



Abanico Veterinario. Enero-Diciembre 2023; 13:1-37. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2023.16>

Revisión de Literatura. Recibido:07/02/2022. Aceptado:08/06/2023. Publicado:27/06/2023. Clave: e2022-11.

<https://www.youtube.com/watch?v=k2kox38NV-k>

Sincronización del estro y ovulación en hembras bovinas de razas cárnicas. Bases endocrinas y protocolos usados

Synchronization of estrus and ovulation in bovine females. Endocrine bases and treatments used



Hernández-Coronado Cyndi^{1ID}, Rosales-Torres Ana^{1ID}, Vázquez-López Salomón^{2ID}, Guzmán-Sánchez Adrián^{*1ID}

¹Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, Departamento Producción Agrícola y Animal, Calzada del Hueso 1100, Coyoacán, CDMX 04960 México. ²Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco. Maestría en Ciencias Agropecuarias. Calzada del Hueso 1100, Coyoacán, CDMX 04960 México. *Autor de correspondencia: Adrián Guzmán-Sánchez. Email: cyndibash87@gmail.com, anamexico@gmail.com, mvzsalovazquez@gmail.com, aguzman@correo.xoc.uam.mx

Resumen

En México, la eficiencia reproductiva de las vacas en los sistemas de producción de becerro es baja y el uso de esquemas de sincronización del estro y la ovulación puede contribuir a mejorarla. El objetivo de esta revisión fue describir la regulación endocrina del ciclo estral y la dinámica folicular en los bovinos, resaltando cómo, a través del uso de hormonas exógenas se pueden manipular estos procesos para implementar los diferentes protocolos de sincronización del estro y la ovulación. Además, se presentan resultados de tasa de preñez a estro sincronizado (TPES) con los diferentes protocolos de sincronización de estro y ovulación que se reportan en la bibliografía. Se recopilaron revisiones y artículos originales sobre temas de ciclo estral y desarrollo folicular en bovinos y se obtuvieron datos de TPES de artículos científicos publicados entre 2000 y 2023. La TPES reportada oscila entre 23 hasta 76%, sin embargo, aunque el rango es amplio, en protocolos basados en estradiol y GnRH alrededor del 50% de los datos de TPES colectados están entre 45 y 55%. En protocolos basados en progesterona el 50% de los datos reportan TPES de entre 55 y 65%. En la actualidad, existen tres principales protocolos de sincronización de estro y ovulación con los que, según la bibliografía revisada, se puede obtener TPES de entre 45 y 65% en la mayoría de las ocasiones.

Palabras clave: ciclo estral, olas de crecimiento folicular, sincronización de estro y ovulación, vacas productoras de carne.

Abstract

In Mexico, reproductive performance in beef cows is low and the use of synchronization of estrus and ovulation may help to improve it, thus the objective of this review was to describe the endocrine regulation the oestrus cycle and follicular dynamics in cattle, highlighting how these processes can be manipulated by using exogenous hormones. Moreover, we also present some data of pregnancy per artificial insemination (P/AI) with the different protocols of synchronization of estrus and ovulation reported in the literature. Reviews and original articles on the estrus cycle and follicular dynamics in cattle were compiled and PRSE data were obtained from papers published from 2000 to 2023. The range of P/AI was from of 23 to 76%, however despite this wide range, in treatments based on estradiol and GnRH around of 50% of the data of P/AI are between 45 and 55%. In progestin-based protocols, 50% of the P/AI observations were between



55 and 65%. Currently, there are three main protocols for synchronizing oestrus and ovulation that can be used, agree with the revised literature herein, to obtain P/AI between 45 and 65% in most cases with these protocols.

Keywords: oestrous cycle, waves of follicular growth, synchronization of estrus and ovulation, beef cows.

INTRODUCCIÓN

La crianza de becerros para la producción de carne de bovino depende en gran medida de la eficiencia reproductiva de las madres (Alvarez *et al.*, 2018). En México, en general y específicamente en las regiones tropicales del país, la eficiencia reproductiva en los sistemas de producción de becerro es baja (Lassala *et al.*, 2020). Se ha reportado que solo el 32.6% de las vacas del ható nacional se encuentran gestantes, las vacas de la zona Noreste y Centro presentan el mayor porcentaje de gestación (41%), mientras que en la región Norte el porcentaje de gestación es tan solo del 25% (Gutiérrez, 2018). Si bien hay factores como la raza, el anestro posparto, la lactación y el estatus nutricional que afectan la eficiencia reproductiva en estos sistemas de producción, también existen algunos aspectos de manejo reproductivo que pueden agudizar esta problemática. En México, alrededor del 90% de los productores de becerro del país utilizan empadre continuo, solo entre el 2.4 y 9.4% emplean la inseminación artificial (IA) y menos del 10% realizan sincronización de estros (Lassala *et al.*, 2020).

El conocimiento del control endocrino del ciclo estral y de la fisiología de la dinámica folicular en las vacas, ha permitido el desarrollo de biotecnologías como la sincronización del estro y ovulación que a su vez facilitan y hacen más eficiente la IA en ganado productor de carne (Marizancén & Artunduaga, 2017). Estas biotecnologías aplicadas correctamente, pueden ser usadas para mejorar la eficiencia reproductiva del ganado (Colazo *et al.*, 2018; Barusseli *et al.*, 2018). En vacas Nelore en posparto, el uso de un protocolo de sincronización de estro previo al inicio del empadre, incrementó 1.5 veces la probabilidad de que las vacas quedaran gestantes durante este periodo, así como la tasa de preñes del empadre (52.2% vs 27.6%; Ferreira *et al.*, 2018). En vacas productoras de carne, el uso de los protocolos de sincronización de estro y ovulación al inicio del empadre, permite inducir y uniformizar la manifestación del estro en un periodo de tiempo preestablecido de corta duración, lo cual facilita realizar la IA, programar épocas de partos e inducir la actividad ovárica en novillas y vacas en anestro (Colazo & Mapletoft, 2014; Baruselli *et al.*, 2018).

Los protocolos de sincronización de estro y ovulación se basan en el uso de hormonas para manipular la dinámica folicular y la duración de la fase lútea del ciclo estral (Lamb *et al.*, 2010; Colazo & Mapletoft, 2014) por lo que es importante conocer a detalle estos procesos. Las hormonas que se usan para manipular la dinámica folicular son la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH), los estrógenos y la progesterona. Para manipular



la duración de la fase lútea se puede usar prostaglandina F2 α (PGF2- α) y progesterona (Lamb *et al.*, 2010; Bó & Baruselli, 2014; Colazo & Mapletoft, 2014; Bó *et al.*, 2016).

Es importante que cuando se apliquen tratamientos hormonales para manipular la respuesta reproductiva del ganado, se conozca el mecanismo por el cual se producen los cambios fisiológicos y endocrinos en cada etapa del ciclo estral que se desea modificar, así como los efectos que tiene cada hormona en un determinado protocolo. Este documento tiene como objetivo describir la regulación endocrina del ciclo estral y la dinámica folicular en los bovinos, resaltando cómo, a través del uso de hormonas exógenas se pueden manipular estos procesos para implementar los diferentes protocolos de sincronización del estro y la ovulación. Además, de presentan resultados de tasa de preñez a estro sincronizado (TPES) con diferentes protocolos de sincronización de estro y ovulación que se reportan en la bibliografía

MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó una búsqueda en las bases de datos Pubmed, ScienceDirect, Google Scholar y SciELO utilizando las palabras clave “Bovine estrus cycle” y “Bovine follicular waves” y se seleccionaron las revisiones y artículos originales más importantes sobre estos temas, incluyendo los que nuestro grupo ha publicado. Para describir los resultados de la tasa de preñez a estro sincronizado (TPES) obtenidos con los principales protocolos que se usan en la actualidad, realizamos una búsqueda únicamente en Pubmed usando las palabras clave “estrus synchronization beef cows estradiol” para obtener datos reportados usando protocolos basados en estradiol y con las palabras clave “estrus synchronization beef cows GnRH”, se recuperaron artículos con el uso de protocolos basados en GnRH. Además de los artículos que obtuvimos en esta última búsqueda, seleccionamos aquellos que usaron protocolos basados en progestágenos. En las dos búsquedas, se seleccionaron publicaciones del año 2000 al 2023. Los principales criterios de selección para los datos de TPES fueron aquellos en donde la asignación de tratamientos se hiciera completamente al azar. Adicionalmente, se tomaron datos de grupos experimentales donde evaluaron el efecto del uso de gonadotropina coriónica equina (eCG), efecto de la presentación de estro, ciclicidad y destete temporal. Cuando en un artículo evaluaron otras variables diferentes a las mencionadas arriba, sólo se tomaron los datos del grupo control. Con los datos de TPES de cada grupo experimental, se realizaron histogramas de frecuencia o gráficas de dispersión, para describir la variación de los datos.

Control Endocrino del Ciclo Estral en Bovinos

Las hembras de los mamíferos domésticos a partir de la pubertad y durante toda su vida reproductiva presentarán en forma periódica ciclos estrales, los cuales se definen como el período comprendido desde la aparición de un estro hasta el comienzo del siguiente



(Lamb & Mercadante, 2016). El ciclo estral se caracteriza por una serie de cambios anatómicos, endocrinos y conductuales que tienen como finalidad la ovulación y preparar el medio ambiente uterino para una posible gestación (Bó *et al.*, 2003). En bovinos, cada ciclo estral tiene una duración promedio de 20 días en novillas y de 21 días en vacas (Sartori & Barros, 2011). El ciclo estral se compone de cuatro etapas que son; el estro, metaestro, diestro, proestro y dos fases; la folicular, estrogénica o proliferativa que incluye el proestro, el estro y la lútea, progestacional o secretora incluye el metaestro y el diestro (Figura 1). En la fase folicular se desarrolla el folículo ovulatorio, así que la hormona dominante es el estradiol. Este esteroide promueve, a nivel uterino, la proliferación de las células endometriales. En la fase lútea, ocurre el desarrollo y funcionalidad del CL, por lo que la hormona dominante es la progesterona que estimula al endometrio para que secrete la leche uterina o histótrofo (Rathbone *et al.*, 2001; Sartori & Barros, 2011).

El establecimiento del ciclo estral y los cambios que en él se presentan, son regulados por la síntesis y secreción de hormonas del hipotálamo, como GnRH, de la hipófisis que produce la hormona luteinizante y la hormona folículo estimulante (LH y FSH), del folículo que secreta estrógenos e inhibina, del CL que produce progesterona y oxitocina y del endometrio que libera PGF2 α (Sartori & Barros, 2011).

Durante el proestro, la producción de FSH se mantiene baja y constante porque no está regulada por GnRH, mientras que LH comienza a incrementar su frecuencia de secreción y a disminuir la amplitud de sus pulsos. Esto promueve la maduración final del folículo incrementándose la síntesis de estradiol y de inhibina (Rathbone *et al.*, 2001). El incremento de estas dos hormonas ejerce a nivel de la hipófisis una retroalimentación negativa sobre la síntesis de FSH (Aerts & Bols, 2010). Por otro lado, hacia finales del proestro e inicios del estro, el estradiol ejerce un efecto de retroalimentación positiva sobre GnRH, al actuar sobre sus receptores α y β localizados en neuronas glutamérgicas y kipeptinérgicas (Kenealy & Terasawa, 2012). Este efecto de estradiol desencadena el pico preovulatorio de GnRH-LH, y con ello la ovulación (Garverick & Smith, 1993; Forde *et al.*, 2011; De Graaff & Grimard, 2018). Para desencadenar la ovulación, que ocurre entre las 10 a 12 horas después de finalizado el estro, la LH promueve la síntesis de prostaglandinas y enzimas para facilitar la ruptura de las paredes foliculares. Además, la LH estimula el reinicio de la meiosis en el ovocito (Delgado *et al.*, 2011). Después de la ovulación, el CL se desarrolla a partir del folículo ovulado por efecto de LH y las concentraciones de progesterona se incrementan paulatinamente hasta alcanzar su máxima concentración a finales del metaestro e inicios del diestro (Forde *et al.*, 2011). Las concentraciones máximas de progesterona se mantienen constantes durante todo el diestro para evitar la ovulación de los folículos dominantes desarrollados durante la fase lútea del ciclo (Baruselli *et al.*, 2007).



Si el ovocito ovulado no es fecundado, alrededor de los días 16 y 17 del ciclo estral, el endometrio secretará $PGF2\alpha$ para inducir la regresión del CL (Rosales-Torres & Guzmán, 2011; Sartori & Barros, 2011). Para esto, la $PGF2\alpha$ al unirse a su receptor en los vasos sanguíneos del CL causa una elevación de Ca^{++} intracelular para inducir vasoconstricción. La vasoconstricción, reduce el aporte de nutrientes, oxígeno y colesterol hacia el CL, ocasionando la reducción en la síntesis de progesterona y la apoptosis de las células lúteas (Rosales-Torres & Guzmán, 2008; Shirasuna *et al.*, 2012). La luteólisis causa la reducción en la concentración sérica de progesterona con lo cual la retroalimentación negativa que ejercía la progesterona sobre GnRH desaparece (Rathbone *et al.*, 2001).

Olas de Crecimiento Folicular

El desarrollo folicular durante el ciclo estral en bovinos se presenta en forma de olas y es un proceso altamente selectivo donde usualmente solo un folículo puede llegar a ovular y el destino del resto de los folículos de la misma cohorte, es la atresia (Rosales-Torres *et al.*, 2012). En cada ola de crecimiento folicular, se desarrolla un folículo dominante, aunque solo ovulará el folículo dominante de la última ola (Aerts & Bols, 2010; Bó *et al.*, 2016; Ginther, 2016). Las olas de crecimiento folicular se componen de tres fases: reclutamiento cíclico, selección y dominancia (Aerts & Bols, 2010; Fortune *et al.*, 1991; Rosales-Torres *et al.*, 2012).

Durante el reclutamiento cíclico, una cohorte de folículos antrales pequeños inician su crecimiento en respuesta a un pico transitorio de FSH (Mihm *et al.*, 2000; Driancourt, 2001; Aerts & Bols, 2010). Esta fase tiene una duración de alrededor de 2 días durante los cuales la FSH estimula el crecimiento de los folículos (Webb *et al.*, 2004; Rodgers & Rodgers, 2010). La selección ocurre al final del periodo común de crecimiento, cuando uno de los folículos reclutados, es seleccionado como dominante para continuar su crecimiento (Sirard, 2016; Rosales-Torres *et al.*, 2012). Finalmente, la dominancia se refiere al mecanismo por el cual el folículo seleccionado como dominante tiene un rápido desarrollo y suprime el crecimiento de los folículos subordinados (Ginther *et al.*, 1989; Webb *et al.*, 2004). Para ello, el estradiol y la inhibina producida en él impiden la síntesis y secreción de FSH (Beg & Ginther, 2006). Esta reducción de FSH causa la atresia de los folículos subordinados, mientras que el folículo dominante continúa su crecimiento a una tasa de hasta 1.6 mm por día (Sirois & Fortune 1988; Rosales-Torres *et al.*, 2012). Si el folículo dominante se desarrolla durante la fase lútea del ciclo estral, las concentraciones circulantes de progesterona impiden el pico preovulatorio de LH por lo que no podrá ovular y se volverá atrésico (Figura 1). En ausencia de un CL funcional, el folículo dominante por su alta producción de estradiol induce el pico preovulatorio de LH y con ello la ovulación (Driancourt, 2001; Moore & Thatcher, 2006).

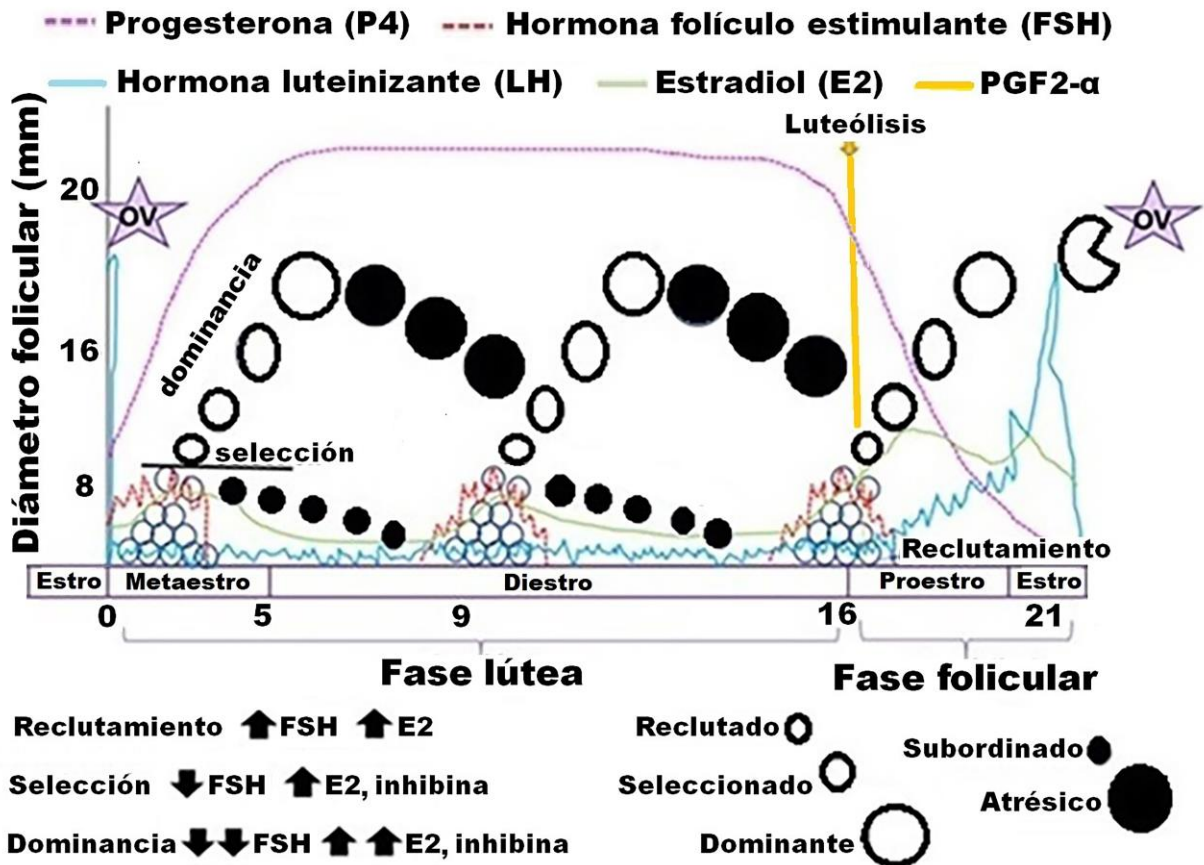


Figura 1. Representación esquemática de las etapas y fases del ciclo estral en bovinos y de las olas desarrollo folicular

Es importante señalar que mientras el folículo dominante sea estrogénicamente activo, no podrá emerger una nueva ola de crecimiento folicular (Webb *et al.*, 2004; Rosales-Torres *et al.*, 2012). Sin embargo, si el folículo dominante ovula o se vuelve atrésico, el bloqueo sobre FSH desaparecerá ya que se deja de producir estradiol e inhibina y se dará una nueva elevación transitoria de esta hormona, que estimulará la emergencia de una nueva ola de crecimiento folicular (Sartori *et al.*, 2004; Beg & Ginther, 2006).

Existen algunas diferencias de acuerdo con la especie y raza en cuanto a la dinámica folicular (Baruselli *et al.*, 2007). En ganado *Bos taurus*, la selección del folículo dominante ocurre 2 días después de iniciada la ola folicular y generalmente el folículo que alcance 8.5 mm de diámetro será el seleccionado como dominante (Fortune *et al.*, 1991; Fortune *et al.*, 2001). En el caso de vacas *Bos indicus*, la selección del folículo dominante será 2.6 días después de iniciada la ola y el folículo con un diámetro aproximado de 5.9 ± 0.4 mm será seleccionado (Sartori & Barros, 2011). Baruselli *et al.* (2018) reportan que las vacas Brahman, Nelore y Gyr pueden presentar entre dos y cuatro olas de desarrollo folicular por ciclo estral. Mientras que en vacas *Bos taurus* predominan de dos a tres olas (Sartori *et al.*, 2004). Además de la diferencia en el número de ondas foliculares, las hembras *Bos indicus* reclutan mayor número de folículos por ola de crecimiento folicular que las hembras *Bos taurus* (33.4 ± 3.2 versus 25.4 ± 2.5 respectivamente). Finalmente, en



hembras de *Bos Taurus* con dos olas de crecimiento folicular el diámetro mayor del folículo dominante es de 17.1 mm para la primera ola y de 16,5 mm para la segunda (Ginther, 2016), en tanto que en *Bos Indicus* los diámetros mayores del folículo dominante son de 11.3 mm, 12.1 mm y 10.4 mm para la primera, segunda y tercera ola de crecimiento respectivamente (Figueiredo *et al.*, 1997).

Sincronización de Estro y Ovulación.

Los protocolos de sincronización del estro y ovulación tienen importantes ventajas para el manejo reproductivo de hembras bovinas productoras de carne y con el tiempo éstos han ido evolucionando para ser más efectivos. La implementación de estos protocolos facilita el uso de la inseminación artificial a tiempo fijo (IATF) o a estro detectado, homogeniza el nacimiento de becerros, permite la programación de partos, el cuidado del becerro recién nacido y aumenta los índices de preñez (Abel *et al.*, 2017). En la actualidad, la manipulación hormonal del ciclo estral en bovinos para sincronizar el estro y la ovulación, se basa en cuatro grandes principios;

1) Simular la fase lútea del ciclo estral. Esto se logra mediante la administración exógena de progesterona usando dispositivos intravaginales que liberan progesterona (DIP) de manera constante (Colazo & Mapletoft, 2014) o mediante el uso de progestágenos orales como el acetato de melengestrol (MGA; Lamb *et al.*, 2010). Actualmente los DIP son los más usados y se recomienda su uso por periodos de 5 a 7 días (Abel *et al.*, 2017; Williams & Stanko, 2020). El sustento fisiológico del uso de los DIP consiste en que, al retirar el tratamiento, las concentraciones de progesterona en sangre se reducen rápidamente. Esto causa que los animales que no tengan un cuerpo lúteo entren en proestro y se dé la maduración de un folículo dominante que produzca suficiente estradiol para incrementar la frecuencia de pulsos de LH en la hipófisis y la posibilidad de que haya una ovulación (Rathbone *et al.*, 2001; Lamb *et al.*, 2010; Sartori & Barros, 2011).

2) Acelerar la regresión del CL mediante la administración de PGF2 α o sus análogos sintéticos. La aplicación de PGF2 α induce la lisis del CL para ocasionar la reducción en las concentraciones de progesterona endógena e inducir una nueva fase folicular en los animales que tienen un CL funcional (Abreu *et al.*, 2018). La PGF2 α induce la lisis del CL cuando se aplica al menos 6 a 7 días después de iniciado el estro, ya que previo a este tiempo, el CL se encuentra en desarrollo y hay muchos factores de sobrevivencia en el medio que lo rodea como la LH, el VEGF y el IGF-I que evitan el efecto luteolítico de la PGF2 α (Wenzinger & Bleul, 2012; Abel *et al.*, 2017; Scarpa *et al.*, 2019). Es importante señalar que en ausencia de un CL la PGF2 α no tiene efecto, sin embargo por cuestiones de manejo y la necesidad de tener experiencia para palpar la presencia de un CL, la PGF2 α se suele aplicar aun cuando no haya in CL en ovario.

3) Sincronizar el inicio de una nueva ola de crecimiento folicular. Esto se logra mediante la aplicación de GnRH o estradiol. Cuando se aplica GnRH o sus análogos, se induce un pico de LH y si la hembra tiene un folículo dominante, éste ovulará. La ovulación del folículo dominante ocasiona una reducción de estradiol e inhibina lo cual permite una elevación de FSH para iniciar una nueva ola de crecimiento folicular (Adams



et al., 1992; Aerts & Bols, 2010). En cuanto al uso de estradiol o sus análogos, se aplican en dosis elevadas (2 mg), para inducir una retroalimentación negativa sobre FSH a nivel hipofisiario y con ello ocasionar la atresia de los folículos de la ola de crecimiento en turno presentes en el ovario. Cuando los folículos se vuelven atrésicos, dejan de secretar estradiol e inhibina, se elimina la retroalimentación negativa que ejercían sobre FSH y se elevan las concentraciones de esta gonadotropina para iniciar una nueva ola de crecimiento folicular (Bó *et al.*, 1994; Scarpa *et al.*, 2019).

4) Inducir la ovulación del folículo dominante de la ola de crecimiento sincronizada. En ganado productor de carne, la ovulación se puede inducir mediante la aplicación de GnRH al momento de la inseminación artificial o con la aplicación en dosis bajas (1 ng) de estradiol en animales en proestro, para inducir el comportamiento estral y el pico preovulatorio de LH (Bó *et al.*, 2016).

Principales Protocolos Usados Actualmente

A la fecha, los tratamientos comúnmente empleados para la sincronización de estro y ovulación usan como base, los DIP. Los protocolos difieren básicamente en la hormona que se usa para sincronizar el desarrollo folicular pudiendo ser GnRH, estrógenos sintéticos o progestágenos. Así, los protocolos de sincronización de estro y ovulación que se usan en la actualidad se basan en estradiol, GnRH o progesterona (Figura 2), aunque la mayoría de los protocolos utilizan una combinación de estas hormonas (Bó & Baruselli, 2014; Lamb & Mercadante, 2016; Bó *et al.*, 2016).

Protocolos basados en estradiol

Los tratamientos basados en estradiol (Figura 2A a 2C) consisten en la inserción de un DIP más una inyección de 2 mg de benzoato de estradiol (BE) por vía intramuscular en el día 0. El estradiol permite inducir el inicio de la ola de crecimiento folicular y así asegurar la presencia de un folículo estrogénicamente activo que contenga un ovocito viable al momento de la IA (Bó *et al.*, 1994; Uslenghi *et al.*, 2014; Bó *et al.*, 2016). El DIP se retira 7, 8 o 9 días después de su inserción y se aplica PGF2 α para lisar un posible CL. De esta manera se asegura la reducción de progesterona en sangre y el inicio de la fase folicular. Después de esto, se debe inducir la ovulación del folículo dominante de la ola sincronizada, para lo cual se puede proceder de varias formas con relación al retiro del DIP: 1) aplicar 1 mg de BE 24 horas después, 2) aplicar GnRH 54 horas después o 3) aplicar cipionato de estradiol (ECP; 0.5 o 1 mg) al retirar el DIP. Con el uso de estos protocolos se recomienda realizar la IATF entre las 54 y 64 horas después del retiro del DIP (Colazo *et al.*, 2003; Sales *et al.*, 2012).

TPES en novillas tratadas con protocolos basados en estradiol

Usando protocolos basados en estradiol en novillas, la TPES más baja reportada en los artículos consultados fue de 39% (Reineri *et al.*, 2023) mientras que la más alta fue 59% (Silva *et al.*, 2018a). Respecto a las diferencias por inductor de ovulación, la TPES no difirió estadísticamente en novillas con el uso de GnRH (59%; Silva *et al.*, 2018b) o ECP (53%; Silva *et al.*, 2018b) o entre el uso de BE (48%) y ECP (47%; (Pfeifer *et al.*, 2014).

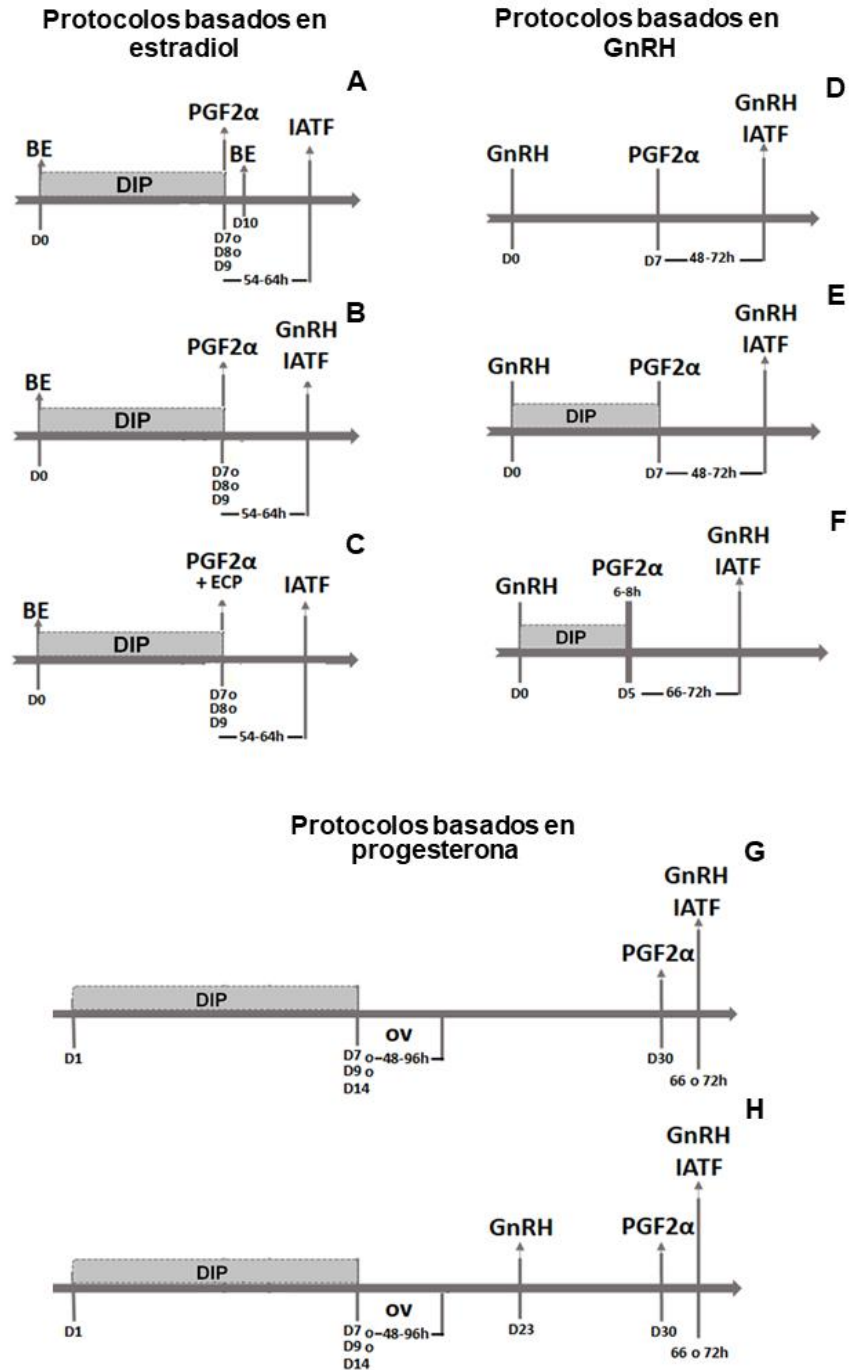


Figura 2. Principales protocolos de sincronización de estró y ovulación en hembras bovinas productoras de carne usados actualmente. A-C) Protocolos basados en estradiol usando BE (A), GnRH (B) o ECP (C) como inductores de ovulación. D-F) Protocolos basados en GnRH sin (D) o con el uso un dispositivo intravaginal que libera progesterona (DIP) por siete (E) o cinco (F) días. G y H) Protocolos basados en progesterona sin el uso de GnRH previo a la aplicación de PGF2α (G) o con el uso de GnRH siete días previos a la aplicación de PGF2α (H).



En efecto del uso de eCG al momento del retiro del DIP en novillas, no ha sido evaluado tan ampliamente como en vacas (ver más adelante), sin embargo, el uso de 200, 300 o 400 UI de eCG parece no modificar la TPES (Pinto *et al.*, 2020). De los datos recabados en novillas, en ningún caso se reportan las diferencias en TPES entre animales en estro o estatus puberal. Sin embargo, la presencia de CL al inicio del tratamiento indica que las novillas han empezado a ciclar. En este sentido, Silva *et al.* (2018b) reportan que la TPES es similar en novillas sin presencia de CL al inicio del tratamiento cuando se usa GnRH (50.5%) o ECP (50.5%) como inductores de ovulación. Sin embargo, la TPES fue mayor en animales con CL cuando se usa GnRH (68%) para inducir la ovulación que cuando se usó ECP (55%). Estas evidencias sugieren que, en novillas tratadas con protocolos basados en estradiol, se puede usar indistintamente GnRH, BE o ECP como inductores de ovulación. Sin embargo, si se pueden detectar novillas ciclando al inicio del tratamiento, en ellas es mejor usar GnRH para inducir la ovulación.

TPES en vacas tratadas con protocolos basados en estradiol

En vacas lactando la TPES más baja reportada fue de 23% (Malik *et al.*, 2012) y la más alta fue de 72% (Rodrigues *et al.*, 2018). En este grupo de animales tratados con protocolos basados en estradiol la mayoría de los datos de TPES (73%) reportados en los artículos consultados estuvo entre 41 y 60% (Figura 3A). Para los datos de vacas no lactando, la TPES más baja fue 44% y la más alta de 62% (Uslenghi *et al.*, 2014).

La TPES reportada en vacas lactando con el uso de BE como inductor de ovulación, en protocolos basados en estradiol, estuvo entre 23 y 58%, mientras que cuando se usó ECP como inductor de ovulación, el 88% de los datos de TPES reportados estuvieron entre 41 y 70% (Figura 3B). Estos datos sugieren que la TPES se puede incrementar si se usa ECP en comparación con BE como inductores de ovulación. Sin embargo, en los artículos donde se compararon los diferentes inductores de ovulación en vacas lactando tratadas con protocolos basados en estradiol, no se observaron diferencias entre el uso de BE o ECP (Sales *et al.*, 2012; Uslenghi *et al.*, 2014; Uslenghi *et al.*, 2016).

El uso de eCG (300 UI) al momento de retirar el DIP, es una estrategia para incrementar la TPES en vacas lactando tratadas con protocolos basados en estradiol. Como podemos ver en la figura 3C, la TPES reportada cuando no se usó eCG, en el 100% de los datos recuperados de la bibliografía, fue menor al 61%, mientras que cuando se usó eCG el 100% de los datos de TPES estuvieron entre 45 y 72%. Estos reportes sugieren que la TPES en vacas lactando tratadas con protocolos basados en estradiol, se puede mejorar con el uso de eCG. Esta hipótesis fue confirmada por Pessoa *et al.* (2016) quienes reportan que el uso de eCG al momento de retirar el DIP incrementa la TPES (45%) en comparación con vacas a las que no se les aplica eCG (30%). La eCG actúa principalmente sobre receptores a FSH en el folículo, para promover la síntesis de



estradiol y el crecimiento folicular (Murphy & Martinuk, 1991). Se ha reportado que un mayor desarrollo folicular puede mejorar la calidad del ovocito y con ello la fertilidad (Simões *et al.*, 2018) lo cual explica por qué, el uso de esta hormona mejora la TPES en protocolos basados en estradiol.

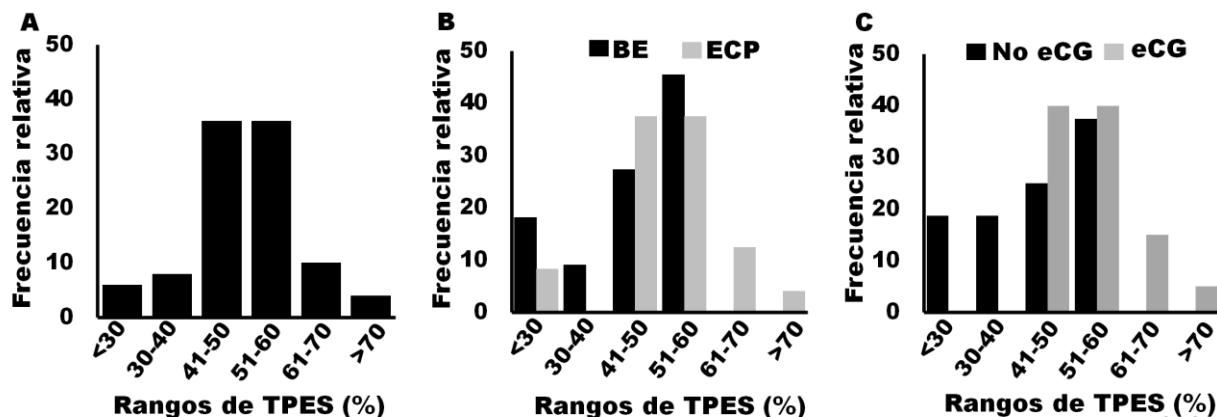


Figura 3. Tasa de Preñez a Estro Sincronizado (TPES) con protocolos basados en estradiol en vacas lactando. A) Distribución de los datos de TPES totales. B) Distribución de los datos TPES con el uso de benzoato de estradiol (BE) y cipionato de estradiol (ECP) como inductores de ovulación. C) Distribución de los datos de TPES con el uso o no de 300UI de gonadotropina coriónica equina (eCG) al momento de retirar el DIP. Información recopilada de: Ross *et al.*, 2004; Sa Filho *et al.*, 2010; Malik *et al.*, 2012; Campos *et al.*, 2013; Pfeifer *et al.*, 2015; Uslenghi *et al.*, 2016; Pessoa *et al.*, 2016; Cooke *et al.*, 2016; Rodrigues *et al.*, 2018; Santos *et al.*, 2018; Silva *et al.*, 2018a, Crepaldi *et al.*, 2019; Oliveira-Filho *et al.*, 2020; Noronha *et al.*, 2020; Diniz *et al.*, 2021; Alves *et al.*, 2021; Pfeifer *et al.*, 2022; Barbosa *et al.*, 2022; Rodriguez *et al.*, 2023; Aragunde-Vieytes *et al.*, 2023.

En vacas productoras de carne lactando, la presencia del becerro reduce la secreción de GnRH/LH (Crowe, 2008), por lo cual se recomienda hacer un destete temporal desde el retiro del DIP y hasta la IATF (Crowe, 2008). Sin embargo, Cooke *et al.* (2016) reportan que la TPES es similar en vacas en las que se realizó destete temporal (45.6%) que en vacas en las que no se realizó (46.6%), mientras que Pfeifer *et al.*, (2014) reportan una TPES de 58.1% con destete temporal, que está dentro del rango de TPES reportado en el resto de los artículos revisados donde no se reporta haber realizado destete temporal (Malik *et al.*, 2012; Rodrigues *et al.*, 2018). Estas evidencias sugieren que no es necesario realizar destete temporal y que los protocolos basados en estradiol pueden contrarrestar el efecto negativo de la presencia del becerro sobre la secreción de GnRH/LH.

Otro factor que puede afectar la TPES, es la presentación de estro después de retiro del DIP. La TPES fue mayor ($P < 0.05$) en vacas lactando y no lactando que presentaron estro, que en las que no presentaron estro (Cedeño *et al.*, 2021; Pessoa *et al.*, 2016; Rodrigues *et al.*, 2018). La falta de conducta estral puede ser un indicativo de ausencia de un folículo preovulatorio maduro capaz de producir suficiente estradiol para estimular el estro y la



ovulación, lo cual explicaría por qué los animales que no presentan estro tienen una TPES menor.

Recientemente se ha reportado una variación en los protocolos basados en estradiol donde se usa el DIP solo por 5 o 6 días. A este protocolo se le ha denominado J-synch y en novillas productoras de carne tratadas con este protocolo hay una TPES mayor (61.9%) en comparación con novillas tratadas con el protocolo convencional (51.4%; [Bó et al., 2016](#)). De manera similar a lo observado en novillas tratadas con el protocolo convencional basado en estradiol, novillas tratadas con el J-synch ciclando, tienen una TPES mayor que las novillas en anestro ([Núñez-Olivera et al., 2022](#); [Zwiefelhofer et al., 2021](#)). Así mismo, en vacas lactando, el uso de J-synch tiende a incrementar la TPES (74.1%) cuando se compara con el protocolo basados en GnRH (66.5%; [Macmillan et al., 2020](#)). Adicionalmente, en este tipo de protocolos, la aplicación de eCG al momento del retiro del DIP, incrementa la TPES ([Núñez-Olivera et al., 2020](#)). La reducción de 8 a 5 días en el uso del DIP en protocolos basado en estradiol, evita la presencia de folículos persistentes ya que la liberación de progesterona por parte del DIP es suficiente para ejercer retroalimentación negativa para GnRH, lo cual favorece el recambio folicular ([Day, 2015](#)).

Protocolos basados en GnRH

Los tratamientos basados en GnRH consisten en la administración de esta hormona en el día cero, para inducir la ovulación del folículo dominante y con ello promover el inicio de una nueva ola de crecimiento folicular. Posteriormente, en el día siete se aplica PGF2 α para inducir la regresión del CL y entre 48 a 72 horas después se aplica una segunda dosis de GnRH (Figura 2D) para inducir la ovulación y se realiza la IATF ([Martínez et al., 1999](#); [Martínez et al., 2000](#)). La efectividad de este tratamiento depende en gran medida de que los animales ovulen después de la primera aplicación de GnRH. Si los animales ovulan, se formará un CL, por lo que al aplicar PGF2 α en el día 7, las concentraciones séricas de progesterona se reducirán, los animales entrarán a una fase folicular y habrá un folículo preovulatorio que ovulará con la segunda aplicación de GnRH ([Bó et al., 2016](#); [Ginther, 2016](#)). Debido a que el porcentaje de ovulación después de la primera aplicación de GnRH es muy variable ([Bó et al., 2016](#)), a este protocolo se le ha sumado el uso de un DIP junto con la primera aplicación de GnRH, el cual debe retirarse al momento de aplicar la PGF2 α (Figura 2E). De esta manera, sin importar si los animales ovulan después de la primera aplicación de GnRH, al momento de retirar el DIP, todos entrarán en proestro. Adicionalmente, este protocolo ha sido acortado, usando el DIP solo por 5 días y aplicando dos inyecciones de PGF2 α , una al momento del retiro de DIP y la segunda 6 a 8 horas después (Figura 2F).



TPES en novillas tratadas con protocolos basados en GnRH

En novillas tratadas con protocolos basados en GnRH usando el DIP por 5 días, la mayoría de los datos de TPES (91%) estuvieron entre el 51 al 70%. En contraste, cuando el DIP fue usado por 7 días, la mayoría de los datos de TPES estuvieron entre 41-60% (Figura 4A). Estos datos sugieren que la TPES se puede incrementar si se usa el DIP por 5 días en comparación con su uso por 7 días.

Cuando se usa el DIP por 5 días en protocolos basado en GnRH, se recomienda aplicar 2 inyecciones de PGF2 α al momento del retiro del DIP debido a que los animales que ovulan, con la primera aplicación de GnRH, tienen un CL joven que están bajo la influencia de estímulos tróficos que promueven su desarrollo (Niswender *et al.*, 2000). Según la información consultada, la TPES se reduce en novillas tratadas con protocolos basados en GnRH+DIP por 5 días, si se usa una sola inyección de PGF2 α en comparación con el uso de dos inyecciones de esta hormona (Kasimanickam *et al.*, 2012; Kasimanickam *et al.*, 2014; White *et al.*, 2016; Helguera *et al.*, 2018). Por esta razón lo más recomendable es aplicar dos inyecciones de PGF2 α cuando se decida usar el DIP por 5 días.

La presentación de estro previo a la IATF ha mostrado resultados contrastantes sobre la TPES en novillas tratadas con protocolos basados en GnRH. Novillas sincronizadas con el protocolo GnRH y DIP por 7 días que presentan estro, tienen una TPES similar a las novillas que no lo presentaron (Martínez *et al.*, 2002; Knickmeyer *et al.*, 2019). En cambio, Oosthuizen *et al.* (2018a) y Speckhart *et al.* (2022), usando el mismo protocolo, reportan que la TPES es mayor en novillas que presentan estro previo a la inseminación que las que no lo presentan. Así, parece que la TPES en novillas tratadas con protocolos basados en GnRH puede depender parcialmente de la presentación de estro. Sin embargo, inseminar solo novillas en estro, además de presentar un reto de manejo para detectarlo, puede reducir la tasa de pariciones al final del empadre por lo que se recomienda inseminar a todos los animales sin importar si presentan estro o no.

Respecto al estatus puberal al inicio del tratamiento, parece que la TPES no difiere entre animales púberes y animales peri-púberes sometidos a protocolos basados en GnRH con uso del DIP por 7 o 5 días (Busch *et al.*, 2007; Helguera *et al.*, 2018; Knickmeyer *et al.*, 2019). El uso de GnRH y DIP en estos protocolos, además de sincronizar el estro y la ovulación, puede inducir la actividad ovárica en novillas peri-púberes con buen desarrollo corporal (Colazo & Mapletoft, 2014; Baruselli *et al.*, 2018), explicando porque, no hay diferencias en la TPES entre novillas púberes y peri-púberes.

El tiempo entre el retiro del DIP y la IA ha mostrado efectos contradictorios sobre la TPES. Helguera *et al.*, (2018) reportan que no hay diferencia en la TPES entre novillas tratadas con GnRH y DIP por 5 días e inseminadas a las 66 horas después del retiro del DIP con



novillas inseminadas a las 72 horas. En contraste, en novillas tratadas con el mismo protocolo, la TPES es mayor cuando la inseminación se realizó a las 54 horas de retirar el DIP que cuando se hizo a las 72 horas (Kasimanickam *et al.*, 2012). Si bien las diferencias en estos resultados pueden deberse a muchos factores, es importante señalar que entre más tiempo pase entre el retiro del DIP y la IA, se corre el riesgo que el folículo dominante ovule comprometiendo, la viabilidad del ovocito y la fertilidad.

TPES en vacas lactando tratadas con protocolos basados en GnRH

La distribución de los datos de TPES, en vacas lactando tratadas con protocolos basados en GnRH sin uso de DIP o con su uso por 5 o 7 días se muestra en la figura 4B. El rango de TPES, en vacas lactando tratados con protocolos basados en GnRH sin el uso del DIP fue de 31% (Stevenson *et al.*, 2003) a 64% (Small *et al.*, 2009). Mientras que en hembras sometidas a protocolos basados en GnRH y DIP por 5 días, el rango fue de 33% (Williams & Stanko, 2020) a 69% (Kasimanickam *et al.*, 2009) y animales donde se usó el protocolo basado en GnRH, pero con DIP por 7 días, el rango fue de 38% (Rosales-Torres *et al.*, 2017) a 71% (Lamb *et al.*, 2001).

La TPES es mayor en animales en los que se usó DIP por 7 días después de la primera aplicación de GnRH en comparación con los que no lo tuvieron (Lamb *et al.*, 2001 y Larson *et al.*, 2006). En cuanto a las diferencias entre el uso del DIP por 7 o 5 días, los datos de TPES colectados sugieren que no hay diferencias (Figura 4B), sin embargo, se ha reportado que la TPES es mayor cuando se usa el DIP por 5 días en comparación con 7 días (Whittier *et al.*, 2013). Basados en estos datos se recomienda el uso del DIP ya sea por 5 o 7 días en vacas tratadas con protocolos basados en GnRH para asegurar que los animales que no ovulen con la primera aplicación de GnRH entren a la fase folicular al momento de retirar el DIP (Bó *et al.*, 2016; Ginther, 2016). Esto incrementa el número de animales que responden al tratamiento y con ello la TPES.

Como se mencionó anteriormente, el tiempo entre el retiro del DIP y la IA puede variar entre 48 y 72 horas. De los datos de TPES que recabamos de vacas lactando tratadas con protocolos basados en GnRH+DIP por 5 días, en la mayoría (85%) la IATF se realizó a las 72 horas del retiro del DIP, la TPES más baja fue del 33% (Williams & Stanko, 2020) y la más alta fue 69% (Kasimanickam *et al.*, 2009). En vacas lactando tratadas con el protocolo basado en GnRH con y sin el uso de DIP por 7 días, el tiempo entre la aplicación de PGF2- α y la IA, así como los resultados de la TPES reportados fueron muy variables (figura 4C y 4D). En vacas lactando en las que se usó del DIP por 7 días, la TPES más alta (71%) se reportó cuando la IATF se realizó a las 48 (Lamb *et al.*, 2001) y 72 horas (Nash *et al.*, 2012), mientras que la más baja (38%) fue cuando la IA se hizo a las 72 horas (Rosales-Torres *et al.*, 2017). Busch *et al.* (2008), muestran que la TPES es mayor cuando la IA se hace a las 66 horas que cuando se realiza a las 54 horas después del



retiro del DIP. Sin embargo, debido a la variación de la TPES que se muestra en la figura 4C el efecto del tiempo entre el retiro del DIP y la IA en protocolos basados en GnRH y DIP por 7 días puede no ser importante. Finalmente, en vacas lactando tratadas con protocolos basados en GnRH sin el uso del DIP, la TPES varió de 31% cuando la IATF se realizó a las 48 horas después de la aplicación de PGF2 α (Stevenson *et al.*, 2003) hasta 64% reportada cuando la IATF se realizó a las 64 horas de la aplicación de PGF2 α (Small *et al.*, 2009).

La presentación de estrógeno previo a la IA, el estatus ovárico al inicio del tratamiento, el uso de eCG y el destete temporal pueden afectar la TPES en vacas lactando tratadas con protocolos basados en GnRH. Varios reportes muestran el efecto de la presentación de estrógeno previo a la IA sobre la TPES (Nash *et al.*, 2012; Thomas *et al.*, 2014; Hill *et al.*, 2016a; Hill *et al.*, 2016b; Abel *et al.*, 2017) y concluyen que las hembras que presentan estrógeno, tienen una TPES mayor que las que no presentan estrógeno. En trabajos que usaron el protocolo basado en GnRH+DIP por 7 días, se reporta que la TPES más alta fue de 48% (Abel *et al.*, 2017) y la más baja de 42% (Nash *et al.*, 2012; Hill *et al.*, 2016a) en vacas que no presentan estrógeno previo a la IA, mientras que en animales que presentan estrógeno, la TPES más alta fue de 71% (Nash *et al.*, 2012) y la más baja 64% (Ferreira *et al.*, 2018). Al igual que en protocolos basados en estradiol, en los que están basados en GnRH, la presentación de estrógeno puede mejorar la TPES, ya que en los animales con comportamiento estral es más probable que tengan folículo preovulatorio maduro capaz de inducir su propia ovulación vía estradiol. Sin embargo, por cuestiones de manejo y para incrementar la tasa de pariciones al final del empadre, se recomienda al igual que en novillas que la IATF se realice en todos los animales.

En cuanto al efecto del estatus ovárico sobre la TPES, en hembras ciclando al inicio del tratamiento con GnRH+DIP por 7 días, el rango de TPES reportado es de 49% (Marquezini *et al.*, 2013a) a 69% (Bridges *et al.*, 2014), mientras que, en animales en anestro el rango es de 47% (Nash *et al.*, 2012) a 63% (Busch *et al.*, 2008). Por su parte, Giles *et al.* (2013), usando el protocolo basado en GnRH y DIP por 5 días reportan que la TPES es del 50% en vacas ciclando y del 52% en vacas en anestro. Como se mencionó, en el caso de novillas tratadas con protocolos basados en GnRH, éstos pueden inducir la ciclicidad en animales en anestro (Colazo & Mapletoft, 2014; Baruselli *et al.*, 2018), explicando el porqué, no hay diferencias en la TPES entre vacas ciclando y vacas en anestro.

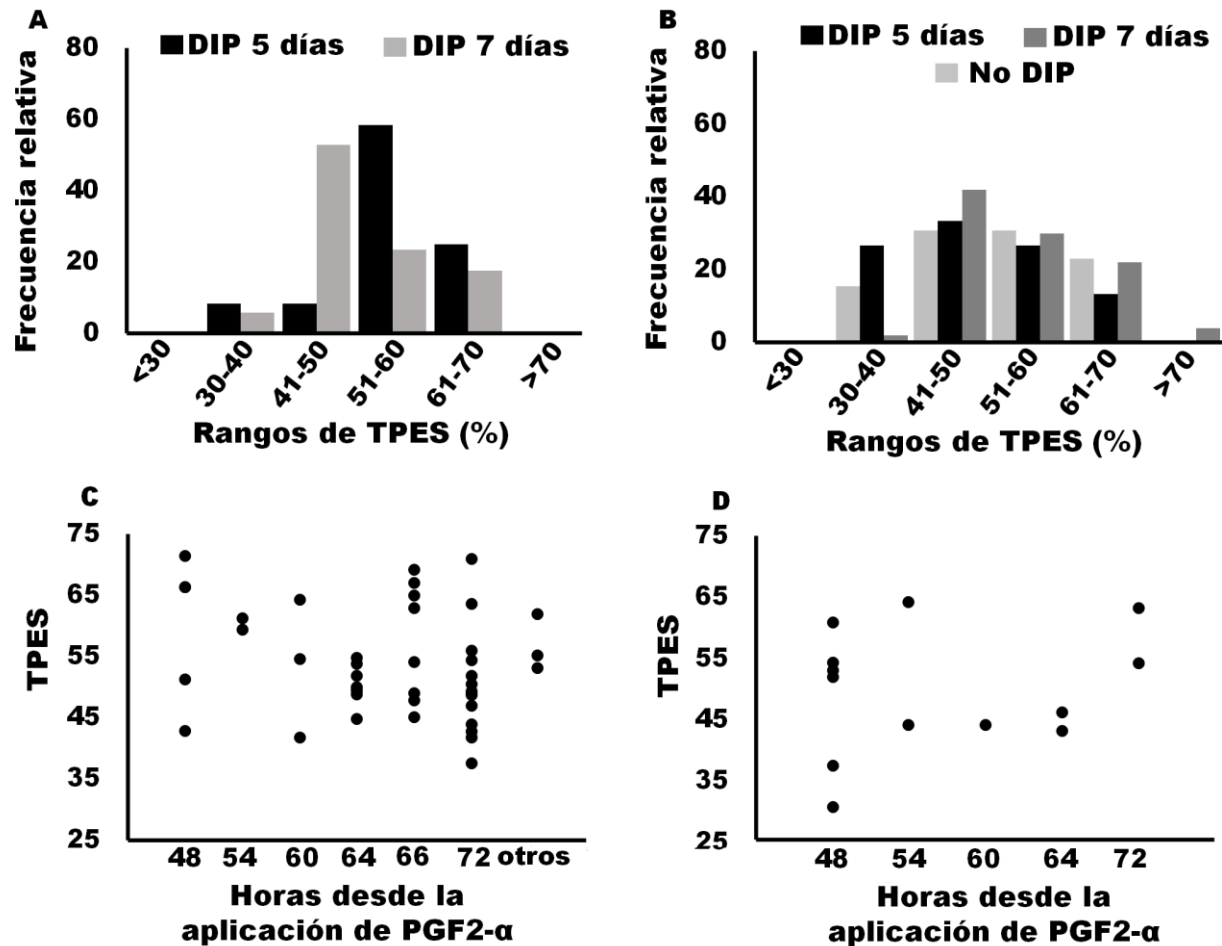


Figura 4. Tasa de Preñez a Estro Sincronizado (TPES) en hembras bovinas tratadas con protocolos basados en GnRH. A) Distribución de datos de TPES en novillas en la que se usó un dispositivo intravaginal que libera progesterona (DIP) por 5 o 7 días después de la primera aplicación de GnRH. B) Distribución de datos de TPES en vacas lactando sin el uso de un DIP o con su uso por 5 y 7 días después de la primera aplicación de GnRH. C) Distribución de datos de TPES a diferentes tiempos entre la aplicación de PGF2-α y la IA en vacas lactando tratadas con protocolos basados en GnRH y el uso de un DIP por 7 días. D) Distribución de datos de TPES a diferentes tiempos entre la aplicación de PGF2-α y la IA en vacas lactantes tratadas con protocolos basados en GnRH sin uso de un DIP. Datos recopilados de: [Abel et al., 2017](#); [Martínez et al., 2000](#); [Bishop et al., 2017](#); [Bridges et al., 2014](#); [Macmillan et al., 2020](#); [Burns et al., 2008](#); [Busch et al., 2007](#); [Busch et al., 2008](#); [Cruppe et al., 2014](#); [Dahlen et al., 2010](#); [Echternkamp & Thallman, 2011](#); [Esterman et al., 2016](#); [Geary et al., 2001](#); [Giles et al., 2013](#); [Hall et al., 2017](#); [Helguera et al., 2018](#); [Hill et al., 2014](#); [Hill et al., 2016a](#); [Hill et al., 2016b](#); [Kasimanickam et al., 2006](#); [Kasimanickam et al., 2010](#); [Kasimanickam et al., 2014](#); [Kasimanickam et al., 2009](#); [Kasimanickam et al., 2012](#); [Knickmeyer et al., 2019](#); [Lamb et al., 2001](#); [Lamb et al., 2006](#); [Larson et al., 2006](#); [Marquezini et al., 2011](#); [Marquezini et al., 2013a](#); [Marquezini et al., 2013b](#); [Martínez et al., 2002](#); [Mercadante et al., 2015](#); [Mialot et al., 2003](#); [Nash et al., 2012](#); [Oosthuizen et al., 2018a](#); [Oosthuizen et al., 2018b](#); [Oosthuizen et al., 2018c](#); [Rosales-Torres et al., 2017](#); [Small et al., 2009](#); [Stevenson et al., 2003](#); [Thomas et al., 2014](#); [White et al., 2016](#); [Whittier et al., 2010](#); [Whittier et al., 2013](#); [Williams & Stanko, 2020](#); [Wilson et al., 2010](#); [Rodriguez et al., 2023](#); [Bonacker et al., 2020](#); [Rojas-Canadas et al., 2023](#).



Aun cuando la presencia del becerro reduce la secreción de GnRH (Martínez *et al.*, 2000), pocos estudios incluyen el destete temporal como factor para mejorar la TPES en los protocolos basados en GnRH revisados en este trabajo. Marquezini *et al.* (2013a y 2013b) reportan, en animales tratados con protocolos basados en GnRH+DIP por 7 días, que la TPES es similar cuando se hace destete temporal por 72 horas que cuando no se hace destete temporal. En contraste, Geary *et al.* (2001) reportan, que el destete temporal por 48 horas tiende ($P=0.09$) a incrementar la TPES en vacas tratadas con protocolos basados en GnRH con o sin DIP. Si bien la respuesta a los protocolos de sincronización basados en GnRH puede verse comprometida por la presencia del becerro y sus efectos negativos sobre la secreción de GnRH, por cuestiones prácticas y basados en estas evidencias, la sugerencia es no hacer el destete temporal.

El uso de eCG al final de los protocolos basados en GnRH no es tan común como en los protocolos basados en estradiol. Algunos reportes muestran, en vacas lactando tratadas con protocolos basados en GnRH con y sin uso de DIP, que la TPES es mayor en animales donde se usa eCG (400 UI) al momento de la aplicación de PGF2 α que en vacas en las que no se usa eCG (Small *et al.*, 2009; Randi *et al.*, 2021). En contraste, en animales tratados con protocolos basados en GnRH+DIP por 7 días, más destete temporal, la TPES no es diferente en animales tratados o no con 400 UI eCG al momento del retiro del DIP (Marquezini *et al.*, 2013b). Estos resultados sugieren que se debe realizar más estudios para validar si el uso de eCG puede mejorar la TPES en vacas lactando tratadas con protocolos basados en GnRH.

Protocolos basados en progesterona

Los protocolos basados en progesterona consisten en el uso de DIP o análogos de progesterona como el MGA por periodos prolongados para sincronizar el estro de las hembras, seguido de PGF2 α y GnRH o de GnRH, PGF2 α y GnRH. El DIP, se inserta en el día 1 y se retira 7, 9 o 14 días después. Esto tiene como objetivo, que los animales entren en estro y ovulen de manera sincrónica. Posteriormente cuando los animales se encuentren en la fase lútea, se aplica PGF2 α para inducir la regresión del CL y que los animales entren en proestro de manera homogénea (Figura 2G). El tiempo más comúnmente usado, entre el retiro del DIP y el tratamiento con PGF2 α es de 16 días, aunque esta hormona se puede aplicar a los 11 días (Eborn & Grieger, 2013). Después de la aplicación de PGF2 α la IATF se puede realizar a las 66 o 72 horas. Una variación a este protocolo consiste en la aplicación de GnRH 7 días previos a la aplicación de PGF2 α (Figura 2H). Es importante señalar que la GnRH se puede aplicar a los 2, 4, 9 y 12 días del retiro del DIP (Mallory *et al.*, 2011; Eborn & Grieger, 2013).



TPES en novillas tratadas con protocolos basados en progesterona

En novillas tratadas con el protocolo P-PGF2 α -GnRH la TPES más baja reportada fue de 31% (Thomas *et al.*, 2017) y la más alta fue de 63% (Mallory *et al.*, 2011). En el caso de novillas tratadas con la variación de este protocolo (P-GnRH-PGF2 α -GnRH), el rango de TPES fue de 44 (Mallory *et al.*, 2011) a 62% (Busch *et al.*, 2007). De los datos de TEPS colectados de los artículos seleccionados el 45% reportan una TPES de entre 61 y 70% en novillas tratadas con el protocolo P-GnRH-PGF2 α -GnRH, mientras que solo el 25% de los datos están dentro de este rango en novillas tratadas con el protocolo P-PGF2 α -GnRH (Figura 5A). Esto sugiere, que el protocolo P-GnRH-PGF2 α -GnRH, incrementa la TPES en comparación con el protocolo P-PGF2 α -GnRH. Al respecto, Eborn & Grieger (2013), usando MGA durante 7 días, muestran que la TPES es mayor cuando se usa GnRH después del retiro de la MGA (55%) que cuando no se usa (38%). De manera similar, la TPES es mayor en novillas cuando se usa GnRH después del retiro del DIP que en novillas en las que no se usa (Kasimanickam *et al.*, 2016). Estas evidencias sugieren que el uso del protocolo P-GnRH-PGF2 α -GnRH puede mejorar la TPES porque se sincroniza una nueva ola de crecimiento folicular con el uso de la primera GnRH.

Otros factores que pueden modificar la TPES en novillas tratadas con protocolos basados en progesterona son el tipo de progestágeno, la presentación del estro y el estatus puberal. En hembras tratadas con el protocolo P-GnRH-PGF2 α -GnRH, no se observaron diferencias en la TPES entre el uso de progesterona o MGA (Eborn & Grieger, 2013). Mientras que, en novillas que presentan estro antes de la IATF y son tratadas con el protocolo P-PGF2 α -GnRH, tienen una TPES mayor que cuando no presentaron estro (Thomas *et al.*, 2014; Thomas *et al.*, 2017). Respecto al estatus puberal de las novillas, no se observaron diferencias en la TPES entre novillas peri-púberes y novillas púberes sometidas a un protocolo basado en progesterona sin importar si se usó o no GnRH después del retiro de progesterona (Busch *et al.*, 2007; Mallory *et al.*, 2011). El uso de progestágenos en estos protocolos puede sensibilizar el hipotálamo de animales peri-púberes para inducir la ciclicidad (Perry, 2016). Esto explica porque no hay diferencias en la TPES entre animales púberes y peri-púberes cuando son tratados con estos protocolos.

TPES en vacas lactando tratadas con protocolos basados en progesterona

De la información colectada de los artículos seleccionados, la TPES más baja reportada en vacas lactando tratadas con el protocolo P-GnRH-PGF2 α -GnRH fue 50% (Schafer *et al.*, 2007) y la más alta fue de 70% (Bader *et al.*, 2005). En contraparte, las vacas tratadas con el protocolo P-PGF2 α -GnRH la TPES más baja reportada fue 46% (Abel *et al.*, 2017) y la más alta fue 76% (Abel *et al.*, 2017). De acuerdo con los datos de TPES mostrados en la Figura 5B, el uso del protocolo P-GnRH-PGF2 α -GnRH en vacas lactando parece

incrementar la TPES en comparación con vacas tratadas con el protocolo P-PGF2 α -GnRH. Esto debido a que el uso de GnRH previo a la aplicación de PGF2 α sincroniza una nueva ola de crecimiento folicular.

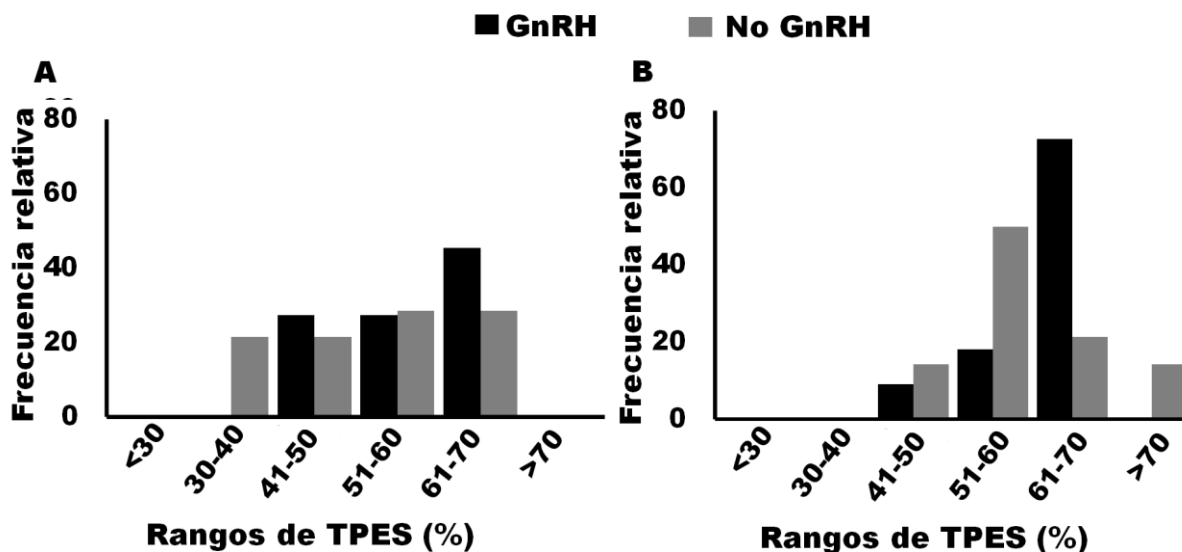


Figura 5. Tasa de Preñez a Estro Sincronizado (TPES) en hembras bovinas tratadas con protocolos a base de progesterona. A) Distribución de datos de TPES en novillas en las que se aplicó o no GnRH después del retiro de progesterona. B) Distribución de datos de TPES en vacas lactando en las que se aplicó o no GnRH después del retiro de progesterona. Datos recopilados de [Bader et al., 2005](#); [Busch et al., 2007](#); [Eborn & Grieger, 2013](#); [Schafer et al., 2007](#); [Mallory et al., 2011](#); [Martin et al., 2014](#); [Kasimanickam et al., 2016](#); [Stegner et al., 2004](#); [Thomas et al., 2014](#); [Thomas et al., 2017](#); [Ketchum et al., 2021](#).

En vacas lactando sometidas a estos protocolos, la TPES es mayor cuando los animales presentan estro antes de la IATF que cuando no presentan estro ([Thomas et al., 2014](#)). En vacas lactando tratadas con el protocolo P-PGF2 α -GnRH la TPES fue 71 y 76% cuando presentaron estro antes de la inseminación mientras que cuando no presentaron estro la TPES fue 43 y 53% ([Abel et al., 2017](#)). Con relación al estatus ovárico posparto, [Schafer et al. \(2007\)](#) usando el protocolo P-GnRH-PGF2 α -GnRH reportaron que la TPES es similar entre vacas ciclando (59%) y vacas en anestro posparto (64%). De manera similar, en vacas tratadas con el mismo protocolo, sin importar si se usa MGA por 7 o 14 días, la TPES es similar entre vacas ciclando y vacas en anestro posparto ([Bader et al., 2005](#)). Al igual que en novillas, la presentación de estro en vacas lactando asegura la presencia de un folículo preovulatorio maduro capaz de ovular al aplicar la GnRH junto con la IA. Mientras que, los protocolos basados en progesterona al igual que los basados en GnRH pueden inducir la actividad ovárica en vacas en anestro posparto.



Conclusiones

En los protocolos de sincronización de estro y ovulación usados actualmente se manipula el desarrollo folicular con el uso de estrógenos, GnRH o progestágenos para posteriormente inducir la ovulación de un folículo preovulatorio y así realizar la IATF. Además, se debe asegurar que los animales entren a una fase folicular de manera sincrónica usando PGF2 α y los DIP. Basados en la información revisada en este trabajo, los datos de TPES reportados son muy variables, sin embargo, independiente del tipo de protocolo usado, es posible obtener TPES de entre el 40 y 60%. Dependiendo del tipo de protocolo usado y el estatus fisiológico del animal, existen algunos factores que pueden ser usados para mejorar la TPES. En vacas lactando el uso de eCG incrementan la TPES cuando se incluye en protocolos basados en estradiol, mientras que en novillas y vacas lactando tratadas con protocolos basados en GnRH, la TPES se puede incrementar usando el DIP por 5 o 7 días. Finalmente, en hembras tratadas con protocolos basados en progesterona, el uso de GnRH previo a la aplicación de PGF2 α mejora la TPES.

LITERATURA CITADA

- ABEL, JM, Bishop BE, Thomas JM, Eilersieck MR, Pooch SE, Smith MP, Patterson DJ. 2017. Comparing strategies to synchronize estrus before fixed-time artificial insemination in primiparous 2-year-old beef cows. *Theriogenology*. 87:306-315. ISSN: 0093-691X. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.09.010>
- ABREU FM, Da Silva MAC, Cruppe LH, Mussard ML, Bridges GA, Harstine BR. 2018. Role of progesterone concentrations during early follicular development in beef cattle: I. Characteristics of LH secretion and oocyte quality. *Animal Reproduction Science*. 196:59-68. ISSN:0378-4320. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2018.06.020>
- ADAMS GP, Matteri RL, Ginther OJ. 1992. Effect of progesterone on ovarian follicles, emergence of follicular waves and circulating follicle-stimulating hormone in heifers. *Journal of Reproduction and Fertility*. 96(2):627-40. ISSN: 2228-5482. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1339842/>
- AERTS JMJ, Bols PEJ. 2010. Ovarian follicular dynamics. A review with emphasis of the bovine species. Part II: antral development, exogenous influence and future prospects. *Reproduction in Domestic Animals*. 45:180–7. ISSN: 1439-0531. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2008.01298.x>
- ALVES RLOR, Silva MA, Consentini CEC, E Silva LO, Folchini NP, Oliva AL, Prata AB, Gonçalves JRS, Wiltbank MC, Sartori R. 2021. Hormonal combinations aiming to improve reproductive outcomes of *Bos indicus* cows submitted to estradiol/progesterone-based timed AI protocols. *Theriogenology*. 15;169:89-99. ISSN: 0093-691X. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2021.04.007>



ALVAREZ RH, Pugliesi G, Nogueira-Natal FL, Rocha CC, Ataide-Júnior GA, Ferreira-Melo AJ. 2018. Reproductive performance of *Bos indicus* beef cows treated with different doses of equine chorionic gonadotropin at the end of a progesterone-estrogen based protocol for fixed-time artificial insemination. *Theriogenology*. 118:150-156. ISSN: 0093-691X. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2018.06.003>

ARAGUNDE VIEYTES R, Viñoles Gil C, Gastal GDA, Cavestany D. 2023. Equine chorionic gonadotropin administered on day 5 of a 7-days fixed-time artificial insemination program improves ovulation synchrony and corpus luteum function in anestrous beef cows. *Theriogenology*. 195:62-68. ISSN: 0093-691X. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2022.10.016>

BADER JF, Kojima FN, Schafer DJ, Stegner JE, Ellersieck MR, Smith MF, Patterson DJ. 2005. A comparison of progestin-based protocols to synchronize ovulation and facilitate fixed-time artificial insemination in postpartum beef cows. *Journal of Animal Science*. 83:136-143. ISSN: 1525-3163. <https://doi.org/10.2527/2005.831136x>

BARBOSA IP, Cestaro JP, Silva SA, Noletto GS, Gonçalves RL, Silva GM, Paes FH, Gasperin BG, Rovani MT, Pfeifer LFM. 2022. GnRH34: An alternative for increasing pregnancy in timed AI beef cows. *Theriogenology*. 179:1-6. ISSN: 0093-691X. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2021.11.014>

BARUSELLI P, Gimenes L, Sales JN, 2007. Fisiologia reprodutiva de fêmeas taurinas e zebuínas. *Revista Brasileira de Reprodução Animal. Belo Horizonte*. 31(2):205-211. ISSN: 1809-3000. Disponible en <https://www.academia.edu/18955421/>

BARUSELLI PS, Ferreira RM, Sa MF, Bo GA. 2018. Review: Using artificial insemination v. natural service in beef herds. *Animal*. 12:S45-S52. ISSN: 1751-732X. <https://doi.org/10.1017/S175173111800054X>

BEG MA, Ginther OJ, 2006. Follicle selection in cattle and horses: role of intrafollicular factors. *Reproduction*. 132:365-377. ISSN: 1741-7899. <https://doi.org/10.1530/rep.1.01233>

BISHOP BE, Thomas JM, Abel JM, Poock SE, Ellersieck MR, Smith MF. 2017. Split-time artificial insemination in beef cattle: III. Comparing fixed-time artificial insemination to Split-time artificial insemination with delayed administration of GnRH in postpartum cows. *Theriogenology*. 99:48-52. ISSN: 0093-691X. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2017.04.046>



BÓ GA, Adams GP, Pierson RA, Tribulo HE, Caccia M, Mapletoft RJ. 1994. Follicular wave dynamics after estradiol-17 β treatment of heifers with or without a progestogen implant. *Theriogenology*. 41:1555-1569. ISSN: 0093-691X.

[https://doi.org/10.1016/0093-691X\(94\)90821-Y](https://doi.org/10.1016/0093-691X(94)90821-Y)

BÓ GA, Baruselli PS, Martinez MF. 2003. Pattern and manipulation of follicular development in *Bos indicus* cattle. *Animal Reproduction Science*. 78:307-326. ISSN:0378-4320. [https://doi.org/10.1016/s0378-4320\(03\)00097-6](https://doi.org/10.1016/s0378-4320(03)00097-6)

BÓ GA, Baruselli, PS. 2014. Synchronization of ovulation and fixed-time artificial insemination in beef cattle. *Animal*. 8:144-150. ISSN: 1751-732X.

<https://doi.org/10.1017/S1751731114000822>

BÓ GA, De La Mata JJ, Baruselli PS, Menchaca A. 2016. Alternative programs for synchronizing and resynchronizing ovulation in beef cattle. *Theriogenology*. 86:388-396. ISSN: 0093-691X. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.04.053>

BONACKER RC, Stoecklein KS, Locke JWC, Ketchum JN, Knickmeyer ER, Spinka CM, Pook SE, Thomas JM. 2020. Treatment with prostaglandin F2 α and an intravaginal progesterone insert promotes follicular maturity in advance of gonadotropin-releasing hormone among postpartum beef cows. *Theriogenology*. 157:350-359. ISSN: 0093-691X.

<https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2020.08.018>

BRIDGES GA, Lake SL, Kruse SG, Bird SL, Funnell BJ, Arias R. 2014. Comparison of three DIP-based fixed-time AI protocols in beef heifers. *Journal of Animal Science*. 93:3127-313. ISSN: 1525-3163. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-7404>

BURNS MG, Buttrey BS, Dobbins C.A, Martel CA, Olson KC, Lamb GC. 2008. Evaluation of human chorionic gonadotropin as a replacement for gonadotropin-releasing hormone in ovulation-synchronization protocols before fixed timed artificial insemination in beef cattle. *Journal of Animal Science*. 86:2539-2548. ISSN: 1525-3163. <https://doi.org/10.2527/jas.2008-1122>

BUSCH DC, Schafer DJ, Wilson DJ, Mallory DA, Leitman NR, Haden JK. 2008. Timing of artificial insemination in postpartum beef cows following administration of the CO.synch+cotrolled internal drug-release protocol. *Journal of Animal Science*. 86:1519-1525. ISSN: 1525-3163. <https://doi.org/10.2527/jas.2008-0925>

BUSCH DC, Wilson DJ, Schafer DJ, Leitman NR, Haden JK, Ellersieck. 2007. Comparison of progestin-based estrus sinchronization protocols before fixed-time artificial insemination on pregnancy rate in beef heifers. *Journal of Animal Science*. 85:1933-1939. ISSN: 1525-3163. <https://doi.org/10.2527/jas.2006-845>



CAMPOS JT, Marinho LS, Lunardelli PA, Morotti F, Seneda MM. 2013. Resynchronization of estrous cycle with eCG and temporary calf removal in lactating *Bos indicus* cows. *Theriogenology*. 80:619-23. ISSN: 0093-691X.

<https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2013.05.029>

CEDEÑO AV, Cuervo R, Tríbulo A, Tríbulo R, Andrada S, Mapletoft R, Menchaca A, Bó GA. 2021. Effect of expression of estrus and treatment with GnRH on pregnancies per AI in beef cattle synchronized with an estradiol/progesterone-based protocol. *Theriogenology*. 161:294-300. ISSN: 0093-691X.

<https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2020.12.014>

COLAZO MG, Mapletoft RJ. 2014. A review of current timed-AI (TAI) programs for beef and dairy cattle. *Canadian Veterinary Journal*. 55:772-780. ISSN: 85286.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4095965/>

COLAZO MG, Kastelic JP, Mapletoft RJ. 2003. Effects of estradiol Cypionate (ECP) on ovarian follicular dynamics, synchrony of ovulation, and fertility in DIP-based, fixed-time AI programs in beef heifers. *Theriogenology*. 60:855-865. ISSN: 0093-691X.

[https://doi.org/10.1016/s0093-691x\(03\)00091-8](https://doi.org/10.1016/s0093-691x(03)00091-8)

COLAZO MG, Whittaker P, Macmillan K, Bignell D, Boender G, De Carvalho-Guimaraes, R. 2018. Evaluation of a modified GnRH-based timed-AI protocol associated with estrus detection in beef heifers inseminated with sex-selected or conventional semen. *Theriogenology*. 118:90-95. ISSN: 0093-691X.

<https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2018.05.037>

COOKE RF, Peres RFG, Cipriano RS, Guarnieri-Filho TA, Marques RS, Rodrigues MC. 2016. Impacts of meloxicam prior to temporary calf weaning on physiological and reproductive responses of *Bos indicus* beef cows. *Journal of Animal Science*. 94:406–411. ISSN: 1525-3163.

<https://doi.org/10.2527/jas2015-9222>

CREPALDI GA, Sales JNS, Girotto RW, Carvalho JGS, Baruselli PS. 2019. Effect of induction of ovulation with estradiol benzoate at P4 device removal on ovulation rate and fertility in *Bos indicus* cows submitted to a TAI protocol. *Animal Reproduction Science*. 209:106141. ISSN: 1873-2232.

<https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2019.106141>

CROWE MA. 2008. Resumption of ovarian cyclicity in post-partum beef and dairy cows. *Reproduction in Domestic Animals Suppl.* 5:20-8. ISSN: 0936-6768.

<https://doi.org/10.1017/S1751731114000251>



CRUPPE LH, Day ML, Abreu FM, Kruse S, Lake SL, Biehl MV. 2014. The requirement of GnRH at the beginning of the five-day Co-Synch+controlled internal drug release protocol in beef heifers. *Journal of Animal Science*. 92:4198-4203. ISSN: 1525-3163. <https://doi.org/10.2527/jas.2014-7772>

DAHLEN CR, Bird SL, Martel CA, Olson KC, Stevenson JS, Lamb GC. 2010. Administration of human chorionic gonadotropin 7 days after fixed-time artificial insemination of suckled beef cows. *Journal of Animal Science*. 88:2337-2345. ISSN: 1525-3163. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2596>

DAY ML. 2015. State of the art of GnRH - based timed AI in beef cattle. *Animal Reproduction*. 12:473-478. ISSN 0378-4320. <https://www.animal-reproduction.org/journal/animreprod/article/5b5a6032f7783717068b4611>

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. ISSN: 0093-691X. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2017.09.025>

DELGADO PAM, Cuéllar NR, Sánchez CMG, Rojas ECC. 2011. Dinámica folicular en la vida reproductiva de la hembra bovina. *Veterinaria e Zootecnia*. 5:88-99. ISSN: 2178-3764. <http://vetzootec.ucaldas.edu.co/downloads/v5n2a08.pdf>

DINIZ JHW, Peres RFG, Teixeira ACB, Riveros JAN, Noronha IM, Martins CFG, Oliveira CS, Pohler KG, Pugliesi G, Oliveira LZ. 2021. Administration of PGF2 α at the moment of timed-AI using sex-sorted or conventional semen in suckled nelore cows with different intensity of estrus behavior. *Theriogenology*. 15;174:169-175. ISSN: 0093-691X. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2021.08.023>

DRIANCOURT MA. 2001. Regulation of ovarian follicular dynamics in farm animals. Implications for manipulation of reproduction. *Theriogenology*. 55:1211-1239. ISSN: 0093-691X. [https://doi.org/10.1016/s0093-691x\(01\)00479-4](https://doi.org/10.1016/s0093-691x(01)00479-4)

EBORN DR, Grieger, DM. 2013. Timed insemination of beef heifers using the 7-11 Synch protocol. *Journal of Animal Science*. 91:666-672. ISSN: 1525-3163. <https://doi.org/10.2527/jas.2011-4951>

ECHTERNKAMP SE, Thallman RM. 2011. Factors affecting pregnancy rate to estrus synchronization and fixed-time artificial insemination in beef Cattle. *Journal of Animal Science*. 89:3060-3068. ISSN: 1525-3163. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3549>



ESTERMAN RD, Alava EN, Austin BR, Hersom MJ. 2016. Select Synch and Co-Synch protocols using a DIP yield similar pregnancy rate after a fixed-time insemination in suckled *Bos indicus* x *Bos taurus* cows. *Theriogenology*. 85:870-876. ISSN: 0093-691X. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2015.10.035>

FERREIRA RM, Conti TL, Goncalves RL, Souto LA, Sales JNS, Sa MF. 2018. Synchronization treatments previous to natural breeding anticipate and improve the pregnancy rate of postpartum primiparous beef cows. *Theriogenology*. 114:206-211. ISSN: 0093-691X. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2017.11.022>

FIGUEIREDO RA, Barros CM, Pinheiro OL, Soler JMP. 1997. Ovarian follicular dynamics in nelore breed (*Bos indicus*) cattle. *Theriogenology*. 47:1489-1505. ISSN: 0093-691X. [https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(97\)00156-8](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(97)00156-8)

FORDE N, Beltman ME, Lonergan P, Diskin M, Roche JF, Crowe MA. 2011. Oestrous cycles in *Bos taurus* cattle. *Animal Reproduction Science*. 124:163-169. ISSN:0378-4320. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2010.08.025>

FORTUNE JE, Sirois J, Turzillo AM, Lavoit M. 1991. Follicle selection in domestic ruminants. *Journal Reproduction and Fertility Supplement*. 43:187-98. SSN:04493087. <https://www.bioscioproceedings.org/bp/0002/pdf/bp0002rdr15.pdf>

FORTUNE JE, Rivera GM, Evans ACO, Turzillo AM. 2001. Differentiation of dominant versus subordinate follicles in cattle. *Biology of Reproduction*. 65:648-654. ISSN: 00063363. <https://doi.org/10.1095/biolreprod65.3.648>

GARVERICK HA, Smith MF. 1993. Female reproductive physiology and endocrinology of cattle. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. 9(2):223-247. ISSN: 07490720. [https://doi.org/10.1016/s0749-0720\(15\)30643-5](https://doi.org/10.1016/s0749-0720(15)30643-5)

GEARY TW, Whittier JC, Hallford DM, MacNeil MD. 2001. Calf removal improves conception rates to the Ovsynch and Co-Synch protocols. *Journal of Animal Science*. 79:1-4. ISSN: 1525-3163. <https://doi.org/10.2527/2001.7911>

GILES RL, Ahola JK, Whittier JC, French JT, Repenning PE, Kruse SG. 2013. Administration of a GnRH analog on day 9 of a 14-day controlled internal drug release insert with timed artificial insemination in lactating beef cows. *Journal of Animal Science*. 91:1866-1873. ISSN: 1525-3163. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5497>

GINTHER OJ, Kastelic JP, Knopf L. 1989. Intraovarian relationships among dominant and subordinate follicles and the corpus luteum in heifers. *Theriogenology*. 32:787-795. ISSN: 0093-691X. [https://doi.org/10.1016/0093-691x\(89\)90467-6](https://doi.org/10.1016/0093-691x(89)90467-6)



GINTHER OJ. 2016. The theory of follicle selection in cattle. *Domestic Animal Endocrinology*. 57: 85-99. ISSN: 18790054.

<https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2016.06.002>

GUTIÉRREZ GC. 2018. Simposio Vaca-Cría. Manejos Ganaderos en el sistema Vaca Cría En: *54 Reunión Nacional de Investigación Pecuaria*. Año 4. Vol. 1 Núm.1. Nayarit México.

HALL JB, Kasimanickam RK, Glaze Jr JB, Roberts-lew MC. 2017. Impact of delayed insemination on pregnancy rates to gender selected semen in a fixed-time AI system. *Theriogenology*. 102:154-161 ISSN: 0093-691X.

<https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2017.07.014>

HELGUERA IL, Whittaker P, Behrouzi A, Mapletoft RJ, Colazo MG. 2018. Effect of initial GnRH and time of insemination on reproductive performance in cyclic and acyclic beef heifers subjected to a 5-d Co-synch plus progesterone protocol. *Theriogenology*. 106:39-45. ISSN: 0093-691X. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2017.10.001>

HILL SL, Grieger DM, Olson KC, Jaeger JR, Dahlen CR, Bridges GA. 2016a. Using estrus detection patches to optimally time insemination improved pregnancy risk in suckled beef cows enrolled in a fixed-time artificial insemination program. *Journal of Animal Science*. 94(9):3703-3710. ISSN: 1525-3163. <https://doi.org/10.2527/jas.2016-0469>

HILL SL, Grieger DM, Olson KC, Jaeger JR, Dahlen CR, Crosswhite MR. 2016b. Gonadotropin-releasing hormone increased pregnancy risk in suckled beef cows not detected in estrus and subjected to a Split-time artificial insemination program. *Journal of Animal Science*. 94:3722-3728. ISSN: 1525-3163. <https://doi.org/10.2527/jas.2016-0582>

HILL SL, Perry GA, Mercadante VRG, Lamb GC, Jaeger JR, Olson KC., 2014. Altered progesterone concentrations by hormonal manipulations before a fixed-time artificial insemination CO-Synch+DIP program in suckled beef cows. *Theriogenology*. 82:104-113. ISSN: 0093-691X. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2014.03.008>

KASIMANICKAM R, Asay M, Firth P, Whittier WD, Hall JB. 2012. Artificial insemination at 56 h after intravaginal progesterone device removal improved AI pregnancy rate in beef heifers synchronized with five-day CO-Synch+controlled internal drug release (DIP) protocol. *Theriogenology*. 77:1624-1631. ISSN: 0093-691X.

<https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2011.12.007>



KASIMANICKAM R, Collins JC, Wuenschell J, Currin JC, Hall JB, Whittier DW. 2006. Effect of timing of prostaglandin administration, controlled internal drug release removal and gonadotropin releasing hormone administration on pregnancy rate in fixed-time AI protocols in crossbred Angus cows. *Theriogenology*. 66:166-172. ISSN: 0093-691X. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2005.10.019>

KASIMANICKAM R, Day ML, Rudolph JS, Hall JB, Whittier WD. 2009. Two doses of prostaglandin improve pregnancy rates to timed-AI in a 5-day progesterone-based synchronization protocol in beef cows. *Theriogenology*. 71:762-767. ISSN: 0093-691X. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2008.09.049>

KASIMANICKAM R, Hall JB, Currin JF, Inman B, Rudolph JS, Whittier WD. 2010. Pregnancy rates in angus cross beef cows bred at observed oestrus with or without second GnRH administration in fixed-time progesterone-supplemented ovsynch and co-synch protocols. *Reproduction in Domestic Animals*. 45:487-492. ISSN: 1439-0531. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2008.01269.x>

KASIMANICKAM RK, Firth P, Schuenemann GM, Whittlock BK, Gay JM, Moore DA. 2014. Effect of the first GnRH and two doses of PGF 2α in a 5-day progesterone-based CO-Synch protocol on heifer pregnancy. *Theriogenology*. 81:797-804. ISSN: 0093-691X. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2013.12.023>

KASIMANICKAM RK, Hall JB, Whittier WD. 2016. Fertility of Angus cross beef heifers after GnRH treatment on day 23 and timing of insemination in 14-day DIP protocol. *Journal of Animal Science*. 52(1):122-129. ISSN: 1525-3163. <https://doi.org/10.1111/rda.12866>

KENEALY BP, Terasawa E. 2012. Rapid direct action of estradiol in GnRH neurons: findings and implications. *Front Endocrinol (Lausanne)*. 3(2):106. <https://doi.org/10.3389/fendo.2011.00106>

KETCHUM JN, Bonacker RC, Andersen CM, Smith EG, Stoecklein KS, Spinka CM, Thomas JM. 2021. Evaluation of later timepoints for split-time artificial insemination when using sex-sorted semen among beef heifers following the 14-d CIDR®-PG protocol. *Animal Reproduction Science*. 224:106649. ISSN: 1873-2232J. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2020.106649>

KNICKMEYER ER, Thomas JM, Locke JWC, Bonacker RC, Eilersieck MR, Poock SE. 2019. Evaluation of split-time artificial insemination following administration of a long or short-term progestin-based estrus synchronization protocol in beef heifers. *Theriogenology*. 133:179-186. ISSN: 0093-691X. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2019.04.011>



LAMB GC, Stevenson JS, Kesler DJ, Garverick HA, Brown DR, Salfen BE. 2001. Inclusion of an intravaginal progesterone Insert plus GnRH and prostaglandin F2 α for ovulation control in postpartum suckled beef cows. *Journal of Animal Science*. 79:2253-2259. ISSN: 1525-3163. <https://doi.org/10.2527/2001.7992253x>

LAMB GC, Larson JE, Geary TW, Stevenson JS, Johnson SK, Day ML. 2006. Synchronization of estrus and artificial insemination in replacement beef heifers using gonadotropin-releasing hormone, prostaglandin F2 α and progesterone. *Journal of Animal Science*. 84:3000-3009. ISSN: 1525-3163. <https://doi.org/10.2527/jas.2006-220>

LAMB GC, Mercadante VRG. 2016. Synchronization and Artificial Insemination Strategies in Beef Cattle. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. 32:335-347. ISSN: 07490720. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2016.01.006>

LAMB GC, Dahlen CR, Larson JE, Marquezini G, Stevenson JS. 2010. Control of the estrous cycle to improve fertility for fixed-time artificial insemination in beef cattle: a review. *Journal of Animal Science*. 88:E181-192. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2349>

LARSON JE, Lamb GC, Stevenson JS, Johnson SK, Day ML, Geary TW. 2006. Synchronization of estrus in suckled beef cows for detected estrus and artificial insemination and timed artificial insemination using gonadotropin-releasing hormone, prostaglandin F2 α , and progesterone. *Journal of Animal Science*. 84:332-342. ISSN: 1525-3163. <https://doi.org/10.2527/2006.842332x>

LASSALA A, Hernández-Cerón J, Pedernera M, González-Padilla E, Gutierrez CG. 2020. Cow-calf management practices in Mexico: Reproduction and breeding. *Veterinaria Mexico OA*. 7(1). ISSN: 2448-6760. <https://doi.org/10.22201/fmvz.24486760e.2020.1.839>

MACMILLAN K, Gobikrushanth M, Sanz A, Bignell D, Boender G, Macrae L. 2020. Comparison of the effects of two shortened timed-AI protocols on pregnancy per AI in beef cattle. *Theriogenology*. 15:142:85-91. ISSN: 0093-691X. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2019.09.038>

MALIK A, Wahid H, Rosnina Y, Kasim A, Sabri M. 2012. Effects of timed artificial insemination following estrus synchronization in postpartum beef cattle. *Open Veterinary Journal*. 2(1):1–5. ISSN:2218-6050. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4655776/>

MALLORY DA, Nash JM, Eilersieck MR, Smith MF, Patterson DJ. 2011. Comparison of long-term progestine-based protocols to synchronize estrus before fixed-time artificial insemination in beef heifers. *Journal of Animal Science*. 89:1358-1365. ISSN: 1525-3163. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3694>



MARIZANCÉN SMA, Artunduaga PL. 2017. Mejoramiento genético en bovinos a través de la inseminación artificial y la inseminación artificial a tiempo fijo. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*. 8(2): 247-259. ISSN-e:1989-6352. <https://doi.org/10.22490/21456453.2050>

MARQUEZINI GHL, Dahlen CR, Bird SL, Lamb GC. 2011. Administration of human chorionic gonadotropin to suckled beef cows before ovulation synchronization and fixed-time insemination: Replacement of gonadotropin-releasing hormone with human chorionic gonadotropin. *Journal of Animal Science*. 89:3030-3039. ISSN: 1525-3163. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3455>

MARQUEZINI GHL, Mercadante VRG, Bischoff KM, Black TE, DiLorenzo N, Bird SL. 2013a. Effects of temporary calf removal before fixed-time artificial insemination on pregnancy rates and subsequent calf performance in suckled beef cows. *Journal of Animal Science*. 91:2414-2425. ISSN: 1525-3163. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5743>

MARQUEZINI GHL, Mercadante VRG, Olson KC, Jaeger JR, Perry GA, Stevenson JS. 2013b. Effects of equine chorionic gonadotropin on follicle development and pregnancy rates in suckled beef cows with or without calf removal. *Journal of Animal Science*. 91:1216-1224. ISSN: 1525-3163. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5382>

MARTIN NT, Thomas JM, Nash JM, Mallory DA, Eilersieck MR, Poock SE. 2014. Comparison of a 16- versus a 19-day o interval between controlled internal drug release removal and prostaglandin F2 α following a 14-day controlled internal drug release treatment and fixed-time artificial insemination in postpartum beef cows. *Journal of Animal Science*. 92:1759-1767. ISSN: 1525-3163. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-7045>

MARTÍNEZ MF, Adams GP, Bergfelt DR, Kastelic JP, Mapletoft RJ. 1999. Effect of LH or GnRH on the dominant follicle of the first follicular wave in beef heifers. *Animal Reproduction Science*. 57:23-33. ISSN:0378-4320. [https://doi.org/10.1016/s0378-4320\(99\)00057-3](https://doi.org/10.1016/s0378-4320(99)00057-3)

MARTÍNEZ MF, Kastelic JP, Adams GP, Janzen E, McCartney DH, Mapletoft J. 2000. Estrus synchronization and pregnancy rates in beef Cattle given DIP-B, prostaglandin and estradiol, or GnRH. *Canadian Veterinary Journal*. 41:786-790. ISSN: 0008-5286. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1476379/>

MARTÍNEZ MF, Kastelic JP, Adams GP, Mapletoft RJ. 2002. The use of a progesterone-releasing device (DIP-B) or melengestrol acetate with GnRH, LH, or estradiol benzoate for fixed-time AI in beef heifers. *Journal of Animal Science*. 80:1746-1751. ISSN: 1525-3163. <https://doi.org/10.2527/2002.8071746x>



MERCADANTE VRG, Kozicki LE, Ciriaco FM, Henry DD, Dahlen CR, Crosswhite MR. 2015. Effects of administration of prostaglandin F₂ α at initiation of the seven-day CO-Synch+controlled internal drug release ovulation synchronization protocol for suckled beef cows and replacement beef heifers. *Journal of Animal Science*. 93:5204-5213. ISSN: 1525-3163. <https://doi.org/10.2527/jas.2015-8967>

MIALOT JP, Constant F, Dezaux P, Grimard B, Deletang F, Ponter AA. 2003. Estrus synchronization in beef cows: comparison between GnRH+PGF₂ α +GnRH and PRID+PGF₂ α +eCG. *Theriogenology* 60:319-330. ISSN: 0093-691X. [https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(02\)01371-7](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(02)01371-7)

MIHM M, Austin EJ, Good TEM, Ireland JLH, Knight PG, Roche JF. 2000. Identification of potential intrafollicular factors involved in selection of dominant follicles in heifers. *Biology of Reproduction*. 63:811-819. ISSN: 00063363. [https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(02\)01371-7](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(02)01371-7)

MOORE K, Thatcher W. 2006. Major advances associated with reproduction in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. 89:1254-1266. ISSN: 1525-3198. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72194-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72194-4)

MURPHY BD, Martinuk SD. 1991. Equine chorionic gonadotropin. *Endocrine Reviews*.12:27-44. ISSN: 1945-7189. <https://doi.org/10.1210/edrv-12-1-27>

NASH JM, Mallory DA, Eilersieck MR, Poock SE, Smith MF, Patterson DJ. 2012. Comparison of long-versus short-term DIP-based protocols to synchronize estrus prior to fixed-time AI in postpartum beef cows. *Animal Reproduction Science*. 132:11-16. ISSN:0378-4320. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2012.03.013>

NISWENDER GD, Juengel JL, Silva PJ, Rollyson MK, McIntush EW. 2000. Mechanisms controlling the function and life span of the corpus luteum. *Physiological Reviews*. 80:1-29. ISSN: 1522-1210. <https://doi.org/10.1152/physrev.2000.80.1.1>

NORONHA IM, Cooke RF, Martins CFG, Oliveira Filho RV, Pohler KG, Vasconcelos JLM. 2020. Administering an additional prostaglandin F₂ α injection to *Bos indicus* beef cows during a treatment regimen for fixed-time artificial insemination. *Animal Reproduction Science*. 219:106535. ISSN: 1873-2232. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2020.106535>

NÚÑEZ-OLIVERA R, Cuadro F, Bosolasco D, de Brun V, de la Mata J, Brochado C, Meikle A, Bó GA, Menchaca A. 2020. Effect of equine chorionic gonadotropin (eCG) administration and proestrus length on ovarian response, uterine functionality and pregnancy rate in beef heifers inseminated at a fixed-time. *Theriogenology*. 15;151:16-27. ISSN: 0093-691X. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2020.03.031>



NÚÑEZ-OLIVERA R, Bó GA, Menchaca A. 2022. Association between length of proestrus, follicular size, estrus behavior, and pregnancy rate in beef heifers subjected to fixed-time artificial insemination. *Theriogenology*. 15;181:1-7. ISSN: 0093-691X. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2021.12.028>

OLIVEIRA FILHO RV, Cooke RF, de Mello GA, Pereira VM, Vasconcelos JLM, Pohler KG. 2020. The effect of clitoral stimulation post artificial insemination on pregnancy rates of multiparous *Bos indicus* beef cows submitted to estradiol/progesterone-based estrus synchronization protocol. *Journal of Animal Science*. 7:1-5. ISSN 1525-3163. <https://doi.org/10.1093/jas/skaa195>

OOSTHUIZEN N, Canal LB, Fontes PLP, Sanford CD, Dilorenzo N, Dahlen CR. 2018a. Prostaglandin F-2 alpha, 7 d prior to initiation of the 7-d CO-synch plus DIP protocol failed to enhance estrus response and pregnancy rates in beef heifers. *Journal of Animal Science*. 96:1466-1473. ISSN: 1525-3163. <https://doi.org/10.1093/jas/sky058>

OOSTHUIZEN N, Fontes PLP, Sanford CD, Ciriaco FM, Henry DD, CANAL LB. 2018b. Estrus synchronization and fixed-time artificial insemination alter calving distribution in *Bos indicus* influenced beef heifers. *Theriogenology*. 106:210-213. ISSN: 0093-691X. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2017.10.028>

OOSTHUIZEN N, Lansford AC, Canal LB, Fontes PLP, Sanford CD, Dahlen CR. 2018c. Comparison of two alternate PGF (2 alpha) products in two estrus synchronization protocols in beef heifers. *Journal of Animal Science*. 96:1388-1395. ISSN: 1525-3163. <https://doi.org/10.1093/jas/sky059>

PERRY GA. 2016. Factors affecting puberty in replacement beef heifers. *Theriogenology*. 86:373-378. ISSN: 0093-691X. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.04.051>

PESSOA GA, Martini AP, Carloto GW, Rodrigues MC, Claro-Júnior I, Baruselli PS. 2016. Different doses of equine chorionic gonadotropin on ovarian follicular growth and pregnancy rate of suckled *Bos Taurus* beef cows subjected to timed artificial insemination protocol. *Theriogenology*. 15:792-799. ISSN: 0093-691X. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2015.09.057>

PFEIFER LF, Castro NA, Melo VT, Neves PM, Cestaro JP, Schneider A. 2015. Timed artificial insemination in blocks: A new alternative to improve fertility in lactating beef cows. *Animal Reproduction Science*. 163 :89-96. ISSN:0378-4320. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2015.10.002>



PFEIFER LF, Leonardi CE, Castro NA, Viana JH, Siqueira LG, Castilho EM. 2014. The use of PGF2 α as ovulatory stimulus for timed artificial insemination in cattle. *Theriogenology*. 15:81:689-695. ISSN: 0093-691X.

<https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2013.11.016>

PFEIFER LFM, Gasperin BG, Cestaro JP, Schneider A. 2022. Postponing TAI in beef cows with small preovulatory follicles. *Animal Reproduction Science*. 242:107006. ISSN: 1873-2232. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2022.107006>

PINTO HF, Missio D, Dos Santos Brum D, Carloto GW, Martini AP, Pessoa GA, Neto NA, Claro I Jr, Sá Filho MF, Leivas FG. Decreasing the dose of equine chorionic gonadotropin does not affect ovarian or pregnancy responses of purebred taurine and crossbred beef heifers. *Animal Reproduction Science*. 218:106474. ISSN: 1873-2232. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2020.106474>

RANDI F, Kelly AK, Parr MH, Diskin MG, Lively F, Lonergan P, Kenny DA. 2021. Effect of ovulation synchronization program and season on pregnancy to timed artificial insemination in suckled beef cows. *Theriogenology*. 15;172:223-229. ISSN: 0093-691X. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2021.06.021>

RATHBONE MJ, Kinder JE, Fike K, Kojima F, Clopton D, Ogle CR. 2001. Recent advances in bovine reproductive endocrinology and physiology and their impact on drug delivery system design for the control of the estrous cycle in cattle. *Advanced Drug Delivery Reviews*. 50:277-320. ISSN: 1872-8294. [https://doi.org/10.1016/s0169-409x\(01\)00156-9](https://doi.org/10.1016/s0169-409x(01)00156-9)

REINERI PS, Bernhard SDR, Principi SA, Gerlero GD, Aller JF. 2023. Effects of two protocols of ovulation synchronization on corpus luteum size and blood flow, progesterone concentration, and pregnancy rate in beef heifers. *Animal Reproduction Science*. 251:107223. ISSN: 1873-2232. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2023.107223>

RODGERS RJ, Rodgers HFI. 2010. Morphological classification of bovine ovarian follicles. *Reproduction Review*. 139:309-318. ISSN: 1741-7899. <https://doi.org/10.1530/REP-09-0177>

RODRIGUES AD, Cooke RF, Cipriano RS, Silva LGT, Cerri RLA, Cruppe LH. 2018. Impacts of estrus expression and intensity during a timed-AI protocol on variables associated with fertility and pregnancy success in *Bos indicus*-influenced beef cows. *Journal of Animal Science*. 96(1):236-249. ISSN: 1525-3163. <https://doi.org/10.1093/jas/skx043>



RODRIGUEZ AM, Maresca S, López-Valiente S, Bilbao MG, Moran KD, Bartolome JA, Pratt SL, Long NM. 2023. Comparison of the 7-day CO-Synch and 8-day estradiol-based protocols for estrus synchronization and timed artificial insemination in suckled *Bos taurus* cows. *Theriogenology*. 1;200:70-76. ISSN: 0093-691X.

<https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2023.02.003>

ROJAS-CANADAS E, Battista SE, Kieffer JD, Wellert SR, Mussard ML, Garcia-Guerra A. 2023. GnRH dose at initiation of a 5-day CO-Synch + P4 for fixed time artificial insemination in suckled beef cows. *Animal Reproduction Science*. 250:107210. ISSN: 1873-2232J. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2023.107210>

ROSALES-TORRES AM, GUZMÁN A. 2008. Apoptosis in follicular atresia and luteal regression. Review. *Técnica Pecuaria en México*. 46:159-182. ISSN: 0040-1889. <https://www.redalyc.org/pdf/613/61346205.pdf>

ROSALES-TORRES AM, Guzmán A, Gutiérrez AC. 2012. Follicular development in domestic ruminants. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 1:147–160. <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/1299/709>

ROSALES-TORRES AM, Guzmán-Sánchez A. 2011. Role of Vascular Endothelial Growth Factor and its receptors during the ovarian cycle. Review. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 3(1):89-111. ISSN: 2448-6698. <https://www.redalyc.org/pdf/2656/265622705008.pdf>

ROSALES-TORRES AM, López–Cedillo Z.B, Hernández-Coronado CG, Rosete-Fernández JV, Mendoza GD, Guzmán A. 2017. Short-term dietary concentrate supplementation during estrus synchronization treatment in beef cows increased IGF-I serum concentration but did not affect the reproductive respons. *Tropical Animal Health and Production*. 49: 221-226. ISSN: 15737438. <https://doi.org/10.1007/s11250-016-1166-7>

ROSS PJ, Aller JF, Callejas SS, Butler H, Alberio RH. 2004. Estradiol benzoate given 0 or 24 h after the end of a progestagen treatment in postpartum suckled beef cows. *Theriogenology*. 62:265-273. ISSN: 0093-691X. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2003.10.013>

SA FILHO MF, Crespilho AM, Santos JE, Perry GA, Baruselli PS. 2010. Ovarian follicle diameter at timed insemination and estrous response influence likelihood of ovulation and pregnancy after estrous synchronization with progesterone or progestin-based protocols in suckled *Bos indicus* cows. *Animal Reproduction Science*. 120(1-4):23-30. ISSN:0378-4320. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2010.03.007>



SALES JNS, Carvalho JBP, Crepaldi GA, Cipriano RS, Jacomini JO, Maio JRG. 2012. Effects of two estradiol esters (benzoate and cypionate) on the induction of synchronized ovulations in *Bos indicus* cows submitted to a timed artificial insemination protocol. *Theriogenology*. 78:510-516. ISSN: 0093-691X.

<https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2012.02.031>

SANTOS MH, Ferraz Junior MVC, Polizel DM, Barroso JPR, Miszura AA, Martins AS, and Bertoloni AV. 2018. Decreasing from 9 to 7 days the permanence of progesterone inserts makes possible their use up to 5 folds in suckled Nellore cows. *Theriogenology*. 111:56-61. ISSN: 0093-691X. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2018.01.017>

SARTORI R, Barros CM. 2011. Reproductive cycles in *Bos indicus* cattle. *Animal Reproduction Science*. 124 :244-250. ISSN:0378-4320.

<https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2011.02.006>

SARTORI R, Haughian JM, Shaver RD, Rosa GJM, Wiltbank MC. 2004. Comparison of Ovarian Function and Circulating Steroids in Estrous Cycles of Holstein Heifers and Lactating. *Journal of Dairy Science*. 87:905-920. ISSN: 1525-3198.

[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73235-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73235-X)

SCARPA JO, O'neil MM, Cardoso RC, Stanko RL, Williams GL. 2019. Ovarian follicular and luteal characteristics in *Bos indicus*-influenced beef cows using prostaglandin F2 α with or without GnRH at the onset of the 5-day CO-Synch + controlled internal drug release (DIP) protocol. *Animal Reproduction Science*. 204:1-9. ISSN:0378-4320.

<https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2019.02.013>

SCHAFER DJ, Bader JF, Meyer JP, Haden JK, Eilersieck MR, Lucy MC. 2007. Comparison of pregestin-based protocols to synchronize estrus and ovulation before fixed-time artificial insemination in postpartum beef cows. *Journal of Animal Science*. 85:1940-1945. ISSN: 1525-3163.

<https://doi.org/10.2527/jas.2006-836>

SHIRASUNA K, Nitta A, Sineenard J, Shimizu T, Bollwein H, Miyamoto A. 2012. Vascular and immune regulation of corpus luteum development, maintenance, and regression in the cow. *Domestic Animal Endocrinology*. 43(2):198-211. ISSN: 18790054.

<https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2012.03.007>

SILVA MAV, Santos CS, Franca IG, Pereira HG, Sa Filho MF, FREITAS BG. 2018a. Hormonal strategy to reduce suckled beef cow handling for timed artificial insemination with sex-sorted semen. *Theriogenology*. 114:159-164. ISSN: 0093-691X.

<https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2018.03.020>



SILVA EP, Wiltbank MC, Machado AB, Gambin LS, Dias MM, Chaiben MFC. 2018b. Optimizing timed AI protocols for Angus beef heifers: Comparison of induction of synchronized ovulation with estradiol cypionate or GnRH. *Theriogenology*. 121:7-12. ISSN: 0093-691X. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2018.07.019>

SIMÕES L MS, Orlandi RE, Massoneto JPM, Scandiuzzi LA Jr, Freitas BG, Bastos MR, Souza JC, Sales JNS. 2018. Exposure to progesterone previous to the protocol of ovulation synchronization increases the follicular diameter and the fertility of suckled *Bos indicus* cows. *Theriogenology*. 116:28-33. ISSN: 0093-691X. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2018.04.031>

SIRARD MA. 2016. Somatic environment and germinal differentiation in antral follicle: The effect of FSH withdrawal and basal LH on oocyte competence acquisition in cattle. *Theriogenology*. 86(1):54-61. ISSN: 0093-691X. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.04.018>

SIROIS J, Fortune JE. 1988. Ovarian Follicular Dynamics during the Estrous Cycle in Heifers Monitored by Real-Time Ultrasonography. *Biology of Reproduction*. 39:308-317. ISSN:00063363. <https://doi.org/10.1095/biolreprod39.2.308>

SMALL JA, Colazo MG, Kastelic JP, Mapletoft RJ. 2009. Effect of progesterone presynchronization and eCG on pregnancy rates to GnRH-based, timed-AI in beef cattle. *Theriogenology*. 71:698-706. ISSN: 0093-691X. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2008.09.045>

SPECKHART SL, Oliveira Filho RV, Franco GA, Vasconcelos JLM, Schrick FN, Edwards JL, Pohler KG. 2022. Short Communication: Influence of estrus activity and reproductive tract size and position scores on fertility in *Bos indicus* and *Bos taurus* suckled beef cows. *Journal of Animal Science*. 100(6):skac141. ISSN 1525-3163. <https://doi.org/10.1093/jas/skac141>

STEGNER JE, Bader JF, Kojima, FN, Eilersieck MR, Smith MF, Petterson DJ. 2004. Fixed-time artificial insemination of postpartum beef cows at 72 or 80 h after treatment with the MGA® Select protocol. *Theriogenology*. 61:1299-1305. ISSN: 0093-691X. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2003.07.023>

STEVENSON JS, Lamb GC, Jhonson MA, Medina-Britos MA, Grieger DM, Harmony, KR. 2003. Supplemental norgestomet, progesterone, or melengestrol acetate increases pregnancy rates in suckled beef cows after timed inseminations. *Journal of Animal Science*. 81:571-586. ISSN: 1525-3163. <https://doi.org/10.2527/2003.813571x>



- THOMAS JM, Locke JWC, Bishop BE, Abel JM, Eilersieck MR, Yelich JV. 2017. Evaluation of the 14- DIP-PG and 9-d DIP-PG protocols for synchronization of estrus in *Bos indicus*-influenced and *Bos taurus* beef heifers. *Theriogenology*. 92:190-196. ISSN: 0093-691X. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2017.01.020>
- THOMAS JM, Poock SE, Eilersieck MR, Smith MF, Patterson DJ. 2014. Delayed insemination for non-estrous heifers and cows when using conventional semen in timed artificial insemination. *Journal of Animal Science*. 92:4189-4197. ISSN: 1525-3163. <https://doi.org/10.2527/jas.2014-7827>
- USLENGHI G, Chaves SG, Cabodevila J, Callejas S. 2014. Effect of estradiol cypionate and amount of progesterone in the intravaginal device on synchronization of estrus, ovulation and on pregnancy rate in beef cows treated with FTAI based protocols. *Animal Reproduction Science*. 145:1-7. ISSN:0378-4320. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2013.12.009>
- USLENGHI G, Vater A, Rodríguez-Aguilar S, Cabodevila J, Callejas S. 2016. Effect of estradiol cypionate and GnRH treatment on plasma estradiol-17 β concentrations, synchronization of ovulation and on pregnancy rates in suckled beef cows treated with FTAI-based protocols. *Reproduction in Domestic Animals*. 51(5):693-699. ISSN: 1439-0531. <https://doi.org/10.1111/rda.12732>
- WEBB R, Garnsworthy PC, Gong JG, Armstrong DG. 2004. Control of follicular growth: Local interactions and nutritional influences^{1,2}. *Journal of Animal Science*. 82:E63-E74. ISSN: 1525-3163. https://doi.org/10.2527/2004.8213_supplE63x
- WENZINGER B, Bleul U, 2012. Effect of a prostaglandin F₂ α analogue on the cyclic corpus luteum during its refractory period in cows. *BMC Veterinary Research*. 14:8:220. ISSN: 1746-6148. <https://doi.org/10.1186/1746-6148-8-220>
- WHITE SS, Kasimanickam RK, Kasimanickam VR. 2016. Fertility after two doses of PGF₂ α concurrently or at 6-hour interval on the day of DIP removal in 5-day CO-Synch progesterone-based synchronization protocols in beef heifers. *Theriogenology*. 86:785-790. ISSN: 0093-691X. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.02.032>
- WHITTIER WD, Currin JF, Schramm H, Holland S. 2013. Fertility in Angus cross beef cows following 5-day CO-Synch+DIP or 7-day CO-Synch estrus synchronization and timed artificial insemination. *Theriogenology*. 80:963-969. ISSN: 0093-691X. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2013.07.019>



WHITTIER WD, Kasimanickam RK, Currin JF, Schramm HH, Vlcek M., 2010. Effect of timing of second prostaglandin F2 α administration in a 5-day, progesterone-based Co-Synch protocol on AI pregnancy rates in beef cows. *Theriogenology*. 74:1002-1009. ISSN: 0093-691X. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2010.04.029>

WILLIAMS GL, Stanko, RL. 2020. Pregnancy rates to fixed-time AI in *Bos indicus*-influenced beef cows using PGF2 α with (Bee Synch I) or without (Bee Synch II) GnRH at the onset of the 5-day Co-Synch+DIP protocol. *Theriogenology*. 142:229-235. ISSN: 0093-691X. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2019.09.047>

WILSON DJ, Mallory, DA, Busch DC, Leitman NR, Haden JK, Schafer DJ. 2010. Comparison of short-term progestin-based protocols to synchronize estrus and ovulation in postpartum beef cows. *Journal of Animal Science*. 88:2045-2054. ISSN: 1525-3163. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2627>

ZWIEFELHOFER EM, Macmillan K, Gobikrushanth M, Adams GP, Yang SX, Anzar M, Asai-Coakwell M, Colazo MG. 2021. Comparison of two intravaginal progesterone-releasing devices in shortened-timed artificial insemination protocols in beef cattle. *Theriogenology*. 1;168:75-82. ISSN: 0093-691X. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2021.03.023>

[Errata Erratum](#)

<https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-veterinario/errata>