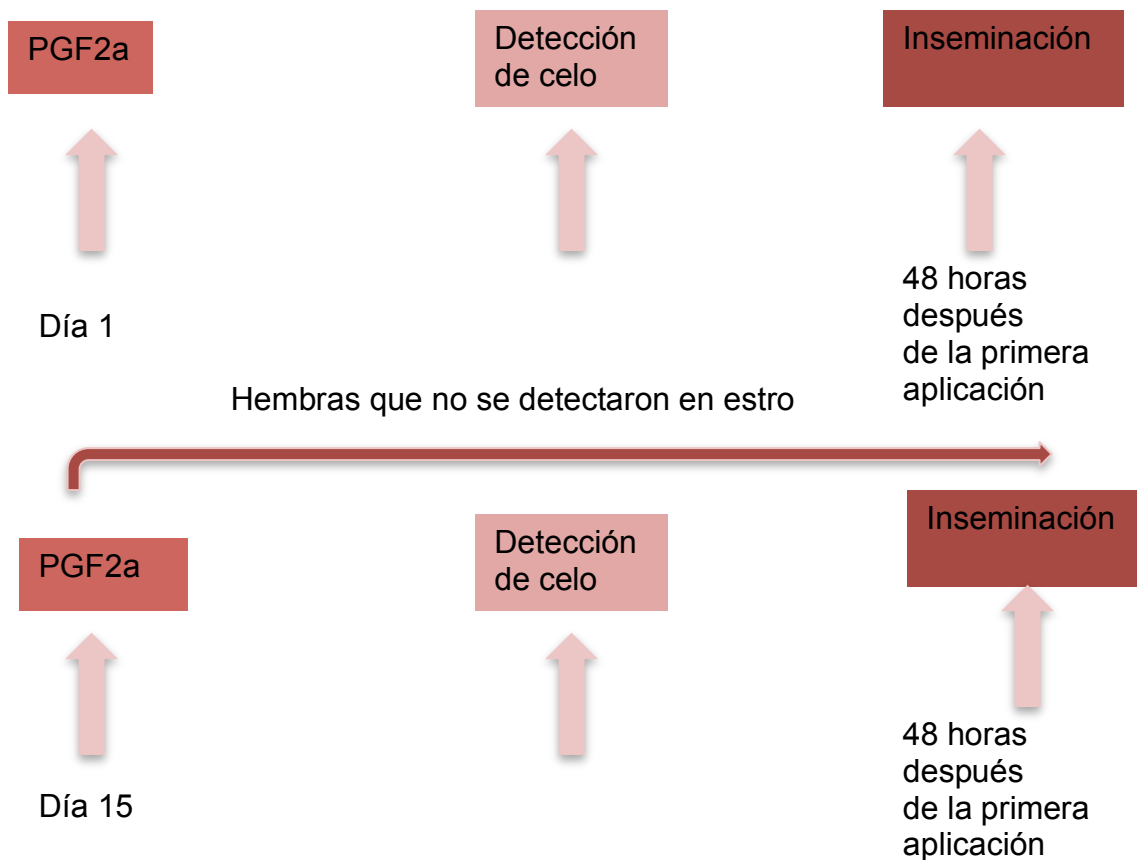
Una de las principales desventajas de este programa es que no sincroniza el crecimiento folicular, las  $PGF2\alpha$  solo regulan la duración de vida del CL (Giraldo, 2008; Palomares, 2009). La detección de celos incorrecta a la primera aplicación de  $PGF2\alpha$  y aplicar una segunda dosis, la otra desventaja es la carencia de ciclos y no precisamente con la falla en la detección de estros, si no que un 10% de las vacas no muestran celo durante los primeros 80 días de la lactancia y por último., las que presentan quistes foliculares no muestran efecto positivo con el tratamiento de  $PGF2\alpha$  (Nieves, 2011).

Alvernaz, (2012) menciona que se han realizado diferentes estudios relacionados con la eficiencia del protocolo targeted breeding, pero se han encontrado muchos resultados contradictorios, ya que un estudio realizado se mencionó que no existía diferencia significativa en la duración ó intervalo entre partos, mientras que en otro estudio se encontraron mejoramientos en los intervalos entre partos al verse reducidos.

#### **6.4. Protocolo Presynch**

El uso de  $PGF2\alpha$  ayuda a que un grupo de hembras entren en celo al mismo tiempo, para que este protocolo sea exitoso es necesario que los animales seleccionados se encuentren ciclando y la detección de celos sea eficiente (Bosques, 2010; Palomares 2017).

El protocolo Presynch consta de dos aplicaciones de PGF2 $\alpha$  (Figura 12), la primera aplicación se realiza en animales que superan los 50 días en leche y no han sido inseminadas pero si han mostrado signos de estro, de 48 a 96 horas se insemina, las vacas que no muestran signos de estro se les aplica nuevamente PGF2 $\alpha$  a los siete o nueve días posteriores a la primera aplicación asegurando así la presencia de un cuerpo lúteo funcional, en la segunda aplicación la mayor parte de los animales presenta celo de 48 a 72 horas y posteriormente se procede a la inseminación. Normalmente un 60% de las vacas que se encuentran ciclando tendrán un cuerpo lúteo que responde a la primera aplicación mientras que el otro 40% responde hasta la segunda aplicación (Nieves, 2011).



**Figura 12. Protocolo presynch**  
Fuente: Bosques, (2010).

Palomares (2017), menciona que este programa de sincronización tiene mejor eficiencia en vaquillas, ya que estas son animales más fértiles en el hato, la principal ventaja de este protocolo es el bajo costo y que en animales sin problemas reproductivos es eficiente garantizando más del 90% de respuesta, es barato y fácil de aplicar, aunque para obtener una respuesta satisfactoria se debe tener personal capacitado para la detección de celos e inseminadores con habilidad.

Nieves (2011), menciona que en un estudio realizado en el cual se compararon Ovsynch con presynch se obtuvieron buenos resultados a favor de presynch ya que la tasa de concepción aumento en un 29% para las vacas con el programa de Ovsynch mientras que para las vacas que recibieron el protocolo presynch obtuvieron un 43%, deduciendo así que el uso de presynch para programar vacas y recibir su primera IATF puede mejorar la tasa concepción al primer servicio.

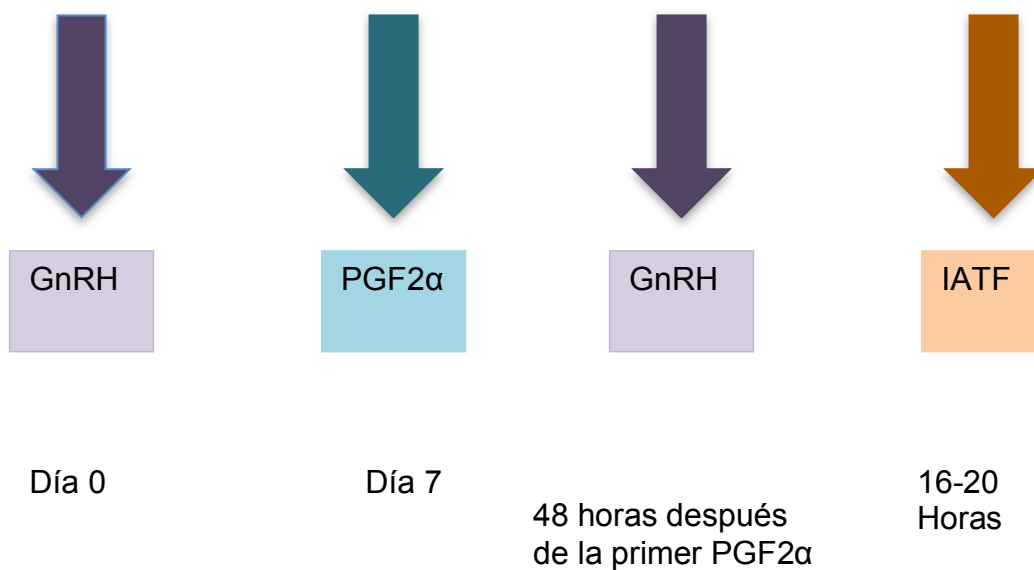
## **6.5. Protocolo Ovsynch**

Por mucho tiempo se buscó desarrollar un programa de sincronización que superara los problemas así como las limitaciones asociadas con la detección de estros, fue en 1995 cuando se desarrollo este programa conocido como Ovsynch en la universidad de Wisconsin- Madison (Jimenez, 2007).

Este es uno de los protocolos más utilizados hoy en día que consta de la utilización de PGF2 $\alpha$  y GnRH para la sincronización de la ovulación de un grupo de hembras bovinas productoras de leche, este fue el primer protocolo que se desarrolló para IATF (Inseminación Artificial a Tiempo Fijo), este protocolo es el que a lo largo de los años se ha utilizado como base para el desarrollo de otros protocolos (Flaquer, 2007; Flores *et al.*, 2015).

Este protocolo (Figura 13) consta de una primera administración de GnRH desencadenando la secreción de LH y FSH, provocando la luteinización o la ovulación

de los folículos dominantes existentes, al mismo tiempo una nueva onda folicular y el crecimiento de estos, gracias a la secreción de LH y FSH, 7 días más tarde se aplica PGF2 $\alpha$  provocando la regresión del CL ya existente o que recientemente se había formado, 48 horas después se aplica una segunda inyección de GnRH provocando la secreción de LH (Palomares, 2009; Alvernaz, 2012; Flores *et al.*, 2015), el intervalo que existe entre la primera y segunda dosis de GnRH es suficiente para que se dé el reclutamiento, selección y crecimiento (dinámica folicular) del nuevo folículo dominante dándose así la ovulación entre aproximadamente 30 horas (Gómez, 2015), 16 a 20 horas después se hace la IATF (Giraldo, 2008; Palomares, 2009; Alvernaz, 2012; Oktay *et al.*, 2014; Gómez, 2015; Flores *et al.*, 2015).



**Figura 13. Protocolo Ovsynch**

Fuente: Alvernaz, (2012); Oktay *et al.*, (2014)

Este protocolo de inseminación a tiempo fijo es altamente empleado en sistemas de producción de leche, una de las principales ventajas que posee este es que garantiza



la IA de todas las vacas participantes en el protocolo en un momento preciso mientras que en otros protocolos solo se inseminan a las vacas que se detectan en estro (Giraldo, 2008), en este protocolo si hay presencia de signos de estro o no se debe realiza la inseminación ya que las hormonas gonadotrópicas estimulan la hipófisis y ovarios para que se dé la ovulación. A pesar de que los estudios realizados este protocolo ha demostrado un alto incremento en la tasa de servicio y de preñez y mejoría en la eficiencia reproductiva en los hatos lecheros (Gómez, 2015).

Este protocolo tiene algunas limitaciones cuando se usa en vacas que no están en la fase adecuada del ciclo estral (Gómez, 2015). Para que el protocolo dé los resultados deseados es necesario que el momento de la administración de hormonas sea el adecuado. Si el intervalo entre la aplicación de GnRH y PGF2 $\alpha$  es inferior a los 7 días cabe la posibilidad de que la regresión del cuerpo lúteo no se dé, en cuanto a la segunda aplicación de GnRH es atrasada más de 48 horas las vacas no ovulan de forma sincronizada (Palomares, 2009).

Uno de los factores que influye en la respuesta esperada de este protocolo es en qué etapa del ciclo estral de la hembra se empieza la sincronización Domínguez, (2015); Flores, (2015). Colozo *et al.*, (2007); Díaz, (2010); Barrantes, (2008) mencionan que si el protocolo de sincronización se inicia entre el día uno y cuatro, o bien durante el meta estro, se corre el riesgo de que el folículo dominante no responda al tratamiento inicial con GnRH y este sufra atresia al momento de la aplicación de PGF2 $\alpha$ , en cambio si se inicia los días 13 y 17 del ciclo estral el folículo dominante de la segunda onda folicular no podrá ovular en respuesta al primer tratamiento de GnRH y ante la ausencia de la ovulación la PGF2 $\alpha$  causa luteolisis y la ovulación temprana de un folículo dominante causando así el fracaso de este protocolo.

Ahmadi *et al.*, (2016) menciona que Ovsynch es un programa desarrollado para la sincronización de la ovulación para la reproducción programada, mostrando una tasa de preñez de 30 a 40%; mientras que Flores *et al.*, (2015) obtuvo mejores resultados para Ovsynch sobre un protocolo PDIR5d (Ovsynch modificado con progesterona)

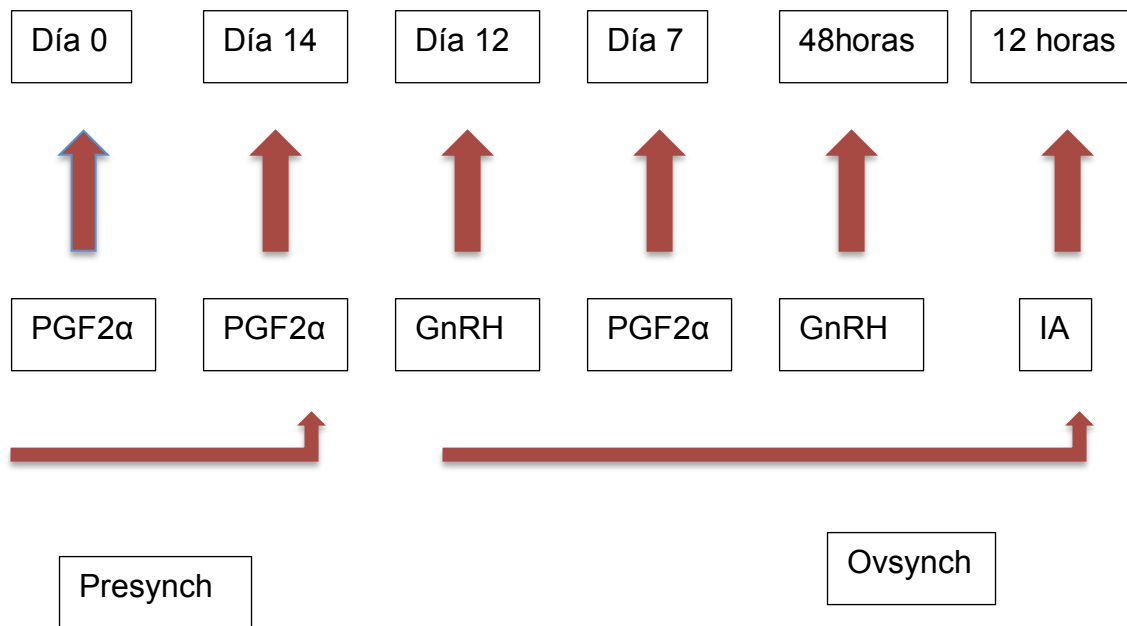
obteniendo una tasa de gestación similar entre ambos tratamientos (27% vs 21%, Ovsynch y PRID5d, respectivamente); Bò,(2011) menciona que los porcentajes de preñez obtenidos con el protocolo Ovsynch en vacas lecheras oscila entre el 30% y 55% y por esta razón es uno de los protocolos más utilizados para la sincronización e inseminación.

Diferentes estudios han demostrado que el protocolo Ovsynch es muy efectivo y económico para mejorar el desempeño reproductivo en vacas de alta producción, si bien los costos de administración de protocolos de sincronización e IATF pueden parecer elevados y las deficiencias en la detección de estros es un problema importante que puede afectar la economía y productividad de la unidad de producción (Sosa, 2007).

#### **6.6. Presynch + Ovsynch**

Según estudios realizados se ha demostrado que la fase del ciclo estral en la que se encuentran las hembras afecta los resultados del programa Ovsynch, debido a que la primera administración de GnRH no produzca la ovulación y con ello la nueva onda folicular, gracias a eso se ha desarrollado este protocolo para pre sincronizar a las hembras antes de la primera administración de GnRH (Bó *et al.*, 2009, b)

Es un protocolo modificado de Ovsynch (Figura 14) ya que consiste en administrar PGF2 $\alpha$ , 14 días después otra aplicación de PGF2 $\alpha$  y a los 12 días la primera aplicación de GnRH posteriormente a los 7 días otra administración de PGF2 $\alpha$  a los 2 días GnRH y a las 12 horas IA (Bó *et al.*, 2009, b; Sabino, 2010; Alvernaz, 2012; Gomez, 2015; Contreras, 2017).



**Figura 14. Protocolo Presynch + Ovsynch**

Fuente: Bó *et al* , (2009), c.

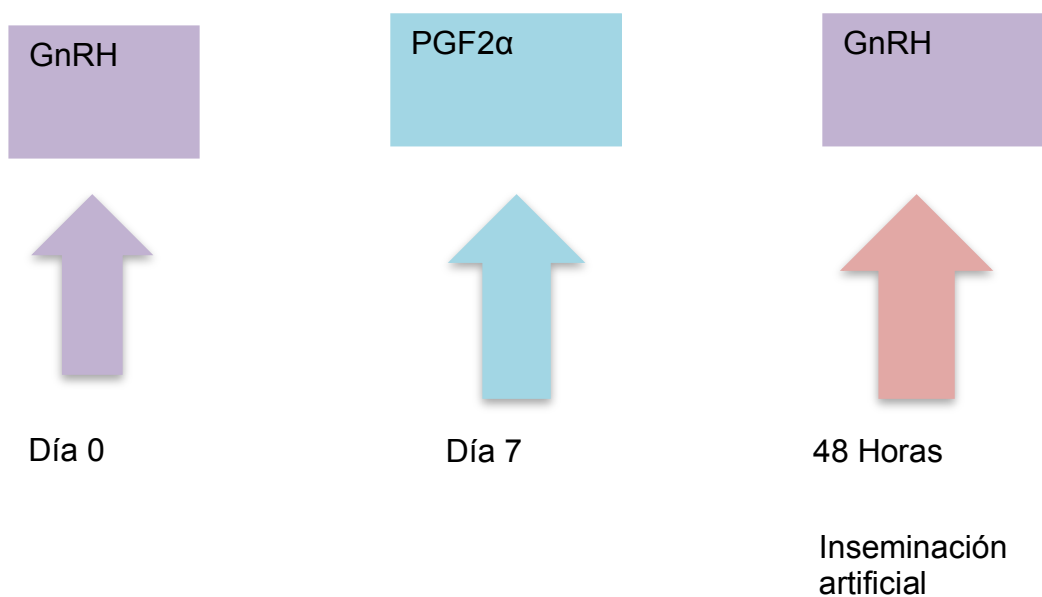
Aumentando así las probabilidades de aumentar la ovulación y reducir la aparición de luteolisis antes del final del protocolo (Contreras, 2017). Gracias a la segunda aplicación de PGF2α 12 días antes de la primera aplicación de GnRH, mejora la primera concepción de servicio comparado con Ovsynch (Bó *et al* , 2009 c). Este protocolo mejora la tasa de preñez pero para eso es importante mantener los intervalos de 12 días entre la segunda dosis de PGF2α y la primera dosis de GnRH ya que si hay un intervalo entre estos mayor puede disminuir el porcentaje de preñez (Sabino, 2010; Gómez, 2015).

Alvernaz, (2012) menciona que al comparar el programa presynch con el Ovsynch, el programa presynch tuvo una tasa de concepción más alta alcanzando hasta el 35% de preñez; Palomares (2009), menciona que en un estudio realizado en el cual se compararon el protocolo presynch/Ovsynch contra Ovsynch, obtuvieron resultados

positivos a presynch mas Ovsynch (49.6%- 37.3%), en estos resultados es necesario que se siga al pie de la letra dichos protocolos de sincronización

### 6.7. Protocolo Cosynch

El nombre de cosynch se debe a la modificación de Ovsynch o presynch el cual consiste de tan solo tres manipulaciones en los animales en contraste con cuatro manipulaciones del protocolo Ovsynch (Gómez *et al.*, 2017). Consiste en la inseminación a tiempo fijo seguida de la aplicación de la segunda administración de GnRH (Nieves, 2011) tal como se muestra en la Figura 15.



**Figura 15. Protocolo Cosynch**

Fuente: Gómez *et al.*, (2017)

Este es uno de los protocolos que te permitirán hacer una inseminación a tiempo fijo sin la necesidad de la detección de celos (Bartolomé *et al.*, 2011), este programa no tiene la misma eficiencia que el Ovsynch y se debe aplicar en vacas que están ciclando.

Para maximizar la eficiencia de concepción se requiere de la detección de estro (Dejarnette y Nebel, 2007). Según estudios se encontró que este protocolo no es tan eficiente debido a la baja preñez que muestra al inseminar junto con la segunda aplicación de GnRH, es por esto que se hace la combinación con dispositivos invaginales (Gómez *et al.*, 2017; Nieves, 2011).

### **6.8. CIDR**

El uso de dispositivos de liberación interna controlada de medicamentos (CIDR) para la sincronización de estros ha permitido la inseminación artificial en tiempo fijo obteniendo altos porcentajes de eficiencia reproductiva en combinación con estradiol y GnRH dando una oportunidad de manipular el ciclo estral de la hembra sin detección de estros (Mapletoft *et al.*, 2003).

El uso de progesterona para la sincronización tuvo origen en nueva Zelanda y Australia, donde se utilizó el CIDR, que es un dispositivo que contiene progesterona, que fue usado en los primeros protocolos de sincronización para la inseminación y resincronización (Sosa, 2007). Actualmente, se encuentran disponibles diferentes tipos de dispositivos intravaginales, los cuales contienen concentraciones diferentes de progesterona como por ejemplo: CIDR B-1 (1,9g de progesterona); PRID (1,55g de progesterona); DIB 1g de progesterona), DISPOCEL (1g de progesterona), uno de los más utilizados es el CIDR-B (Jiménez, 2007).

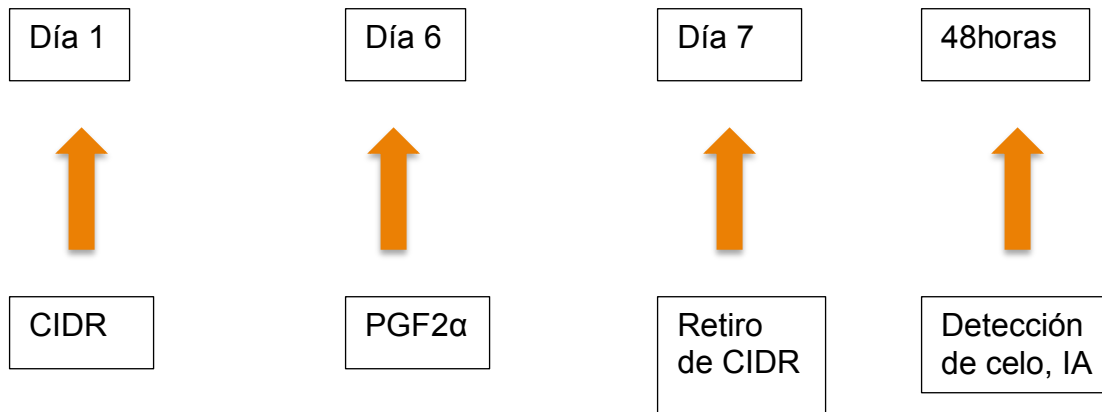
Este dispositivo actúa como liberador de progesterona y esta es absorbida por la mucosa vaginal, en cantidades suficientes para provocar la regresión del folículo dominante y acelerar el recambio de las ondas foliculares aumentando la FSH que va a ser la responsable del inicio de la siguiente onda folicular, al retirar el CIDR las concentraciones de P4 disminuyen induciendo así el incremento de LH , el crecimiento

y persistencia de el folículo dominante con altas concentraciones de estradiol provocando el celo (García, 2009); de 30 a 90 horas posteriores al retiro del CIDR (Palomares, 2017).

En la actualidad se han realizado diversas modificaciones al programa básico Ovsynch para obtener altos porcentajes en la tasa de gestación, entre estas modificaciones destacan la inclusión de progesterona, ya que ha favorecido la tasa de gestación hasta un 10%, relacionando este aumento con un mejor ambiente para el desarrollo del folículo ovulatorio; además de que puede inducir el estro en hembras con problemas reproductivos. Por otra parte, se busca con esta modificación disminuir el periodo de dominancia del folículo ovulatorio mediante el acortamiento entre la primera aplicación de GnRH y PGF2 $\alpha$  (Flores *et al.*, 2015).

#### **6.9. Presynch + CIDR**

El CIDR es insertado en la vagina con un aplicador especial, dejando expuesta una cola de nylon unida al extremo del CIDR, usado para extraer el dispositivo, este queda dentro de la vagina por siete días administrando (Figura 16) PGF2 $\alpha$  24 horas antes de la extracción del dispositivo y la detección de estro comienza 48 horas después de la extracción del dispositivo (Mapletoft *et al.*, 2003).

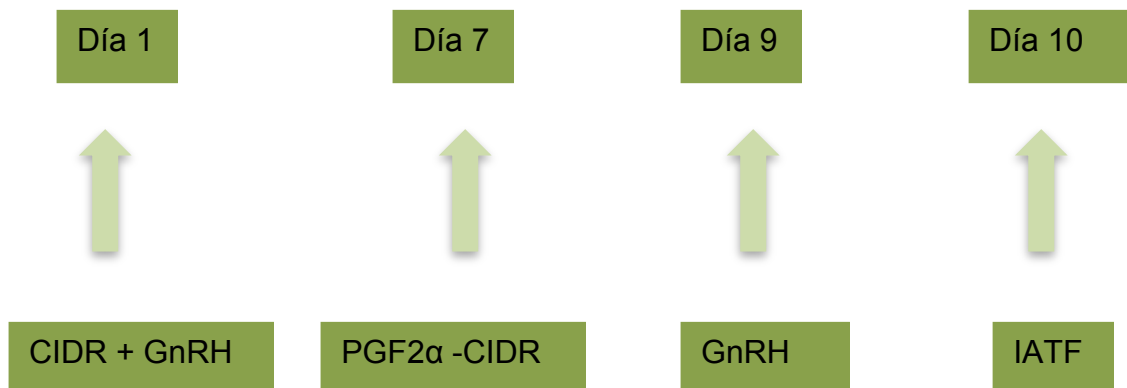


**Figura 16. Presynch + CIDR**

Fuente: Flores *et al.*, (2015)

### 6.10. CIDR+ Ovsynch

Este protocolo consiste en la inserción intravaginal de CIDR el mismo día de la primera aplicación de GnRH, a los 7 días después, se retira el dispositivo administrando PGF2α, 48 horas más tarde se hace la administración de GnRH y finalmente la inseminación artificial 16-20 horas después de la última aplicación de GnRH, (Figura 17) este protocolo ha demostrado excelentes resultados en las tasas de preñez (Palomares, 2017).



**Figura 17. Protocolo CIDR + Ovsynch**

Fuente: (Gómez, 2015;).

Gómez, (2015) menciona que en un estudio realizado en la comparación de protocolos Ovsynch vs Ovsynch + CIDR que hay una diferencia 28%:32% respectivamente hablando del porcentaje de preñez; Menciona que en un estudio realizado al agregar el dispositivo CIDR durante 7 días junto con la administración de GnRH mejora de 50% : 55% los porcentajes de preñez en comparación con el Ovsynch tradicional. Existiendo cierta diferencia en los efectos de GnRH con la aparición de la onda folicular al inducir con CIDR; Bó, (2011) menciona que el uso de progesterona da como resultado porcentajes de preñez entre el 35% y 55% siendo este influenciado por la condición corporal, días de lactancia y producción de las vacas

### 6.11. Heatsynch

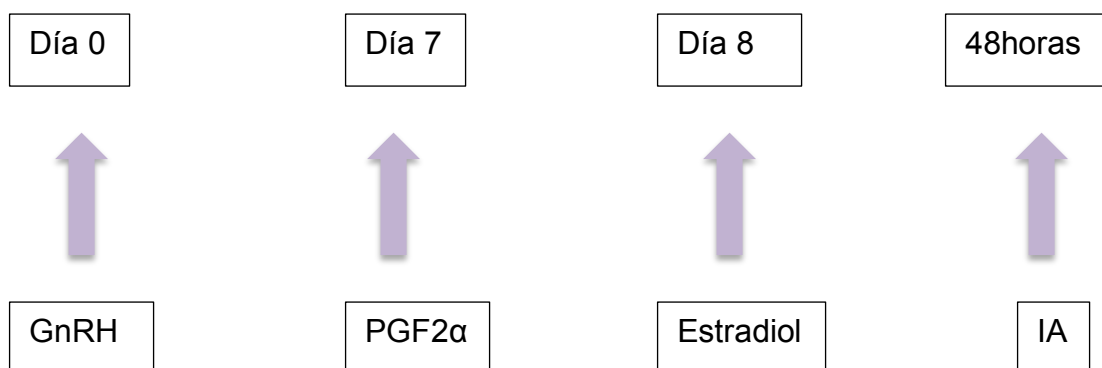
El protocolo Hetsynch (Figura 18) es una modificación del Ovsynch; es decir se hace un reemplazo de estradiol en vez de la segunda aplicación de GnRH, administrándose 24 horas después de la PGF2α seguida por la inseminación 48 horas después de la administración de estradiol; siendo este utilizado para aumentar el número de animales



que muestran signos de estro y así mejorar la tasa de preñez. Este protocolo simula un estro natural, debido a la administración de estradiol (Ahmadi *et al.*, 2016).

La sustitución de estrógenos por la segunda administración de GnRH es lógica por diferentes razones como son desde el costo, la inducción de características normales de estro, tales como son la conducta sexual, secreción de moco, etc; estos eventos simulan un estro natural cuando el estrógeno se administra en su tiempo adecuado después de la regresión del cuerpo lúteo inducida por la PGF2 $\alpha$  (Sosa, 2007).

La utilización de estradiol provoca la aparición de signos de estro en altas concentraciones, pero no se puede confiar en esto como un indicador de ocurrencia de la ovulación (Mohan *et al.*, 2009).



### Figura 18. Protocolo Heatsynch

Fuente: Ahmadi *et al.*, (2016)

En un estudio realizado por Ahmadi *et al.*, 2016 que consistía en la aplicación de dos tratamientos; tratamiento 1 (GnRH el día 0, PGF2 $\alpha$  al día 7, benzoato de estradiol a las 24 horas) y el tratamiento 2 (GnRH el día 0, PGF2 $\alpha$  al día 7, benzoato de estradiol a las 48 horas) no demostró una diferencia significativa en la tasa de concepción (37.9% vs.

34.2%) demostrando así que el tiempo de administración de estradiol no afectó la tasa de concepción.

Según Sosa (2007), menciona que la frecuencia de detección de estros es mayor con la modificación de estradiol en vez de GnRH, pero esto no quiere decir que sea mejor protocolo ya que en estudios realizados se encontró que la incidencia de estro fue menor en el protocolo Ovsynch con un 54% comparada con un 87% en el protocolo Heatsynch, pero mayor número de vacas tratadas con Ovsynch se les detectó un pico de LH preovulatorio (95% vs. 65%) y ovularon (100% vs. 86%).

Según Jiménez (2007), en un estudio realizado encontró que 40% de las vacas fueron detectadas en calor con el protocolo Heatsynch en comparación con 8% usando el protocolo original Ovsynch. Una de las mayores ventajas con el protocolo Heatsynch en comparación con el Ovsynch es la reducción en el costo de la GnRH. Se ha demostrado que la tasa de concepción después del protocolo Heatsynch es de 50.7 +/- 6.5%.

## **7. Conclusiones**

El empleo de técnicas reproductivas en ganado bovino lechero ha demostrado de gran ayuda para hacer más eficientes los sistemas de producción, siendo la inseminación artificial la tecnología más empleada a nivel mundial, actualmente no solo se emplea la inseminación artificial ya que se han desarrollado programas reproductivos con la intención de incrementar la tasa de preñez, para lograr tal fin, es necesario incrementar el porcentaje de detección de celos así como la tasa de concepción, por tal motivo, de acuerdo con la revisión que se realizó se concluye que existen protocolos que mejoran la tasa de preñez, siendo el ovsynch uno de los más empleados y con mayor respuesta ya que no requiere la detección de celos y se realiza inseminación a tiempo fijo, lo cual logra una tasa de preñez que va del 30 al 55%.

## 6. Bibliografía

- Ahmadi, M. R., Mirzaei, A., Alipour, M., (2016). Different times of estradiol treatment combined with the progesterone in the heatsynch protocols at the presence or absence of corpus luteum in dairy cows. *Revue Med Vet.* 167:59-64
- Alvernaz. B., (2012). *Efficiency Comparison between Two Systematic Breeding Protocols: Target Breeding and Presynchronization Program At a Large Central Valley Dairy Farm.* In Partial Fulfillment Of the Requirements for the Degree Bachelor of Science. The Faculty of the Dairy Science Department. California Polytechnic University, San Luis Obispo
- Armendariz. R. M. (2017). Sistemas de producción lechera en el ejido los llanos, municipio de Arteaga, Coahuila: un estudio de caso en lechería familiar. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro división de ciencias socioeconómicas departamento de economía agrícola. Buenavista, saltillo, Coahuila, México.
- ASERCA. Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria. (2010). Situación actual y perspectiva de la producción de leche de bovino en México 2010. *Revista claridades agropecuarias.* 207:334-43. Revisado 15 de Agosto 2017. <http://www.infoaserca.gob.mx/claridades/revistas/207/ca207.pdf>
- Barrantes, M. H., (2008). *Inseminación artificial a termino fijo su uso racional y eficiente en la reproducción bovina.* Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD) escuela de ciencias agrícolas, pecuarias y del medio ambiente zootecnia . Zipaquirá.
- Bartolome, J.A., Zapata,L., Picco, R.A., Cledou, G., (2011). Reducción del intervalo entre la primera GnRH y la PGF2a en un protocolo cosynch con dispositivo de progesterona y su efecto en la fertilidad de vacas en ordeño. *Rev. Taurus.* 13(52):34-39.
- Bó, G. A. (2011). Programas de IATF en ganadobovino lechero. *Spermova.*1(1):34-43
- Bó, G. A y Cutaia, L. (2007). Implementación de programas de inseminación artificial

en rodeos de cría. *SINTEX Especialidades Veterinarias*. Revisado el día 17 de Agosto del 2017.

[http://absnet.com.br/upload/library/Implementacao\\_IATF\\_rodeos\\_cria.pdf](http://absnet.com.br/upload/library/Implementacao_IATF_rodeos_cria.pdf)

- Bó, G. A., Cutaia, L. E., Souza, A. H., Baruselli, E. S. (2009 a). Actualización sobre protocolos de IATF en bovinos de leche utilizando dispositivos de progesterona. *Sitio Argentino de Producción Animal*. 11(41):20-34.
- Bó, G. A., Cutaia, L. E., Souza, A. H., Baruselli, E.S. (2009 b). Actualización sobre protocolos de IATF en bovinos de leche. *Sitio Argentino de Producción Animal*. 1:1-3.
- Bosques, M. J., W. M. Graves. (2010). *Programa De Sincronización De Hatos*. Cooperative Extensión. The University of Georgia.1227-SP
- Callejas, S., Uslenghi, G., Catalano, R., Larghi, J., Cabodevila, J., (2014). Comparación de dos protocolos para sincronizar ovulación e implementar inseminación artificial en vaquillonas. *Rev. Vet.* 25(2):100-104.
- Camacho, V.H.J., Cervantes, E. F., Palacios, R. I.M., Cesin, V. A., Ocampo, L.J. (2017). Especialización de los sistemas productivos lecheros en México: la difusión del modelo tecnológico Holstein. *Rev.mex.de cienc. Pecuarias*. 8(3)
- Camelo, C.I.D., Zorro, L.A.Y., (2007). *Dinámica folicular en hembras bovinas cebuinas sincronizadas mediante dispositivo intravaginal nuevo y usado*. Tesis de licenciatura. Universidad la salle, facultad de medicina veterinaria, Bogota, 85pag.
- Caravaca, R. F. P., Castel, G. J. M., Guzmán, G. J. L., Delgado, P. M., Mena, G. Y., Alcalde, A. M .J., González, R. P. (2005). *Bases de producción animal* (1°ed).España. Edit. SEVILLA.p57-90.
- Cardozo, C. J. A., Velázquez, P. J. G., Rodríguez, F. G., Prieto, M, E., Tarazona, L. G., Espitia, P. A. (2002). *Evaluación reproductiva del macho bovino en condiciones tropicales* (1°ed).Bogotá(Colombia).Edit. CORPOICA.pp11-13.
- Castañeda, M. L. (2009). *Fisiología de la reproducción bovina: desde la fecundación hasta la implantación embrionaria*. Tesis de licenciatura. Universidad la Salle.

Bogotá, D.C.

- Castro, R. A. (2002). *Ganadería de la leche* (1°ed). San José(Costa Rica).Edit. EUNED. pp147,156.
- Cervantes, E. F., Santoyo, C. H., Álvarez, M. A. (2001). *Lechería familiar "factores de éxito para el negocio"* (1°ed). México. Edit. Plaza Valdez. pp29-32, 59-63
- Chad, C. C., Vargas, A. C., Hammond, C. A., Olson, A. T., Griffin, L.J., Murphy, N.C., Tewolde, A. (2009). Embryo transfer in angus and brahmán recipient cows: efecto of two methods of estrus synchronization on induced estrus and pregnancy. *Revista científica*. 19(6):630-638.
- Colozo, M.G., Mapletoft, R.J., Martinez M.F., Kastelic J.P., (2007). El uso de tratamientos hormonales para sincronizar el celo y la ovulación en vaquillonas. *Ciencia veterinaria*. 9(1):16
- Cordova, I. A., Ruiz, L. C. G. Xolapa, C. V., 2011. Biotecnologías de la reproducción animal con posibilidad de aplicación para optimizar el potencial reproductivo y productivo de los animales . *Revista Complutense de Ciencias Veterinarias*. 5(2):1-10.
- Contreras, P.S.E., 2017. *Evaluación de diferentes metodologías de sincronización de la onda folicular y la ovulación sobre la eficiencia reproductiva en hembras bovinas doble propósito*. Tesis de Licenciatura. Universidad de Cundinamarca, facultad de ciencias agropecuarias y zootecnia. Fusagasuga.72pag.
- Cuataia. L.,Feresin. F., Bò. G.A. (2004). Programas de resincronización de celos y ultrasonografía aplicada a la reproducción. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Católica de Córdoba. Revisado el 18 de Noviembre <http://www.syntexar.com/descargas/Resinco%20y%20US%20aplicada.pdf>
- Díaz. A.P., (2010). *Tasa de preñez de vacas Angus y Brangus en la sabana de Bogotá con protocolo de inseminación a tiempo fijo cosynch mas implante de progesterona*. Tesis de licenciatura. Instituto de reproducción animal Cordoba (irac) y escuela para graduados facultad de ciencias agropecuarias universidad nacional de Córdoba.

- Díaz, C. C. A. (2007). *Métodos de sincronización de celo en bovinos*. Monografía. Universidad autónoma agraria Antonio narro. Torreón Coahuila.
- Dejarnette, M. (2007a). Anatomía y fisiología de la reproducción bovina. *Select Sires*. Revisado el 24 de Junio del 2017 [http://www.selectsires.com/dairy/SpainResources/reproductive\\_anatomy\\_spanish.pdf?version=20170404](http://www.selectsires.com/dairy/SpainResources/reproductive_anatomy_spanish.pdf?version=20170404)
- Dejarnette, M. (2017 b). Inseminación artificial en bovinos. *Select Sires*. Revisado el 24 de Junio del 2018 [http://www.selectsires.com/dairy/spanresources/ai\\_technique\\_spanish.pdf?version=20170404](http://www.selectsires.com/dairy/spanresources/ai_technique_spanish.pdf?version=20170404)
- Dejarnette. M., Nebel. R. (2007). Protocolos de sincronización para vacas lecheras. *Select Sires*. Revisado el 9 de Diciembre 2017. [http://www.selectsires.com/dairy/spanresources/0708\\_spanish\\_dairycow.pdf?version=20170404](http://www.selectsires.com/dairy/spanresources/0708_spanish_dairycow.pdf?version=20170404)
- Dyce, M. K., Sack, W. O., Wensing, C. J.G. (2012). *Anatomía veterinaria* (4°ed). México (D.F). Edit. El manual moderno. pp700-719.
- Echeverría, J. (2006). Endocrinología reproductiva: prostaglandinas F2 $\alpha$  en vacas. *REDVET*. 1(7):12.
- Espinoza, O. A., Espinosa, A.E., Bastida, L. J., Castañeda, M.T., Arriaga, J.C.M. (2007). Small-scale dairy farming in the higlands of central México: technical, economic and social aspects and their impact on poverty. *Experimental agriculture*. 43 (1):241-256.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2018). Portal lácteo. Revisado 20 de Abril del 2018. <http://www.fao.org/dairy-production-products/es/>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2016). El sector lechero mundial: datos. Revisado el 12 de mayo del 2018. <http://www.dairydeclaration.org/Portals/153/FAO-Global-Facts-SPANISH-F.PDF?v=1>

Fatrovonfranken [http://www.fatrovonfranken.com/Productos/Grandes-Animales\\_Hormonales/Dispocel-Max](http://www.fatrovonfranken.com/Productos/Grandes-Animales_Hormonales/Dispocel-Max)

Fernández, C. B.L. 2009. Reproducción aplicada en el ganado bovino lechero (2º ed.). México. Editorial Trillas. Pp 53-57, 70-73.

Fernández, F. J.A., Arieta, R.R.J., Tadeo, C. P., González, A.J.F., Ramírez, V.O. (2017). Porcentaje de concepción en vacas *Bos indicus* utilizando sincronización de estros e inseminación artificial a tiempo fijo (IATF). *REDVET*. 18(11):3-8.

Filipiak, Y., Viqueira M , Bielli A. 2016. Desarrollo y dinámica de los folículos ováricos desde la etapa fetal hasta la prepuberal en bovinos. *Veterinaria Montevideo*. 202(52):14-22.

Flaquer, B., J.(2007). *Respuesta a la introducción y sincronización del celo con CIDR, GnRH Y PGF2 $\alpha$  en vacas de doble propósito en anestro*. Tesis para obtener el grado de Ingeniera Agrónoma. Zamorano Honduras.pp15

Flores, M. A., Enríquez, B. E., Anchondo, G.A., Grado, J. A., Rodríguez, M. C., Ramírez, G. J. A., (2012). Uso de benzoato de estradiol o GnRH en vaquillas sincronizadas con progesterona y PGF2a. *Tenconciencia chihuahua*. 7(1):8.

Flores, D. S., Muñoz, F. L.R., López, O. R., Arechiga, F. C.F., Mapes, G., Hernández, C.J., (2015). Gestación en vacas lecheras con dos protocolos de sincronización de la ovulación e inseminación a tiempo fijo. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*. 6(4):13.

Galina, C., Valencia, J. (2008). *Reproducción de animales domésticos* (3ºed). México. Editorial. Limusa .

Gallegos, M.P., Castro, H. L., Carmona, C. A., García, Saucedo, J.S., Quintero., (2009). Evaluación del Ovsynch y targeted breeding sobre los índices de gestación y días abiertos en ganado lechero. XIX Reunión internacional sobre producción de carne y leche en climas cálidos. Memorias, Mexicali baja california 8 y 9 de



octubre.

García, H. L.A., Aguilar, V.A., Luevano, G.A. (2005). *La globalización productiva y comercial de la leche y sus derivados “Articulación de la ganadería intensiva lechera de la comarca lagunera”* (1°ed ). México. Editorial Plaza y Valdez. Pp 17-87.

García, Z. L. C. (2009). *Plan de mejoramiento productivo y reproductivo en la unidad ganadera de la granja los alpes*. Tesis de licenciatura. Corporación universitaria lasallista, Facultad de ciencias administrativas y agropecuarias. Caldas-Antoquia. Pp13-15, 37-40.

Giraldo, G.J.J., (2008). Sincronización y resincronización de celos y de ovulación en ganado de leche y carne. *Revista lasallista de investigación*. 5(2).

Gómez, R. J. I., 2015. *Utilización de dos protocolos hormonales para la sincronización de la ovulación (Ovsynch +CIDR vs Ovsynch) y su efecto sobre la fertilidad de vacas lecheras Holstein*. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Torreón Coahuila

Gómez, S.C., Alegre,B., Martínez, P.F., Prieto,J.G., González,M.J.R., Alonso,M.E., Domínguez,J.C., 2017. Evaluación de la introducción de un dispositivo de progesterona (CIDR) en un protocolo cosynch en ganado vacuno lechero. *AIDA*. 1:371-373.

Guarneros, A. R., Zarate, M. J.P., (2014). Como mejorar la inseminación artificial en ganadería de doble propósito. INIFAP. <http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/1002.pdf>

Guevara, R. J., González, O. A., Espinosa, G. A., Estrada, A.L. (2007). GGAVATT Bovinos productores de leche “Dobladense”. *INIFAP*. Revisado 15 Agosto del 2017. [http://utep.inifap.gob.mx/imagenes/ACASOS\\_EXITO\\_2009/GUANAJUATO%203.pdf](http://utep.inifap.gob.mx/imagenes/ACASOS_EXITO_2009/GUANAJUATO%203.pdf)

Gutiérrez, A.C.J. (2008). Hormonas de la reproducción bovina. Desarrollo sostenible

de ganadería de doble propósito. Revisado 4 de Julio del 2017. Disponible en:  
[http://www.avpa.ula.ve/libro\\_desarrollosost/pdf/capitulo\\_42.pdf](http://www.avpa.ula.ve/libro_desarrollosost/pdf/capitulo_42.pdf)

Hafez, E. S. E., Hafez, B. (2002). *Reproducción e inseminación artificial en animales* (7° ed.) México. Editorial McGraw-Hill.

Hernández, C. J., Álvaro, O. L., (2009). Manual de inseminación artificial en bovinos. Departamento de reproducción, Facultad de medicina veterinaria y zootecnia, universidad autónoma de México

[http://www.fmvz.unam.mx/fmvz/principal/archivos/Manuales/50\\_Inseminacion\\_artificial.pdf](http://www.fmvz.unam.mx/fmvz/principal/archivos/Manuales/50_Inseminacion_artificial.pdf)

Hernández. C.J. (2012). *Fisiología clínica de la reproducción de bovinos lecheros*. (1° ed.) México.

Huanca, G., (2001). Inseminación Artificial a Tiempo Fijo en vacas lecheras. *Rev. Inv. Vet.* 2(2): 161-163.

(INEGI) Instituto Nacional de Estadística, Geográfica e Informática y el Colegio de Posgraduados (CP). (1998). La ganadería familiar en México. Revisado el 28 de septiembre de 2017.  
[http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/380/702825118525/702825118525\\_1.pdf](http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/380/702825118525/702825118525_1.pdf)

Jiménez, R.D.G., (2007). *Sincronización en vacas lecheras lactantes*. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria, Antonio Narro. Buenavista, saltillo, Coahuila, México

Loera, J., Banda, J. (2017). Industria lechera en México: parámetros de la producción de leche y abasto del mercado interno. *Revista de investigaciones altoandinas*. 19 (4).

Lucy M.C. (2007). The bovine dominant ovarian follicle. *Journal of animal science*.85:89-99.

Mapletoft, R. J., Martínez, M. F., Colazo, M. G., Kastelic, J. P.(2003) El uso de

dispositivos internos de liberación controlada de drogas para la regulación de la reproducción bovina, *Journal of Animal Science*. 81(14):28:36.

Maldonado, G.G., (2011). Evaluación de agro empresas lecheras con diferente nivel tecnológico en el occidente y norte de México. Tesis de posgrado. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, Estado de México.

Martínez, C. C. J., Cotera, R. J y Zavaleta, J. A. (2012). Características de la producción y comercialización de leche bovina en sistemas de doble propósito en Dobladero, Veracruz. *Revista Mexicana de Agronegocios*. (30).

Mérola. D., Cuelho. N., Cavestany. D. (2012). Sincronización de celos con prostaglandina F<sub>2α</sub> e Inseminación Artificial a celo visto en vaquillonas de carne. *Veterinaria Montevideo*. 48(187):31-32.

Mohan, K., Sharkar, M., Praskash, B.S., (2009). Efficiency of heatsynch protocol in estrous synchronization, ovulation and conception of dairy buffaloes (*Bubalus bubalis*). *Asian-Aust.J.Animal.Sci*. 22(6):774-780.

Montero, D., (2013). Manual de inseminación artificial en bovinos. Tesis de licenciatura. Facultad de medicina veterinaria y zootecnia, universidad veracruzana. Veracruz, Veracruz.

Motta, D.P.A., Ramos, C. N., Gonzales, S. C.M y Castro, .R. E. (2011). Dinámica folicular en la vida reproductiva de la hembra bovina. *Vet. zootec*. 5(2):88-99

Nieves, D. R. (2011). *Protocolos de sincronización de estros en la industria lechera. Tesis de licenciatura*. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Oktaý, Y., Ozenc, E., Ahmet,C.H., (2014). Effect of exogenous progesterone on success of Ovsynch protocol in dairy cows with ovarian cyst. *Acta scientiae Veterinariae*. 42(1):1-9.

Orellana. B. J.C., Peralta. P. E. M. (2007). *Manual de procedimientos para el laboratorio de transferencia de embriones en bovinos de la empresa Genetic*

*Resources International (GRI) and Sexing Technologies*. Proyecto especial de licenciatura. Universidad Zamorano. Honduras.

Palma, A.G y Gottfried, B. (2001). Biotecnología de la reproducción. Revisado el 2 de Junio del 2017 [http://www.reprobiotec.com/libro\\_azul/cap\\_01.pdf](http://www.reprobiotec.com/libro_azul/cap_01.pdf)

Palomares, G. S. R. (2009). *Revisión de los protocolos empleados en la sincronización de celos en bovinos*. Tesis de licenciatura. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, U.D.C.A. Bogotá, D.C.

Palomares, R. A., (2017). Programas de sincronización de hatos. UGA extensión. Pag1:8

Pérez, A. J. (2016). Evaluación económica de unidades de producción de leche doble propósito en el municipio de Tlatlaya, estado de México. Tesis. Universidad autónoma del estado de México, centro Temascaltepec. Temascaltepec, Estado de México.

Ptaszynska, M. (2007). *Compendio de reproducción animal de intervét* (9° ed). 2007. Sinervia, Uruguay/Paraguay. Partners in reproduction.

Porras, A. A.I., Paramo, R. R.M. (2009). Manual de prácticas de reproducción. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de medicina Veterinaria y Zootecnia. Revisado el 24 de Junio del 2017. Disponible en: [http://www.fmvz.unam.mx/fmvz/principal/archivos/Manuales/60\\_Reproduccion\\_Animal.pdf](http://www.fmvz.unam.mx/fmvz/principal/archivos/Manuales/60_Reproduccion_Animal.pdf)

PRID DELTA. <https://www.ceva.com.mx/Especies-y-Productos/Listado-de-Productos/PRID-R-DELTA>

Raso, M. (2012). Inseminación Artificial a Tiempo Fijo (I. A. T.F). Ganadería. Revisado el 14 de Octubre del 2017 [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta\\_ganaderia46\\_inseminacion\\_ovina.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_ganaderia46_inseminacion_ovina.pdf)

Rebollar, R. S., Callejas, J. N., Hernández, M. H. J., Gómez, T. G., Guzmán, S. E.

- (2016). Isocuata de la producción de leche semi intensiva en una región del Estado de México. *Ciencia ergo-sum*. 23(2):171-178.
- Sabino, E.F. 2010. *Protocolos para sincronización del estro en bovinos criollos de carne en el municipio de San Lucas ojitlan en el estado de Oaxaca*. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Torreón Coahuila.
- SAGARPA. (2016) Secretaria de Agricultura , Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Panorama de la leche en México. Revisado el 22 de Junio del 2017.  
[en:http://infosiap.siap.gob.mx/opt/boletlech/Brochure%20leche\\_Diciembre2016.pdf](http://infosiap.siap.gob.mx/opt/boletlech/Brochure%20leche_Diciembre2016.pdf)
- SAGARPA. (2017) Secretaria de Agricultura , Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Sistemas de producción de leche bovina en granjas familiares. Revisado el 22 de Junio de 2017.  
[en:http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasaapt/Sistema%20de%20producción%20de%20leche%20en%20granjas%20bovinas%20familiares.pdf](http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasaapt/Sistema%20de%20producción%20de%20leche%20en%20granjas%20bovinas%20familiares.pdf)
- Sanz, P. M. A. (2000). *Dinámica folicular en vacas nodrizas sometidas a condiciones nutricionales y de manejo del ternero diferentes. factores de explotación asociados a la duración del anestro postparto*. Memoria de investigación de Doctorado. Universidad de Zaragoza.
- SIAP Servicio de información agroalimentaria y pesquera. (2017). Día mundial de la leche. Revisado el 9 de mayo del 2017. <https://www.gob.mx/siap/articulos/dia-mundial-de-la-leche-en-mexico-se-estima-cerrar-2017-en-11-mil-610-millones-de-litros-provenientes-del-bovino?idiom=es>
- Sifuentes, F. I., Ruiz, T. J., Ríos, F.J.L. (2005). Diagnóstico macroeconómico de la producción lechera en la comarca lagunera: periodo 1980-2000. *Revista Chapingo serie zonas áridas*. 4(1):1-9.

- Sintex. (2005). Laboratorio de Especialidades Veterinarias. Fisiología reproductiva del bovino. Revisado el 14 de Octubre del 2017. [http://www.produccionanimal.com.ar/informacion\\_tecnica/inseminacion\\_artificial/71-fisiologia\\_reproductiva\\_del\\_bovino.pdf](http://www.produccionanimal.com.ar/informacion_tecnica/inseminacion_artificial/71-fisiologia_reproductiva_del_bovino.pdf)
- Sisson, S., Grossman, J. D. (2003). Anatomía de los animales domésticos (5° ed.) Tomo (I). Rubí (Barcelona). Editorial Masson.
- Sosa, C. X., 2007. *Efecto de dos protocolos de sincronización de la ovulación sobre la fertilidad en vacas holstein con lactancia inducida*. Tesis de licenciatura. Torreón Coahuila, México.
- Sumba, L. J. P. (2012). *Inseminación Artificial con celo natural en vacas productoras de leche con semen sin el proceso de descongelado en el canton paute*. Tesis de licenciatura. Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca, Ecuador.
- Virbac. <https://mx.virbac.com/home/productos/bovinos/productos/hormonales/main/virbac-product-list/dispositivo-intravaginal-bovino.html>
- Yunga, A. E. S. (2013). *Efecto de la hormona gonadotropina corionica equina (eCG) en la maduración folicular en bovinos con su cría al pie*. Tesis para Maestría. Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias agropecuarias, Centro de Postgrado. Cuenca, Ecuador.
- Zamudio, A. B., Alberti, M.P., Manzo, F. Sánchez, M. T. (2004). La participación de las mujeres en los sistemas de traspasio de producción lechera en la Ciudad de México. *Cuadernos de desarrollo rural*. (51):12-25.
- Zoetis. <https://ar.zoetis.com/products/bovinos/cidr.aspx>

## ANEXOS

### Equipo de inseminación artificial



Figura 19. Equipo de inseminación artificial

(1: termo, 2: corta pajillas, 3: pinzas, 4: aplicadores, 5: fundas para aplicador, 6: guante, 7: toallas)

(Montero, 2013)



Figura20. Extracción de pajilla de tanque de nitrógeno (Montero, 2013)

## Técnica de cuidado de semen



Figura 21. Termo de descongelación (Guarneros y Zarate, 2014)



Figura 22. Termómetro para medir la temperatura de descongelamiento (Guarneros y Zarate, 2014)



Figura 23. Descongelación de semen (Hernández y Álvaro 2009)

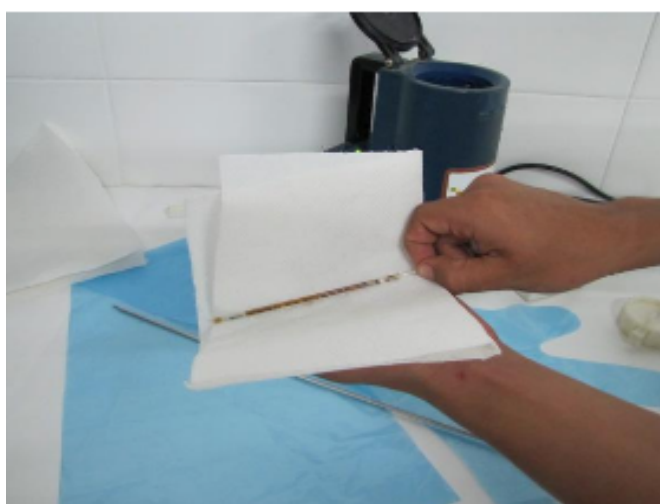


Figura 24. Secado de pajilla (Montero, 2013)



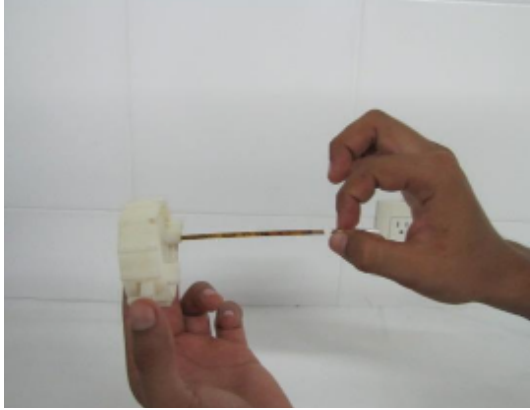


Figura 25. Corte de la punta de la pajilla (Montero, 2013)

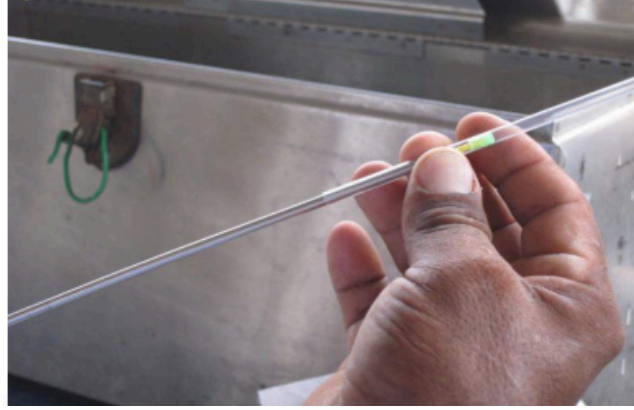


Figura 26. Montaje de la pajilla en el aplicador de la inseminación (Guarneros y Zarate, 2014)

### Técnica de inseminación artificial



Figura 27. Palpación rectal (Dejarnette, 2017)

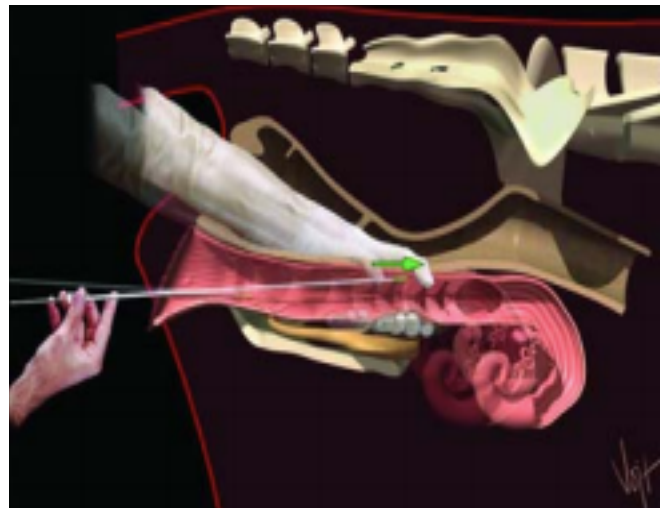


Figura 27. Introducción de aplicador de inseminación hasta el cérvix (Dejarnette, 2017)

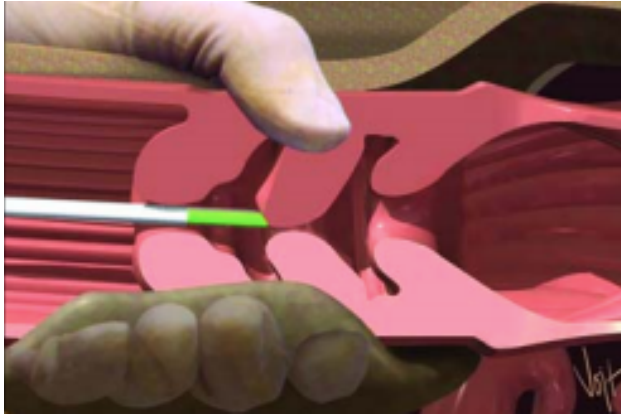


Figura 28. Introducción de pipeta delante de cérvix (Dejarnette, 2017)

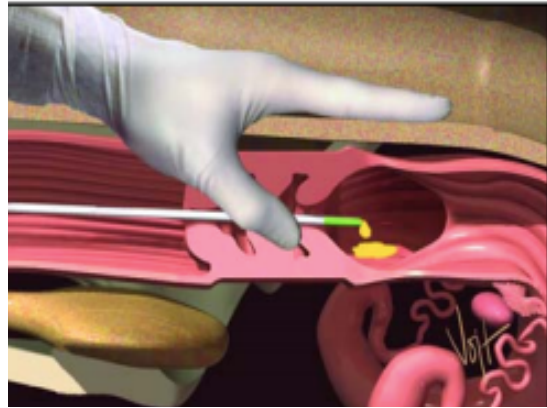


Figura 29. Depositar semen en el cuerpo uterino (Dejarnette, 2017)

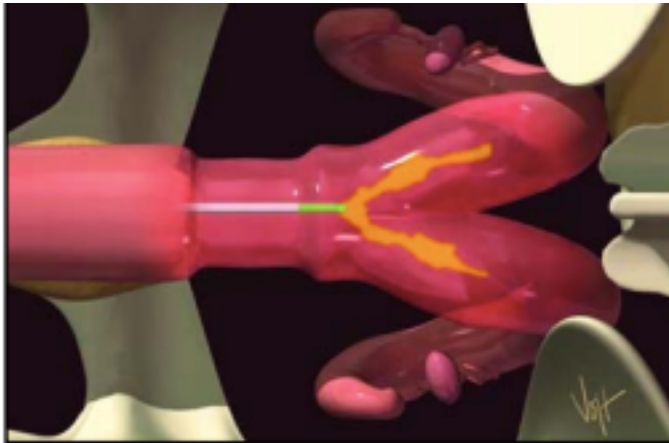


Figura 30. Transporte de semen a cuernos (Dejarnette, 2017)

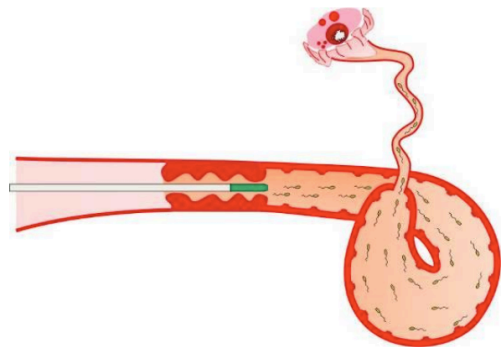


Figura 31. Transporte de semen a oviductos (Hernández y Álvaro 2009)

## Dispositivos intravaginales



CIDR/ ZOOETIS



PRID/ DELTA



DISPOCEL/ FATROVONFRANKEN



DIB/ VIRBAC