

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL



Protocolos de sincronización de estros y ovulación para la primera
inseminación artificial en la vaca lechera postparto

Por:

JOSÉ GUADALUPE JIMENEZ MORALES

MONOGRAFÍA

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

Saltillo, Coahuila, México

Noviembre de 2020

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL



Protocolos de sincronización de estros y ovulación para la primera
inseminación artificial en la vaca lechera postparto

Por:

JOSÉ GUADALUPE JIMÉNEZ MORALES

MONOGRAFÍA

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

Saltillo, Coahuila, México

Noviembre de 2020

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL

Por:

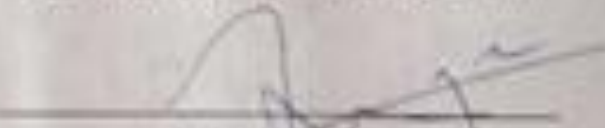
JOSÉ GUADALUPE JIMÉNEZ MORALES

MONOGRAFÍA

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

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

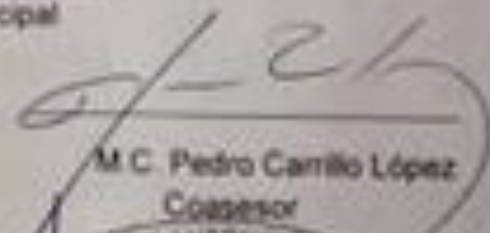
Aprobada por el Comité de Asesoría



Dr. Joel Ventura Rios
Asesor principal



M.C. Enrique Esquivel Gubémez
Coasesor



M.C. Pedro Carrillo López
Coasesor



Dr. José Duarte Alamo
Coordinador de la División de Ciencia Animal



Saltillo, Coahuila, México, noviembre del 2020

DEDICATORIAS

Dedico este trabajo principalmente a **Dios**, por permitir el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mi **madre** y mi **padre** a quienes quiero mucho por ser los pilares más importantes y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional sin importar nuestras diferencias de opiniones.

A mis **hermanos** que siempre me apoyaron en forma moral y que fueron parte importante por sus consejos durante mi formación.

A mi tía María, a quien quiero como a una madre, por quererme y extrañarme a su manera y siempre estando pendiente de mí, recibiendo siempre su apoyo moral.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a **Dios** por bendecirme la vida, por guiarme a lo largo de mi existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

Gracias a mis padres: **Leopolda Morales Flores** y **Fernando Jiménez Neri**, por ser los principales promotores de nuestros sueños, por confiar y creer en mis expectativas, por los consejos, valores y principios que me han inculcado, que con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir una meta más.

A mis hermanos: **Fernando**, **Pedro** y **Lizet**, por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias por sus consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

A mis maestros y amigos: **M.C. Enrique Esquivel**, **M.C. Pedro Carrillo**, **Ing. Ricardo Deyta**, **Dr. Jose Espinoza Velázquez**, **Dr. Joel Ventura Ríos** quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que pudiera crecer día a día como profesional, gracias a cada una de ustedes por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad.

En especial un agradecimiento profundo a la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**, mi **alma mater** por el acojo y experiencia vividas en ella.

A mis amigos y compañeros de cuarto: **Manuel, Oswaldo, Efraín, Rigoberto, Marcos y Carlos**, por el compañerismo y amistad brindada durante la carrera, siendo unas de las primeras personas en convivir con ellos compartiendo buenos momentos durante nuestra estancia en el internado varonil, siendo buenos compañeros hasta el final, ¡gracias! **Porfirio #3 y #20**.

A mis amigos de convivencias y aventuras: **Manino, Javier, Mónica, Yarelli, Elizabeth, Diana**. ellos quienes viviendo buenos momentos haciendo que nuestra amistad se convirtiera en fraternidad durante el tiempo que nos conocimos y por el apoyo emocional que siempre tuvimos uno al otro

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURA	ix
RESUMEN	10
I.INTRODUCCIÓN	11
OBJETIVOS.....	12
JUSTIFICACIÓN.....	12
II.REVISION DE LITERATURA	13
2.1. Anatomía y fisiología del aparato reproductor de la hembra bovina	13
2.2. Importancia del ciclo estral.....	16
2.3. Fases del ciclo estral.....	17
2.3.1. Proestro.....	17
2.3.2. Estro	18
2.3.3. Metaestro.....	18
2.3.4. Diestro.....	19
2.4 Sincronización del estro y ovulación.....	19
2.4.1. Que es la sincronización del estro y ovulación.....	19
2.4.2. Importancia de la sincronización	20
2.4.3. Objetivos de la sincronización	20
2.5. Protocolos para sincronizar el estro y ovulación.....	21
2.5.1. Presynch – ovsynch.....	21
2.6. Protocolos para sincronizar ovulación.....	23
2.6.1. Protocolo Ovsynch	23
2.6.2. Protocolo doble ovsynch.....	23
2.6.3. Sincronización mediante protocolo G6G	24

2.6.4. Benzoato de estradiol	25
2.6.5. Cipionato de estradiol	25
2.7. Identificación y detección de estros	26
2.7.1. Podómetros.	26
2.7.2. Parches con cápsula de colorante (K-mar):.....	27
2.7.3. Detectores electrónicos de la monta (Heat Watch).	27
2.7.4. Pintura en la base de la cola	28
2.8. Inseminación artificial	28
2.8.1. Inseminación artificial con semen convencional y de carne.	29
2.8.2. Inseminación artificial con semen sexado.	29
2.9. Factores que afectan la eficiencia de la sincronización de celos	30
2.9.1. Nutrición y condición corporal.....	30
2.9.2. Producción de leche	31
2.9.3. Instalaciones.....	32
2.9.4. Estrés calórico	32
III. CONCLUSIÓN	33
IV.LITERATURA CITADA	34
ANEXOS	42

ÍNDICE DE FIGURA

FIGURA 1 Sistema reproductivo de la vaca lechera.....	13
FIGURA 2. Cuernos uterinos.....	14

RESUMEN

El aspecto reproductivo es uno de los indicadores más importantes en la industria lechera. La sincronización del estro, involucra el control o manipulación del ciclo estral con el propósito de que las hembras elegidas en el hato expresen estro y ovulen de forma sincronizada en un tiempo determinado. Se sabe que el uso de hormonas exógenas como la Hormona liberadora de gonadotropina (GnRH), Hormona estimulante del folículo (FSH), Hormona luteinizante (LH), Estradiol (E2), Prostaglandinas (PGF2 α) y progesterona (P4) son indispensables para el reinicio de la actividad ovárica posparto y su inclusión es imprescindible para el éxito de cualquier programa reproductivo. Existen protocolos de sincronización del estro y ovulación por métodos hormonales que permiten realizar la inseminación artificial a tiempo fijo (IATF) sin necesidad de detectar el estro, facilitando y optimizando el manejo del hato. El objetivo del presente *manuscrito* fue hacer una revisión bibliográfica de los protocolos de sincronización de estros y sincronización de la ovulación más utilizados para dar la primera inseminación artificial en vacas lecheras después del parto.

I.INTRODUCCIÓN

La eficiencia reproductiva de una explotación lechera es uno de los factores que mayor incidencia tiene sobre los beneficios que puedan generarse. La sincronización de estros mediante protocolos que controlan la función lútea y/o folicular, permiten que la vaca lechera pueda recibir una inseminación artificial a tiempo fijo (I.A.T.F) o reciba una monta natural en un momento determinado. La interrupción del ciclo estral con hormonas gonadotropicas, progestágenos y PGF2 α , también han beneficiado a los programas de transferencia de embriones a tiempo fijo (TETF) y súper ovulación (Motta-Delgado *et al*, 2011).

Los programas de sincronización del estro han venido en aumento durante los últimos años en ganado lechero en América del Norte y en vacas de carne en América del Sur (De Graaff y Grimard, 2018). Como se ha reportado, los problemas reproductivos se originan debido a las altas exigencias de producción de leche en la vaca actual, esto afecta directamente la rentabilidad del hato lechero a través de bajas tasas de reemplazo disponibles en la explotación.

La eficiencia reproductiva de una vaca se mide bajo diferentes parámetros, por ejemplo, porcentaje de preñez al primer servicio, porcentaje de preñez al segundo servicio, porcentaje de preñez en primíparas, porcentaje de preñez en multíparas, número de servicios por concepción e intervalo entre partos (IEP) o días abiertos. La meta es alcanzar 365 días entre un parto y otro para buscar mayor rentabilidad, para ello se han desarrollado distintos métodos de sincronización de celos.

OBJETIVOS

Realizar una revisión de literatura de los principales protocolos de sincronización de estros y sincronización de la ovulación de la vaca lechera a la primera inseminación artificial.

Contribuir al conocimiento y dar alternativas a los técnicos y productores de ganado bovino lechero para eficientizar un programa reproductivo y obtener mejores tasas de preñez.

JUSTIFICACIÓN

Uno de los principales problemas en las granjas lecheras, son los bajos índices de fertilidad en la vaca lechera, por ello, se han desarrollado diversos protocolos de sincronización de estros y protocolos que sincronizan la ovulación, sin embargo, las tasas de concepción no han mostrado consistencia en los resultados al momento de aplicar uno u otro programa. Diversos protocolos se han desarrollado, por ejemplo, utilizando progesterona, GnRH, estrógeno o una combinación de progesterona y estrógeno para sincronizar la aparición de ondas foliculares en el ganado. En la presente monografía se describen los principales protocolos usados para sincronizar el estro y dar la primera inseminación artificial y los principales protocolos que sincronizan la ovulación y permiten inseminar a tiempo fijo. La abundante información en programas reproductivos de la vaca lechera actual, muchas veces confunde al técnico inseminador, por ello hubo necesidad de estudiar y mostrar los beneficios de los protocolos de mayor relevancia e importancia económica.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Anatomía y fisiología del aparato reproductor de la hembra bovina

El aparato reproductor de la hembra bovina se conforma por la vulva, vagina, útero, cérvix, dos cuernos uterinos, dos ovarios y dos oviductos. La Vejiga se ubica debajo del aparato reproductor y está conectada a la apertura uretral en la base de la vagina, mientras que el recto se ubica por encima del aparato reproductor. La vulva es la apertura externa del aparato reproductor y tiene tres funciones principales: dejar pasar la orina, abrirse para permitir la cópula y sirve como parte del canal de parto. Incluidos en la estructura vulvar, están los labios y el clítoris.

Los labios de la vulva están ubicados a los lados de la apertura vulvar (figura 1) y tienen aspecto seco y arrugado cuando la vaca no está en estro. En la medida que el animal se acerque al estro, la vulva comienza a hincharse y tomará una apariencia rojiza y húmeda. La vagina, que tiene como 15 cm de largo, se extiende desde la apertura uretral hasta el cérvix (Nebel y Dejarnete, 2011).

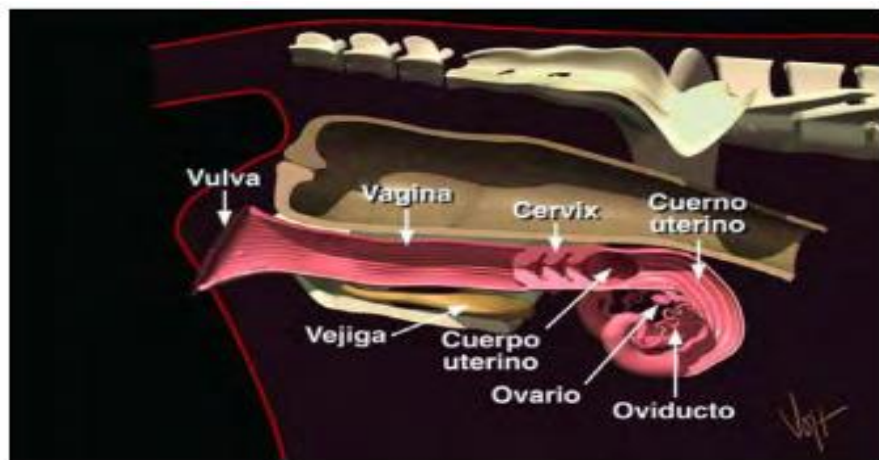


Figura 1. Sistema reproductivo de la vaca lechera (Nebel y Dejarnete, 2011)

El cérvix es un órgano de paredes gruesas, establece la conexión entre la vagina y el útero, está compuesto de tejido conectivo denso y musculoso, y será nuestra referencia al inseminar una vaca. La entrada al cérvix está proyectada hacia la vulva en forma de cono. Esto forma un círculo ciego de 360° que rodea completamente la entrada al cérvix. Esta base ciega del cono es conocida como fornix. El interior del cérvix contiene tres o cuatro anillos, a veces llamados pliegues. Este diseño le facilita al cérvix ejercer su función principal, que es la de proteger el útero del medio ambiente exterior. El cérvix se abre hacia adelante al cuerpo uterino. Como de una pulgada de largo, el cuerpo uterino sirve de conexión entre los dos cuernos uterinos y el cérvix. El cuerpo uterino es el sitio donde se debe depositar el semen durante la inseminación artificial. A partir del cuerpo uterino, el tracto reproductor se divide y todos los órganos vienen en pares (Neira y Zambrano, 2020).

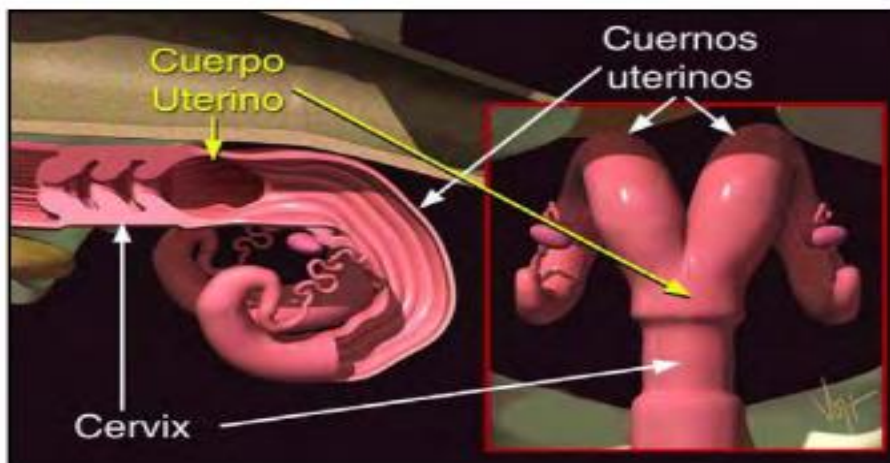


Figura 2. Cuernos uterinos (Neira y Zambrano, 2020).

Los dos cuernos uterinos están formados por tres capas musculares y una intrincada red de vasos sanguíneos. La función principal del útero es proveer el ambiente óptimo para el desarrollo fetal. Cuando una hembra es servida, ya sea por monta natural o por inseminación artificial, los músculos uterinos, bajo la influencia de

las hormonas estrógeno y oxitocina, se contraen rítmicamente para ayudar en el transporte de espermatozoides hacia el oviducto (Neira y Zambrano, 2020).

Los oviductos, como su nombre lo indica, conducen los óvulos u ovocitos de la vaca, también conocidos como trompas de Falopio. Los oviductos presentan varias regiones estructuralmente distintas. La porción más baja, la más cercana al útero, es llamada Istmo. La conexión entre el útero y el istmo, es llamada unión útero – tubal (UUT). La unión útero – tubal sirve como filtro de espermatozoides anormales y es el reservorio de espermias hábiles (Nebel y Dejarnette, 2011).

Las investigaciones han sugerido que cuando los espermatozoides llegan al istmo, estos se adhieren a las paredes. Durante este periodo de adherencia, ocurren muchos cambios fisiológicos a las paredes espermáticas, los cuales son esenciales para que los espermias puedan fertilizar el óvulo. Estos cambios son colectivamente llamados capacitación, y son aparentemente regulados por esta importante adherencia a las paredes del istmo, después de la inseminación artificial los espermatozoides tardan de cinco a seis horas aproximadamente, para llegar al Istmo – ámpula y poder fecundar al ovocito. La porción más alta del oviducto, cercana al ovario, es llamada ámpula, y es ahí donde se da la unión de los gametos (Martínez *et al.*, 2014).

El diámetro interno del ámpula, adecuando al paso del ovulo, es mayor que el del istmo. Es en este segmento del oviducto es donde ocurre la fertilización. Se cree que una señal química, realizada al momento de la ovulación, es la que estimula la liberación de los espermatozoides de las paredes del istmo, permitiéndoles continuar se viaje al sitio de la fertilización en el ámpula. La estructura en forma de embudo al final del Oviducto, llamado Infundíbulo, rodea los ovarios y cosecha los huevos, evitando que éstos caigan a la cavidad abdominal (Neira y Zambrano, 2020).

Los ovarios son los órganos principales del aparato reproductor femenino, su función principal es la producción de óvulos y la producción de hormonas, principalmente estrógenos y progesterona, durante los distintos estadios del ciclo estral. En la superficie del ovario se pueden encontrar dos estructuras diferentes: folículos y cuerpo lúteo. Los folículos son estructuras llenas de fluidos, que dentro contienen óvulos u ovocitos en desarrollo. Así mismo, un ovario puede desarrollar varios folículos a la vez, 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 estro. Con el tiempo, más del 95% de los otros folículos entran en regresión y mueren sin ovular, siendo reemplazados por una nueva generación de folículos en crecimiento. La otra estructura que se encuentra en la superficie del ovario es el cuerpo lúteo (CL). El CL se desarrolla sobre el sitio de la donde ocurrió la ovulación del estro anterior (Neira y Zambrano, 2020). Normalmente se desarrolla un CL, a menos que hayan ocurrido más de una ovulación podría presentarse otro cuerpo lúteo. El CL normalmente presenta una corona sobre su estructura, lo cual facilita su identificación durante la palpación rectal, también, puede tener una cavidad llena de fluidos, pero una pared más gruesa, por lo tanto, tendrá una textura más tosca al tacto (Martínez *et al.*, 2014).

2.2. Importancia del ciclo estral

Los bovinos son animales poliéstricos con ciclos estrales cada 21 días en promedio, sin embargo, en la vaca lechera actual pueden presentarse estros desde 17 a 24 días (Stevenson, 2007). Las hormonas gonadotrópicas son esenciales para la función ovárica de la vaca lechera, regulando el crecimiento y maduración folicular, así como la esteroidogénesis, a través de la interacción de sus receptores. Las hormonas gonadotrópicas luteinizante (LH) y folículo estimulante (FSH) son partes integrales del intercambio neuroendocrino del eje hipotálamo-hipofisario-gonadal que controla el ciclo estral de los rumiantes.

El ciclo estral es el fundamento de la reproducción, por lo que su comprensión es de suma importancia para lograr buenas eficiencias reproductivas, considerando que la oportunidad de gestar a los animales está limitada a periodos, generalmente muy cortos de tiempo, que ocurren en cada ciclo. Es especialmente importante en el caso de México, para explotaciones de bovinos destinados a la producción de leche, en las cuales se ha detectado que los parámetros reproductivos se encuentran alejados de los valores ideales, repercutiendo negativamente en la producción (Atuesta y Díaz, 2017).

La hembra bovina presenta ciclos estrales en intervalos de 17 a 24 días y estos sólo se interrumpen durante la gestación o debido a alguna patología. El estro es el periodo de aceptación de la cópula y tiene una duración de 8 a 18 h. Durante el metaestro ocurre la ovulación y se desarrolla el cuerpo lúteo. El diestro es la etapa más larga del ciclo y se caracteriza por la presencia de un CL. Si la gestación no se establece, el endometrio secreta $\text{PGF2}\alpha$ lo que induce a la luteólisis, reiniciándose así un nuevo ciclo estral (Hernández, 2016).

2.3. Fases del ciclo estral

2.3.1. Proestro.

La actividad ovárica durante el proestro es iniciada por la lisis del cuerpo lúteo (CL) del ciclo estral anterior. Los niveles de progesterona son bajos y simultáneamente se lleva a cabo el crecimiento de un folículo preovulatorio. El proestro en la vaca dura de 48 a 72 h. Un evento hormonal característico de esta etapa es el incremento de la frecuencia de los pulsos de secreción de LH que conducen a la maduración final del folículo ovulatorio y al incremento de estradiol sérico, lo que desencadena el estro. A pesar de que muchos folículos antrales se pueden desarrollar durante este periodo,

solo uno será seleccionado como folículo dominante (FD) y llegará a la ovulación (DesCôteaux *et al.*, 2010).

2.3.2. Estro

La continua y alta producción de estrógenos por el folículo dominante en desarrollo genera un pico en la liberación de LH y FSH por la glándula hipófisis, lo cual estimula la máxima producción de estrógenos por el folículo. Estos elevados niveles de estrógenos son los responsables del comportamiento y signos propios del estro, aumentando las contracciones del tracto reproductor femenino para facilitar el encuentro entre el óvulo y el espermatozoide. Así mismo, estimulan la cantidad y tipo de fluidos (moco) que se producen en los oviductos, útero, cérvix y vagina. El estro tiene una duración de 12 a 28 h en promedio (Mota *et al.*, 2011).

2.3.3. Metaestro.

El metaestro es la etapa posterior al estro, tiene una duración de tres a cuatro días. Esta etapa está condicionada por una serie de eventos endocrinos que controlan la dinámica del ovario. El pico de LH y FSH que se presenta durante el estro, genera la ruptura del folículo alrededor de unas 30 h después de haber comenzado la “monta estática”, o aproximadamente entre 10 y 14 h de haber finalizado el estro, con la liberación del óvulo dentro del proceso conocido como “ovulación”. Entre uno y tres días después de la presentación del estro, una descarga vaginal mucosanguinolenta puede aparecer en algunas vacas y en la mayoría de las becerras, indicando que el estro ha ocurrido y que un nuevo estro se podría presentar dentro de 18 a 22 d en becerras y 18 a 24 d en vacas (DesCôteaux *et al.*, 2010).

2.3.4. Diestro.

Es la fase más prolongada del ciclo estral (comprende de 12 a 14 d) y está comandada por la acción de la progesterona y la presencia del cuerpo lúteo. Durante esta etapa el cuerpo lúteo mantiene su plena funcionalidad, lo que se refleja en concentraciones sanguíneas de progesterona, mayores de 1 ng mL^{-1} . Además, en esta etapa se pueden encontrar folículos de diferente tamaño debido a las oleadas foliculares. Los días 16 a 18 del ciclo estral son críticos para el mantenimiento de la función del cuerpo lúteo y los niveles de progesterona elevados. Si la vaca no está gestante, el cuerpo lúteo será destruido por la liberación de $\text{PGF2}\alpha$ producida en el útero, terminando con la vida del cuerpo lúteo y con el diestro. La $\text{PGF2}\alpha$ es transportada directamente al cuerpo lúteo donde interfiere con la síntesis de progesterona, disminuyendo los niveles sanguíneos de esta última, lo cual permite que la FSH estimule el crecimiento de un nuevo folículo 3 a 4 d después. En términos endocrinos cuando el cuerpo lúteo pierde su funcionalidad, es decir, cuando las concentraciones de progesterona disminuyen por debajo de 1 ng mL^{-1} , termina el diestro y comienza el proestro. Cabe mencionar que, durante esta etapa, la LH se secreta con una frecuencia muy baja y la FSH tiene incrementos responsables de las oleadas foliculares (DesCôteaux *et al.*, 2010).

2.4 Sincronización del estro y ovulación.

2.4.1. Que es la sincronización del estro y ovulación.

La sincronización del estro y ovulación en bovinos es un evento importante para mejorar la eficiencia reproductiva en los sistemas ganaderos, en particular los dependientes de la inseminación artificial. La sincronización del estro consiste en agrupar un determinado número de animales y manipular el ciclo estral con la aplicación de hormonas exógenas y lograr que los animales muestren estro y ovulen

en determinado tiempo. Con el avance en investigaciones científicas, se ha demostrado que el ciclo estral bovino puede ser manipulado con hormonas gonadotropicas (GnRH), prostaglandinas F2 α (PGF2 α) y progestágenos (CIDR), normalmente los dispositivos intravaginales como el CIDR, son usados y recomendados para vacas lecheras y de carne en anestro postparto, también se usan en vaquillas sin actividad ovárica, cabe mencionar que estas hormonas normalmente su precio en el mercado es elevado con respecto al resto de hormonas.

2.4.2. Importancia de la sincronización

La sincronización de estro es un método hormonal que agrupa la presentación de estros y la ovulación en un corto periodo, de modo que permite la utilización eficiente de la inseminación artificial (IA) con el objetivo de lograr el mayor número de hembras gestantes. La sincronización de estro y ovulación en ganado vacuno lechero es una de las herramientas más usadas y de mayor desarrollo en la actualidad (López, 2013).

2.4.3. Objetivos de la sincronización

Todos los protocolos tienen por objetivo mejorar la tasa de preñez, sin embargo, algunos protocolos de sincronización requieren de la detección de estros otros incorporan la inseminación a tiempo fijo. Algunos programas están enfocados sobre la fase lútea del ciclo estral otros sobre la fase folicular. El uso de los protocolos de sincronización del estro y protocolos de ovulación, muestran grandes ventajas dentro de la explotación pecuaria, ya que facilitan la detección de problemas reproductivos, los costos por el concepto de reemplazos se benefician, mejoran la tasa de desecho, incrementan la tasa de partos, y mejoran los costos por mano de obra dentro de la explotación (Suarez y Andrey, 2020).

Po otro lado, permiten optimizar la vida productiva de la vaca, permite programar novillas para tener su primer parto a los 24 meses, permiten obtener una tasa de concepción superior al 40% en vacas lecheras y hasta 60% o más en vaquillas, se aprovecha mejor el uso del semen sexado y convencional dentro de la explotación, permiten planificar los partos, disminuyen el tiempo dedicado a la detección del estro en los programas de IATF, permiten planificar mejor las actividades dentro de la explotación pecuaria, permiten programar los lotes de becerros para mercado y en general se mejoran las prácticas de manejo, alimentación y salud (Flores-Domínguez *et al*, 2015).

Las desventajas, que se presentan, por ejemplo están asociadas a las bajas tasas de fertilidad (20 a 30%), sin embargo, no siempre corresponden al uso de los protocolos, ya que estos parámetros normalmente se relacionan a cuestiones ambientales o salud de la vaca lechera, es muy importante destacar que el éxito de un protocolo de sincronización de estros y ovulación, dependen del compromiso del técnico en el momento de elegir a la vaca correcta con presencia de folículos o cuerpos lúteos, no obstante, las dosis correctas al momento de la inyección también deben ser manejadas con los horarios marcados en cada protocolo. Los costos por el uso de hormonas no deben exceder los 220.00 pesos mexicanos (M.N) o exceder los 10 DDLS americanos por cabeza ya que de no elegir el protocolo que mejor se adecue a la explotación lechera, los costos por reproducción se pueden elevar (Blanco *et al*, 2008).

2.5. Protocolos para sincronizar el estro y ovulación.

2.5.1. Presynch – ovsynch

Presynch – Ovsynch (**Presynch**: PGF_{2α} – 14 d – PGF_{2α}; **Ovsynch**: GnRH – 7 d – PGF_{2α} – 56 h – GnRH – 16 – 20 h – IATF; Moreira *et al.*, 2001) es uno de los

protocolos más utilizados para sincronizar el estro y la ovulación para el primer servicio posparto con inseminación artificial en vacas lecheras en el mundo (Ferguson y Skidmore, 2013). En base a las investigaciones desarrolladas por Moreira *et al.* (2001) y Colazo *et al.* (2013) sugieren que dado el comportamiento de la manifestación del estro y ovulación después de la segunda inyección de $\text{PGF}_{2\alpha}$ durante el presynch, se ha concluido que el momento ideal para maximizar la fertilidad con inseminación artificial a tiempo fijo es al menos 10 días y no más de 12 días después del presynch. Desde un punto de vista práctico y condiciones de manejo en granjas comerciales, un intervalo de 10, 11 o 12 días desde presynch a ovsynch, se requiere en el manejo de las vacas para la administración hormonal durante al menos 2 a 4 días diferentes en la semana, lo que aumenta las necesidades laborales, altera el ciclo de la vaca, se requiere una mejor administración del tiempo en la lechería y en algunos casos se pueden reducir los protocolos. Para simplificar el manejo, algunos establos lecheros prefieren utilizar el protocolo presynch – ovsynch con un intervalo de 14 días desde la segunda inyección de PGF de presynch hasta la primera inyección de GnRH de ovsynch (GnRH1).

Debido al manejo y la baja detección de estros, protocolos de sincronización del estro basados en GnRH y $\text{PGF}_{2\alpha}$ que permiten sincronizar la aparición de la onda del folículo, regresión del cuerpo lúteo y ovulación fueron propuestos por Pursley *et al.* (1995) y se ha convertido en algo integral en el manejo reproductivo de los establos lecheros. Después del protocolo desarrollado por Moreira *et al.* (2001) con dos inyecciones de $\text{PGF}_{2\alpha}$ a intervalo de 14 días con el inicio del ovsynch a 12 días después (Figura 5) o 14 días después (Navanukraw *et al.*, 2004; Figura 6), Galvađ *et al.* (2007) desarrollaron un nuevo protocolo (Figura 3), que consiste en dos inyecciones de $\text{PGF}_{2\alpha}$ a intervalo de 14 días con el inicio del ovsynch a 11 días después.

En un estudio conducido por Giordano *et al.* (2015) para evaluar el presynch ovsynch 14 – 12 y presynch ovsynch 14 – 14, reportaron 44.7 vs. 38.7% de concepción

en primíparas y 32.4 vs. 34.7% en multíparas ($p=0.56$) respectivamente. Aunque hubo efecto en la interacción por paridad ($p<0.01$), los autores concluyen que utilizar uno u otro protocolo no afecta la tasa de concepción mediante inseminación artificial, el protocolo presynch ovsynch 14 – 12 o presynch ovsynch 14 – 14 se justifica más con la carga o distribución de trabajo en la granja durante la semana.

2.6. Protocolos para sincronizar ovulación

2.6.1. Protocolo Ovsynch

Pursley *et al.* (1995) desarrollaron el protocolo para sincronizar la ovulación (Ovsynch) que consiste en la administración secuencial de GnRH, PGF2 α y GnRH e inseminación a tiempo fijo (Figura 6). En este se administran 100 μ g GnRH y 7 días después una dosis de PGF2 α (35 mg) y una segunda dosis de GnRH a las 56 h después de la aplicación de la PGF2 α , permitiendo realizar la IATF 16 h después de la aplicación de GnRH (Pursley *et al.* 1995; Brusveen *et al.*, 2008). Cuando se administra la GnRH en presencia de un folículo dominante esta permite desencadenar la ovulación e induce una nueva onda folicular 2 o 3 días después. La PGF2 α al ser administrada al día 7 lisa el cuerpo lúteo de la onda sincronizada, la segunda inyección de la GnRH culmina el desarrollo del folículo dominante hasta su ovulación.

2.6.2. Protocolo doble ovsynch

La eficiencia reproductiva en vacas lecheras ha disminuido debido a las altas exigencias de producción de leche y el metabolismo de los animales, lo cual ha repercutido en bajas tasas de preñez, baja expresión y detección de estros (Wiltbank *et al.*, 2006). Diversos trabajos han sido conducidos para tratar de incrementar el porcentaje de concepción, por ejemplo, Moreira *et al.* (2001) desarrollaron el protocolo 14/12, demostrando que dos tratamientos de PGF2 α con intervalos de 14 días puede

aumentar el porcentaje de vacas en estros y mejorar la fertilidad cuando el ovsynch se inicia 12 días después.

Souza *et al.* (2008) desarrollaron un nuevo protocolo doble ovsynch (Figura 7), donde reportaron 65.2% de concepción en vacas primíparas comparado con un 45.2% mediante presynch ovsynch, así mismo, se mejoró la tasa de concepción en 19% en vacas multíparas al utilizar doble ovsynch *versus* presynch ovsynch. Los datos reportados en esta investigación han beneficiado a la industria lechera, hoy en día es uno de los protocolos de mayor utilidad debido a las tasas de concepción que se alcanzan con este protocolo.

Para corroborar los parámetros reproductivos y beneficios del doble ovsynch *versus* presynch 14/12 ovsynch, Herlihy *et al.* (2012) desarrollaron un experimento, donde reportaron tasas de concepción en vacas multíparas de 39.5% *versus* 35.6% al utilizar el doble ovsynch y presynch ovsynch, respectivamente. Similarmente en este mismo experimento los resultados fueron superiores en primíparas obteniendo 53% bajo el doble ovsynch y 47.5% con el protocolo presynch ovsynch.

2.6.3. Sincronización mediante protocolo G6G

Otro protocolo de sincronización es el G6G Ovsynch (Figura 8), donde se han reportado una mejora del 15% en la tasa de preñez usando este protocolo comparado con un presynch ovsynch (Jonael *et al.*, 2017). Se encontró que cuando se aplica la primera dosis de GnRH de ovsynch el día 6 del ciclo estral referido como G6G el 97% de las vacas ovularon formando un cuerpo lúteo accesorio que produjo mayor concentración de progesterona por tanto la probabilidad de gestación fue mayor (Bello *et al.*, 2006).

2.6.4. Benzoato de estradiol

Se ha demostrado que otro beneficio del estradiol en protocolos breves con progestina es la regresión folicular, seguida de la emergencia de una nueva onda folicular. El mecanismo incluye la supresión de las concentraciones circulantes de FSH. El tratamiento con un estradiol de acción corta en vacas tratadas con progestina es seguido de la emergencia de una nueva onda, 3 a 5 días más tarde, sin importar el estadio del ciclo estral al momento del tratamiento (*Bo et al., 1995*).

En programas de sincronización de estro, una dosis más baja (generalmente 1 mg) de estradiol se administra 24 h después de la remoción de la progestina. Esto sincroniza un pico de LH (aproximadamente 16 a 18 h después del tratamiento) y la ovulación ocurre (aproximadamente 24 a 32 h; *Martínez et al., 2005*). La IATF suele realizarse unas 30-34 horas después del segundo tratamiento con estradiol (*Mapletoft et al., 2003*).

En estudios realizados por *Rusiñol y Cavestany (2011)*, se compararon tres protocolos diferentes en vacas lecheras, utilizando el dispositivo intravaginal con progesterona en los tres, pero cambiando el tipo de hormona. El mejor protocolo, con mejores tasas de preñez, fue aquel que incluyó el dispositivo intravaginal asociado a benzoato de estradiol y prostaglandina, mismo protocolo ejemplificado en este artículo, el cual alcanzo un 50% de preñez al primer servicio en comparación con otros protocolos que usaron otras hormonas como eCG y GnRH.

2.6.5. Cipionato de estradiol

La función fundamental de la aplicación de estrógenos en el inicio del tratamiento es provocar la atresia del folículo dominante y el recambio folicular (*Bó et*

al., 1995). Se ha demostrado que aplicando de 0.5 mg de cipionato de estradiol al momento de retirar la fuente de progesterona, se logran porcentajes de preñez similares a los obtenidos con benzoato de estradiol aproximadamente 48%. Se realizaron trabajos con el objetivo de evaluar si aumentando la dosis de cipionato de estradiol al pasar de 1.0 a 1.5 mg se podía mejorar la fertilidad, sin embargo, los resultados obtenidos no mostraron diferencias significativas (Butler, 2011).

2.7. Identificación y detección de estros

La conducta estral es provocada por un incremento de estradiol sérico producido por el folículo ovulatorio. El aumento de estradiol provoca cambios de la conducta y modificaciones en los genitales externos e internos. La vaca muestra inquietud, su vocalización aumenta, camina más, trata de montar a otras vacas y acepta la monta del toro o de otra vaca. La vulva se inflama ligeramente, a la palpación rectal se aprecia el útero con tono o turgencia (duro y contraído) y al realizar un masaje del cérvix se observa que sale por la vulva moco cristalino abundante (Hernández, 2016).

2.7.1. Podómetros.

Los métodos para detectar el estro incluyen, por ejemplo, observación visual, cambios de temperatura corporal, cambios en la resistencia del moco vaginal, registro de la actividad y duración de la monta, y el número de pasos en determinado tiempo (Roelofs *et al.*, 2005). La literatura de investigación describe la efectividad de la detección de estro asistida por pedometría en comparación con la observación visual. El fundamento de esta herramienta radica en que la vaca, durante la etapa de estro, camina más (3 a 5 veces) que otras fases del ciclo estral. El podómetro colocado en una pata de la vaca registra la actividad locomotora diaria y envía una señal a la

computadora o base de datos de tal manera que facilita al técnico inseminador checar los datos reproductivos de la vaca y además se debe examinar vía rectal para evaluar los signos estrales de la vaca, de tal modo que si la vaca está en estro se debe inseminar, no obstante, los podómetros en ocasiones suelen mandar información poco verídica en cuanto a la exactitud y precisión del estro (Senger, 1994). Otra desventaja en la práctica, es que es un sistema de costo elevado y muchos productores prefieren usar otras alternativas disponibles y eficientes como el crayoneo en la base de la cola.

2.7.2. Parches con cápsula de colorante (K-mar):

La mayoría de los sistemas de detección de estro existentes en el mercado son para ganado lechero y requieren mucha mano de obra y además requieren una inspección manual de cada animal para maximizar las tasas de concepción. Los dispositivos K – mar, se colocan en la grupa de la vaca, normalmente son de color blanco y contienen una cápsula de colorante en su interior, la cual se rompe cuando la vaca recibe la monta, así, la vaca en estro, el parche toma un color rojo mientras que en la vaca que no está en estro el parche se mantiene intacto o de color blanco. De manera práctica, es importante revisar la vaca que monta y la vaca que se deja montar, dado que como se ha discutido, la intensidad y duración del estro son factores que pueden alterar la eficiencia de estos sistemas de detección de calores.

2.7.3. Detectores electrónicos de la monta (Heat Watch).

Estos dispositivos se colocan en la grupa, contienen un sensor electrónico que se activa cuando la vaca recibe la monta y emite una señal que es recibida por una antena colocada en el corral (telemetría). La señal se registra en una computadora y las vacas positivas aparecen en un informe para el técnico inseminador (Wainstein *et*

al., 2001). Las ventajas que ofrece este tipo de sistema son las siguientes: captura a todas las vacas en estro registrando la fecha, hora y duración de cada monta. Bajo este sistema le ahorra tiempo y trabajo al técnico inseminador, puede reducir los servicios por concepción ya que te permite tomar decisiones sobre el momento óptimo para la inseminación artificial, sin embargo, aunque es muy buena opción para eficientizar el manejo reproductivo, su aceptación en la industria animal ha sido limitado por el costo que tienen estos sistemas (Casanovas-Arias, 2014).

2.7.4. Pintura en la base de la cola

La utilización del crayón “crayoneo” es la técnica más común en los hatos lecheros y consiste en pintar la grupa con crayón (región del sacro). En las vacas que reciben montas, la pintura se borra. Todos los días el técnico revisa qué vacas ya no tienen pintura, para examinarlas por vía rectal, y aquellas con signos genitales de estro son inseminadas. La pintura en la base de cola permite identificar vacas en estro, pero puede ser que los comportamientos como lamer o frotar quitan la pintura y conducen a falsos positivos, también la lluvia o la nieve pueden conducir a cometer un error en el momento de la inseminación artificial (Skenandore y Cardoso, 2017).

2.8. Inseminación artificial

La Inseminación Artificial (IA) es un proceso en el cual el esperma del macho se colecta para procesarlo, almacenarlo e introducirlo en forma manual en el tracto reproductor de la hembra, en el momento óptimo para la concepción. La IA se ha convertido en una de las técnicas más importantes para mejorar la genética de los animales. Se ha utilizado extensamente en el ganado de leche, permitiendo que toros de alto valor genético estén disponibles en numerosas fincas en distintos lugares del mundo. Desde que la IA se empezó a utilizar en forma generalizada, ha existido un

gran interés en el sexado del semen para obtener solo hembras, ya que esta técnica incrementa la posibilidad de lograr una ternera en lugar de un ternero.

2.8.1. Inseminación artificial con semen convencional y de carne.

Los hatos lecheros tienen un alto porcentaje en consumo de pajillas convencionales, con la probabilidad de tener un 50% de hembras y un 50% de machos, lo cual no es lo más conveniente para la producción láctea. La industria lechera y actualmente las necesidades de globalización exigen tener hembras de alta calidad genética que permitan una alta producción de leche, sin embargo, dado el costo de la pajilla de semen sexado, el productor prefiere utilizar semen convencional y semen de toros con aportes cárnicos, normalmente las vacas de tercera lactancia o más se inseminan con semen convencional o de carne dependiendo las necesidades de producción, así mismo, vacas con problemas de fertilidad y bajas tasas de concepción normalmente reciben semen convencional al menos los tres primeros servicios y posteriormente semen de carne, esto permite tener animales para reemplazo por un lado, y por otro lado obtener machos y hembras con un enfoque cárnico, que permita obtener buenas ganancias de peso, conversión de alimento y marmoleo en la canal. Las grandes industrias enfocadas a la reproducción animal dentro de ellas, ABS Global (<https://www.absglobal.com/>), Alta genetics (<https://us.altagenetics.com/>), Select sires (<https://www.selectsires.com/>), Genex (<https://genex.coop/>), entre otras, tienen disponibilidad y variabilidad de toros que producen semen de carne y embriones, que permiten incrementar la rentabilidad de los rebaños lecheros con semen convencional y de carne.

2.8.2. Inseminación artificial con semen sexado.

Utilizar semen sexado en las inseminaciones artificiales del ganado vacuno aporta grandes ventajas a la industria ganadera, ya que aumenta el número de

nacimientos de hembras que pueden destinarse a recría y, a su vez, facilita la evolución de la ganancia genética. El semen sexado tiene un tiempo de supervivencia menor en el útero que las dosis convencionales ya que se producen modificaciones de las mitocondrias celulares y una fragmentación del ADN, lo cual puede alterar el intervalo óptimo para inseminar al animal en relación con momento de la ovulación. A su vez, el menor número de espermatozoides de la dosis y la fertilidad asociada a un toro determinado, pueden reducir las tasas de concepción de la explotación (Weigel, 2004).

El sexaje de células espermáticas por citometría de flujo es el método más utilizado para la elaboración de estas dosis seminales. La fertilidad en ganado vacuno puede estar condicionada por diversos factores cuando utilizamos semen sexado. Estudios realizados han comprobado que el semen sexado presenta una tasa de preñez mucho más baja, comparado con el semen convencional, debido entre otras causas a que la citometría de flujo puede generar daños en los espermatozoides (Weigel, 2004). En la actualidad, la mayoría de indicaciones comerciales para semen sexado recomiendan su uso en novillas tras un celo natural, alcanzándose de esta manera los mejores resultados reproductivos.

2.9. Factores que afectan la eficiencia de la sincronización de celos

2.9.1. Nutrición y condición corporal

El balance energético postparto es uno de los factores más significativos que influyen en el estado reproductivo de los hatos lecheros (Wiltbank *et al.*, 2006). En general las vacas durante el postparto temprano pierden entre un 30 a 40 % de su condición corporal (CC), pero en casos extremos pueden llegar a perder arriba del 60% de las reservas corporales bajo situaciones de un mal manejo nutricional (Meléndez *et*

al., 2017). La energía es un concepto abstracto, pero que se puede entender analizando las reservas corporales a través del depósito de tejido graso en zonas anatómicas estratégicas, tales como la base de la cola, la zona de la pelvis y los procesos transversales de las vértebras lumbares y costillas del animal. Independientemente del efecto de los cambios metabólicos provocados por el balance energético negativo, las dietas ofrecidas a las vacas altas productoras también pueden afectar la fertilidad.

La calificación visual de la condición corporal en el ganado lechero permite estimar el porcentaje de grasa corporal (Bewley y Schutz, 2008). Los cambios en la condición corporal están correlacionados positivamente con las concentraciones séricas de insulina, el IGF-1 y leptina. Las vacas que ganan o mantienen la misma condición corporal, entre el día de la inseminación y el día 30 después del servicio, son más fértiles que las vacas que pierden condición corporal (Knegsel *et al.*, 2007). El animal debería ser secado con una condición corporal de 3.0 a 3.25 y recuperar en 2 meses 1/4 de CC necesaria para llegar con una condición al parto de 3.25 a 3.5.

2.9.2. Producción de leche

Existe una asociación negativa entre la producción de leche y la eficiencia reproductiva (Wiltbank *et al.*, 2006), sin embargo, el tema sigue siendo controversial, debido a que hay vacas con elevada producción de leche y muestran su primer estro en los primeros 30 días postparto (Knegsel *et al.*, 2007). La baja eficiencia en la detección de estros en las vacas altas productoras se debe a que éstas tienen estros menos intensos y de menor duración que las vacas con menores niveles de producción de leche, quizá la alta producción de leche disminuye la expresión del estro debido a que estas vacas tienen una tasa metabólica más alta y menores concentraciones de estrógenos séricos (Wiltbank *et al.*, 2006).

2.9.3. Instalaciones

Todos los sistemas de alojamiento están avanzando hacia una mayor comodidad para las vacas. Las vacas lecheras bajo un sistema estabulado ahora están diseñadas para acomodar a las vacas en función del tamaño corporal y, en algunos casos, la etapa de lactancia. Los productores pueden optar por construir un establo con cama de arena o un establo tradicional con echaderos individuales para maximizar el descanso del ganado o acomodar varias razas o tamaños de vacas.

Sabemos que el confort de la vaca lechera es importante, estudios recientes demuestran que el comportamiento reproductivo ha mejorado cuando las vacas son manejadas bajo echaderos individuales, así también, el exponer a las vacas en pisos de tierra y aire libre tienen un mejor comportamiento que los sistemas de techo y con pisos de cemento, ya que bajo sistemas de piso de tierra la vaca monta mejor, y en general la expresión de estros es más clara (Bewley *et al.*, 2017).

2.9.4. Estrés calórico

El estrés por calor durante el verano interrumpe varios procesos, entre los más afectados es la tasa de concepción de las vacas lecheras en todo el mundo. Estudios recientes demuestran que, en los últimos 18 años, la tasa de concepción ha disminuido en 35% al pasar de 42.6% en invierno a 27.7% en verano (Wolfenson y Roth, 2019). El ganado lechero es altamente sensible a las altas temperaturas, prueba de ello es la reducción de la fertilidad cuando este ganado se encuentra en climas cálidos o durante la época del año con mayor temperatura. Estudios reportan que la calidad del ovocito es baja y en ganado Holstein ha demostrado tener retraso en el proceso de división celular (Gendelman *et al.*, 2010).

III. CONCLUSIÓN

Los protocolos de sincronización de estros y ovulación, son una herramienta disponible que mejora la fertilidad en el ganado lechero, respetando los tiempos y modo correcto para cada aplicación hormonal.

El protocolo que mayor uso tiene en las explotaciones lecheras es el doble ovsynch, este protocolo aplicándolo del modo correcto permite incrementar las tasas de concepción, superando el 40% bajo inseminación artificial a tiempo fijo.

Los protocolos presynch ovsynch 14 – 12 y presynch ovsynch 14 – 14, son similares en cuanto a los parámetros de fertilidad, sin embargo, la carga y distribución de actividades dentro de la granja lechera permiten definir el uso de uno u otro protocolo.

Los factores por citar algunos como la nutrición animal, el manejo de la vaca en sus diferentes etapas, la alta producción de leche, instalaciones y el estrés calórico son puntos claves que afectan directamente las cuestiones endocrinas en la vaca lechera y cada factor merece una atención especial.

IV.LITERATURA CITADA

Atuesta, J., & Diaza, A. G. (2011). Control hormonal del ciclo estral en bovinos y ovinos. *Spei Domus*, 7(14).

Bello, N. M., Steibel, J.P., y J.R. Pursley. (2006). Optimizing ovulation to first GnRH improved outcomes to each hormonal injection of Ovsynch in lactating dairy cows'. *J. Dairy Sic.* 89: 3413-3424. DOI: [10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72378-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72378-5)

Bewley, M. J. y Schutz M. M. (2008). An interdisciplinary review of body condition scoring for dairy cattle. *The professional Animal Scientist.* 24(6): 507 – 529. [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)30901-3](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30901-3)

Bewley, M. J., Robertson, M. L. y E. A. Eckelkamp. (2017). A 100-Year Review: Lactating dairy cattle housing management. *J. Dairy Sci.* 100:10418–1043. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13251>

Blanco, D., Blanco, G.S., Ramírez, I., Fonte, L. (2008). Técnicas para la resolución del anestro verdadero en bovinos de aptitud cárnica. *REOVET Vol. IX, No. 3* Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/636/63612840009.pdf>

Bo G.A, Adams, G.P., Pierson, R.A. y R.J. Mapletoft. (1995). Exogenous control of follicular wave emergence in cattle. *Theriogenology*, 43: 31-40.

- Butler, H.M., Butler, A., Echeverry, C. G. C. (2011).** Efecto de la dosis de Cipionato de estradiol al finalizar un tratamiento con progesterona sobre el porcentaje de preñez a la IATF en vaquillonas. *Rev. Taurus, Bs As., 13(52):40-45.* disponible en: http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/inseminacion_artificial/197-cipionato.pdf
- Brusveen, D. J., Souza, A. H. Y. y M.C. Wiltbank. (2008)** Effects of additional prostaglandin F₂ α and estradiol-17 β during Ovsynch in lactating dairy cows *J. Dairy Sci.* 92:1412–1422 [doi: 10.3168/jds.2008-1289](https://doi.org/10.3168/jds.2008-1289)
- Casanovas-Arias, D. (2014).** Mejora de la eficiencia reproductiva del ganado vacuno lechero a través del manejo. Tesis de Maestría. Universidad de Córdoba. Córdoba, España. 32 p. disponible en: http://www.uco.es/zootecniaygestion/img/pictorex/02_12_30_DAVID_CASANOVA.pdf
- Colazo M.G. Ponce-Barajas P. Ambrose D. J. (2013).** Pregnancy per artificial insemination in lactating dairy cows subjected to 2 different intervals from presynchronization to initiation of Ovsynch protocol. *J. Dairy*, 96: 7640-764 <https://doi.org/10.3168/jds.2013-6750>
- De Graaff, W., & Grimard, B. (2018).** Progesterone-releasing devices for cattle estrus induction and synchronization: Device optimization to anticipate shorter treatment durations and new device developments. *Theriogenology*, 112, 34-43. DOI: [10.1016/j.theriogenology.2017.09.025](https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2017.09.025)

DesCôteaux, L., Gnemmi, G. y J. Colloton. (2010). Ruminant and camelid reproductive ultrasonography. Edition first. Willey – Blackwell. 2121 State Avenue, Ames, Iowa 50014-8300, USA. pp. 228

Ferguson, J.D., Skidmore, A. (2013). Reproductive performance in a select sample of dairy herds. J. Dairy Sci.96:1269-1289 DOI: [10.3168/jds.2012-5805](https://doi.org/10.3168/jds.2012-5805)

Flores Domínguez, S., Muñoz Flores, L. R., López Ordaz, R., Aréchiga Flores, C.F., Mapes, G. y J. H. Cerón. (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):393-404. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11242015000400393

Galvão K.N., Sa Filho M.F. Santos J.E. (2007) Reducing the interval from presynchronization to initiation of timed artificial insemination improves fertility in dairy cows. J. Dairy Sci.90: 4212-4218 DOI: [10.3168/jds.2007-0182](https://doi.org/10.3168/jds.2007-0182)

Gendelman, M., A. Aroyo, S. Yavin y Z. Roth. 2010. Seasonal effects on gene expression, cleavage timing, and developmental competence of bovine preimplantation embryos. Reproduction. 140:73–82. <https://doi.org/10.1530/REP-10-0055>

Giordano, J.O., Thomas, M.J., Catucuamba, G., Wijma, R., Stangaferro, M.L., Masello, M. (2016). Effect of extending the interval from presynch to initiation of ovsynch in a presynch-ovsynch protocol on fertility of timed artificial insemination services in lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 99(1):746 – 757. DOI: [10.3168/jds.2015-10083](https://doi.org/10.3168/jds.2015-10083)

Hernández, C. J. (2016). Fisiología clínica de la reproducción de bovinos lecheros.

Disponible en:

<http://www.librosoa.unam.mx/handle/123456789/1249>[https://doi.org/10.1016/0093-691X\(94\)00010-R](https://doi.org/10.1016/0093-691X(94)00010-R)

Herlihy M. M., Giordano, J.O., Souza, A. H., Ayres, H., Ferreira, M.R., Keskin, A., Nascimento A. B., Guenther, J.M., Gaska, J.M., Kacuba, J.S., Crowe A.M., Butler S.T., M.C. Wilbank. (2012) Presynchronization with Double-Ovsynch improves fertility at first postpartum artificial insemination in lactating dairy cows J. Dairy Sci. 95 :7003–7014
<http://dx.doi.org/10.3168/jds.2011-5260>

Jonael, H. Bosques, M.W., M. Graves. (2017). Programas de sincronización de Hatos. Boletín 1227-SP Abril 2017 disponible en
https://secure.caes.uga.edu/extension/publications/files/pdf/B%201227-SP_3.PDF

Knegsel, van M.T.A., Brand, van den H., Dijkstra, J., Straalen, v. M.W., Jorritsma, R., Taminga, S. y B. Kemp. (2007). Effect of glucogenic vs. lipogenic diets on energy balance, blood metabolites, and reproduction in primiparous and multiparous dairy cows in early lactation. J. Dairy Sci. 90:3397–340. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-837>

López, H. (2013). Estrategias para Incrementar la eficiencia reproductiva del hato lechero. México, (2013). . Disponible en: <https://www.engormix.com/ganaderia-leche/articulos/estrategias-incrementar-eficiencia-reproductiva-t29383.htm>

Martínez M.F, Kastelic J.P, Bo G.A, Caccia M, Mapletoft R.J. (2005). Effects of estradiol and some of its esters on gonadotropin release and ovarian follicular dynamics in CIDR-treated beef cattle. *Animal Reproduction Sciences*, 86: 37-52. DOI: [10.1016/j.anireprosci.2004.06.005](https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2004.06.005)

Martínez, M., Quirke, L., Lawrence, S., Sanderson, N. y J. L. Juengel. (2014). Relación entre estructuras ováricas y fertilidad en bovinos. *XLII Jornadas Uruguayas de Buiatría*. Disponibles, en: https://bibliotecadigital.fvet.edu.uy/bitstream/handle/123456789/1938/JB2014_171-181.pdf

Meléndez, P. y Bartolomé, J. (2017). Avances sobre nutrición y fertilidad en ganado lechero: Revisión. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*. 8(4): 407-417. <http://dx.doi.org/10.22319/rmcp.v8i4.4160>

Moreira F, Orlandi C, Risco CA, Mattos R, Lopes F, Thatcher W.W. (2001). Effects of presynchronization and bovine somatotropin on pregnancy rates to timed artificial insemination protocol in lactating dairy cows. *J Dairy Sci*.84:1646–59. DOI: [10.3168/jds.S0022-0302\(01\)74600-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)74600-0)

Motta, D. P.A., Ramos, C.N., González, S.C.M. y E.C.C. Rojas. (2011). Dinámica folicular en la vida reproductiva de ganado hembra bovina. *Veterinaria y Zootecnia*, 5 (2): 88-99. <http://vetzootec.ucaldas.edu.co/downloads/v5n2a08.pdf>

Nebel, R., y M. Dejarnette. (2011). Anatomía y fisiología de la reproducción bovina. *SELECT SIRE INC*, 6. Disponible en: http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/inseminacion_artificial/97-fisiologia.pdf

Neira Sánchez, P. L. y D.A.Zambrano. (2020). Actualidad en ginecología y obstetricia en bovinos. Disponible en: https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/18336/4/2020_actualidad_ginecologia_obstetricia.pdf

Pursley, J.R., Mee M.O., M.C. Wiltbank. (1995) Sincronización de la ovulación en vacas lecheras utilizando PGF_{2α} y GnRH. *J. Dairy Sci.* 44: 915-923 <http://dx.doi.org/10.4067/S0301-732X1999000100002>

Roelofs, B.J., van Eerdenburg, M.C.J.F., Soede, M.N. y B. Kemp. (2005). Pedometer readings for estrous detection and as predictor for time of ovulation in dairy cattle. *Theriogenology.* 64: 1690–1703. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2005.04.004>

Rusiñol, C. y D. Cavestany. (2011). Comparación de tres métodos de sincronización de celos y ovulaciones con y sin inseminación artificial a tiempo fijo (IATF) en vaquillonas para carne. *Veterinaria (Montevideo)*, 47(182), 23-28. disponible en: <http://www.revistasmvu.com.uy/index.php/smvu/article/view/183/116>

Serger, L.P. (1994). The estrus detection problem: New concepts, technologies, and possibilities. *J. Dairy Sci.* 77: 2745 – 2753.

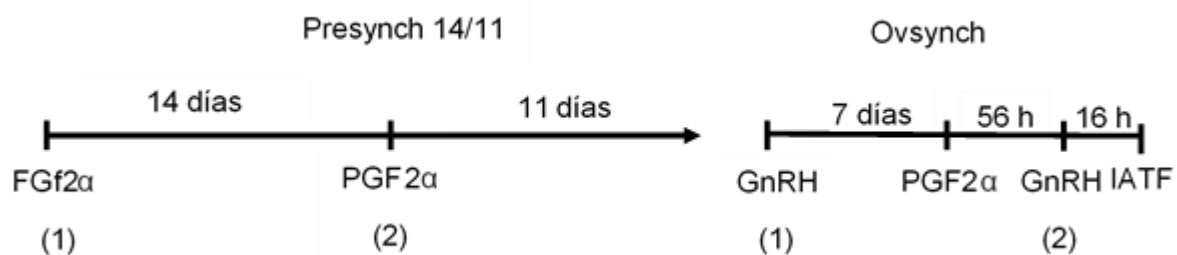
SIAP. (2018). Panorama de la leche en México. Consultado 6/10/2020. Disponible en: <http://infosiap.siap.gob.mx/opt/boletlech/Panorama%20de%20Leche%20octubre-diciembre%202018.pdf>

- Skenandore**, S. C. y F.C. Cardoso. (2017). The effect of tail paint formulation and heifer behavior on estrus detection. *International Journal of Veterinary Science and Medicine* 5:113–120. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijvsm.2017.08.001>
- Souza** A. H, Ayres H., Ferreira, R.M. y M.C. Wiltbank. (2008). A new presynchronization system (Double-Ovsynch) increases fertility at first postpartum timed AI in lactating dairy cows. *Theriogenology* 70:208–215. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2008.03.014>.
- Stevenson** JS. 2007. Clinical reproductive physiology. In: Youngquist RS, Threlfall WR editors. *Large Animal Theriogenology 2*. St. Louis, Missouri: Saunders, 258-270. disponible en: [currentTherapyinLargeAnimalTheriogenology2ndEdition%20\(2\).pdf](#)
- Suarez**, O. y D. Andrey. (2020). Bases farmacológicas y actualización de la sincronización del celo bovino. Disponible en: https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/17467/1/2020_bases_farmacol%C3%B3gicas_actualizaci%C3%B3n.pdf
- Wainstein**, A.G., Bernal, S.A., Iriondo, R.M. y A. O. Luco. (2001). Heatwatch, sistema electrónico de detección de celo evaluado en hembras Holstein friesian. *Arch. Zootec.* 50: 403-406. <https://www.redalyc.org/pdf/495/49519116.pdf>
- Weigel**, K. A. 2004. Exploring the role of sexed semen in Dairy production systems. *J. Dairy Sci.* 87(E. Suppl.):E120-E130. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)70067-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)70067-3)

- Williams, S.W., Stanko, R.L., Amstalden, M. y G.L. Williams.** (2002). Comparison of three approaches for synchronization of ovulation for timed artificial insemination in *Bos indicus* influenced cattle managed on the Texas gulf coast. J of Anim Sci. 80: 1173-1178.
- Wiltbank M.C., Lopez, H., Sartori, R., Sangsritavong, S. y A. Gumen.** (2006). Changes in reproductive physiology of lactating dairy cows due to elevated steroid metabolism. Theriogenology. 65 (1):17–29. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2005.10.003>.
- Wolfenson, D. y Z. Roth.** 2019. Impact of heat stress on cow reproduction and fertility. Animal Frontiers. 9(1): 32-38. <https://doi.org/10.1093/af/vfy027>

ANEXOS

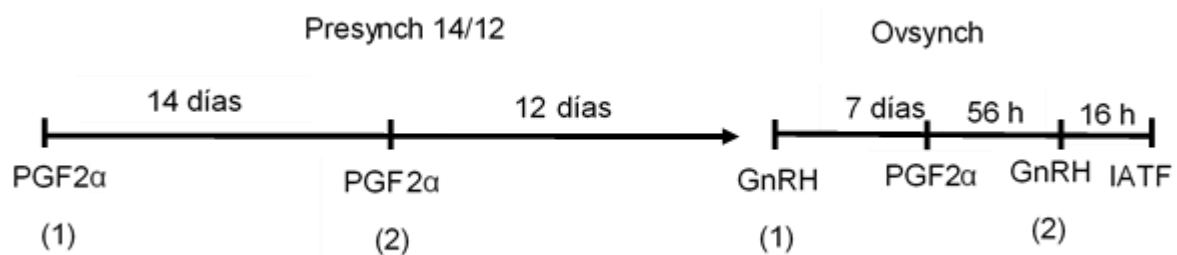
Figura 3. Protocolo presynch 14/11 – ovsynch.



Cuadro 1. Calendario aplicación presynch 14/11 – ovsynch.

Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
				PGF2α		
				PGF2α		
	GnRH					
	PGF2α	PGF2α	GnRH	IATF		

Figura 4. Protocolo presynch 14/12 – ovsynch.



Cuadro 2. Calendario aplicación del protocolo presynch 14/12 – ovsynch.

Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
			PGF2α			
			PGF2α			
	GnRH					
	PGF2α	PGF2α	GnRH	IATF		

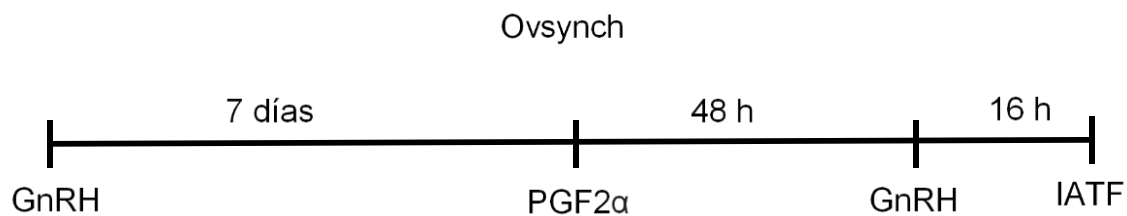
Figura 5. Protocolo presynch 14/14.



Cuadro 3. Calendario aplicación presynch 14/14 – ovsynch

Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
	PGF2α					
	PGF2α					
	GnRH					
	PGF2α	PGF2α	GnRH	IATF		

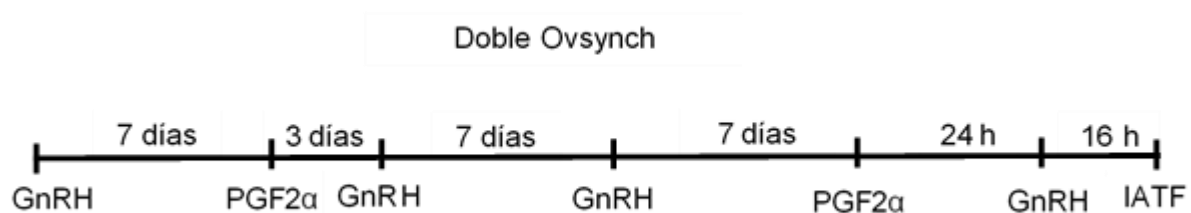
Figura 6. Protocolo de sincronización de la ovulación (ovsynch)



Cuadro 4. Calendario de inyecciones para el protocolo ovsynch

Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
	GnRH					
	PGF2 α		GnRH	IATF		

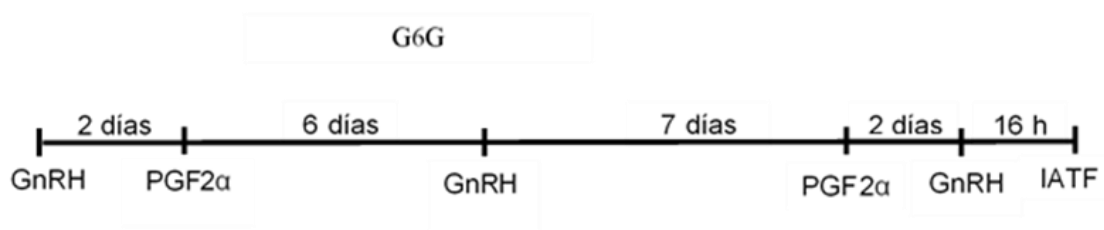
Figura 7. Protocolo de sincronización de la ovulación Doble ovsynch



Cuadro 5. Calendario de inyecciones para el protocolo Doble ovsynch

Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
					GnRH	
					PGF2α	
	GnRH					
	GnRH					
	PGF2α	PGF2α	GnRH	IATF		

Figura 8. Protocolo de sincronización de la ovulación G6G



Cuadro 6. Calendario de inyecciones para el protocolo G6G

Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
	PGF2α		GnRH			
		GnRH				
		PGF2α	PGF2α	GnRH	IATF	