



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA SUR

ÁREA DE CONOCIMIENTOS DE CIENCIAS AGROPECUARIAS.



DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CIENCIA ANIMAL Y CONSERVACIÓN DEL

HÁBITAT

**SINCRONIZACIÓN DE LA OVULACIÓN CON CIDR Y GNRH EN VACAS PARA
CARNE EN UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN EXTENSIVO**

POR:

EDUARDO MANRÍQUEZ HIRALES

PEDRO ANTONIO YBARRA LUCERO

DIRECTOR:

DR. JOSÉ LUIS ESPINOZA VILLAVICENCIO

CARRERA:

INGENIERO EN PRODUCCIÓN ANIMAL

La Paz Baja California Sur, noviembre de 2017

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a Dios que hizo los cielos y la tierra, por darme las fuerzas para poder concluir mi carrera y mi trabajo de tesis. También agradezco inmensamente a mis padres Baldemar Ybarra Peña y Juana Lucero Amador por todo el cariño; apoyo económico y moral; y por toda la educación que me han implantado desde pequeño, por todos esos buenos consejos que me dan y que hasta ahorita gracias a ellos soy alguien en la vida como profesionista.

También quiero agradecer a mis compañeros de generación por todos esos buenos y malos momentos que pasamos juntos durante nuestro ciclo escolar, agradezco también al Dr. José Luis Espinoza Villavicencio por su paciencia y apoyo en el transcurso del trabajo de tesis y gracias a cada persona que puso su granito de arena para que todo esto fuera posible.

Gracias Dios por esta oportunidad maravillosa que me diste en la vida que con esfuerzo lo he logrado todo, gracias a ti.

PEDRO ANTONIO YBARRA LUCERO

Agradezco a mis padres Eloy Manríquez Meza y Margarita Hiraes Acevedo, también a mi hermano Erik Antonio Manríquez Hiraes por todo el apoyo que me han brindado a lo largo de mi vida, también en el ámbito escolar, todas sus enseñanzas, motivaciones, consejos que me han servido para alcanzar mis metas y ser un buen profesionista, así como a mi madrina Manuela Rivera Cota por todo su apoyo y disposición, por siempre estar para nosotros, muchas gracias a mi familia.

También quiero agradecer el gran apoyo del Dr. José Luis Espinoza Villavicencio por todas sus enseñanzas y buenos consejos que han contribuido en gran parte para mi formación profesional.

EDUARDO MANRÍQUEZ HIRALES

DEDICATORIA

Todo mi trabajo y esfuerzo se los dedico a mis padres Baldemar Ybarra Peña y Juana Lucero Amador por su voluntad de sacar a su hijo adelante. También dedico este trabajo a Clariza Cobos Ceseña por estar siempre conmigo en las buenas y en las malas, gracias a estas personas he concluido un ciclo de mi vida.

PEDRO ANTONIO YBARRA LUCERO

Todo lo que he logrado se lo dedico a mis padres Eloy Manríquez Meza y Margarita Hiraes Acevedo, a mi hermano Erik Antonio Manríquez Hiraes y a mi madrina Manuela Rivera Cota por siempre apoyarme y estar conmigo. Este logro es también de ustedes que me ayudaron a alcanzarlo, muchas gracias, los quiero mucho. Sin su apoyo esto no hubiera sido posible.

EDUARDO MANRÍQUEZ HIRALES

CONTENIDO

Lista de cuadros	viii
Lista de figuras	ix
INTRODUCCIÓN	1
Hipótesis.....	2
REVISIÓN DE LA LITERATURA	3
Ciclo estral.....	3
Factores que afectan el comportamiento y la expresión del estro.....	5
Control hormonal del ciclo estral.....	7
Factores relacionados con la dinámica folicular en la hembra bovina.....	10
Reclutamiento.....	11
Selección.....	12
Dominancia.....	12
Atresia.....	13
Factores exógenos que controlan el desarrollo folicular.....	14
El uso de tratamientos hormonales para sincronizar el estro.....	15
Prostaglandinas.....	15
Prostaglandina y estradiol o hCG (gonadotropina corionica humana).....	17
Progestágenos.....	18
Progesterona y estradiol.....	20
Hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH).....	22
Nuevos protocolos para la sincronización del estro.....	24
Protocolos cortos con dispositivo vaginal de progesterona y prolongación del	

proestro.....	25
Tratamientos basados en estradiol.....	34
MATERIALES Y MÉTODOS.....	36
Características del área de estudio.....	36
Manejo general de los animales.....	36
Diseño de los tratamientos.....	38
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	42
CONCLUSIONES.....	52
LITERATURA CITADA.....	53

LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro 1 Tasas de estro (TE) y preñez (TP) en animales detectados en celo e IA o sin detección de celo e IATF.....	19
Cuadro 2 Tasa de preñez en vaquillas para carne en buena condición corporal tratadas con el protocolo J-Synch o con el protocolo convencional basado en estradiol.....	33
Cuadro 3 Número de parto (NP), condición corporal (CC) y días en lactación (DL) de las vacas, por tratamiento.....	43

LISTA DE FIGURAS

	Página	
Figura 1	El protocolo J-Synch, consiste en la aplicación de una inyección de benzoato de estradiol (BE) más la aplicación de un CIDR el día 0. Se retira el CIDR y se aplica una inyección de $PGF_{2\alpha}$ el día 6 y 72 ± 2 horas más tarde se aplica una inyección de GnRH acompañada de la IATF.....	30
Figura 2	Protocolo Ovsynch-56. El día 0 se inyectan 100 microgramos de GnRH por vía intramuscular; el día 7 se aplica una dosis intramuscular de $PGF_{2\alpha}$ (20 mg); 56 horas más tarde se aplica una segunda dosis de GnRH y se insemina a tiempo fijo 16 a 20 horas después.....	40
Figura 3	Protocolo Ovsynch-56 + CIDR. El día 0 se inyectan 100 microgramos de GnRH por vía intramuscular y se inserta el dispositivo vaginal (CIDR) que contiene 1.9 g de progesterona; el día 7 se aplica una dosis intramuscular de $PGF_{2\alpha}$ (25 mg) y se retira el CIDR; 56 horas más tarde se aplica una segunda dosis de GnRH y se insemina a tiempo fijo 16 a 20 horas después.....	41
Figura 4	Porcentaje de preñez en vacas para carne tratadas con dos protocolos (Ovsynch vs Ovsynch + CIDR) para la sincronización del estro y ovulación e inseminación artificial a tiempo fijo ($P < 0.05$).....	45

RESUMEN

El trabajo se desarrolló en tres ranchos ganaderos del municipio de La Paz, B.C.S. El objetivo fue comparar la preñez en bovinos para carne tratados con distintos protocolos para sincronizar la ovulación e inseminación artificial a tiempo fijo (IATF). Se usaron 43 vacas multíparas de cruza no definidas entre *B. Taurus* y *B. Índicus*. Los animales se mantuvieron en condiciones de pastoreo en el agostadero. Un grupo (n = 21; Ovsynch-56) fue sometido al tratamiento Ovsynch-56 que consiste en la inyección inicial de 100 µg de GnRH, 7 días después se aplicó una dosis de 25 mg de PGF2α, a las 56 horas posteriores se inyectó otra dosis de 100 µg de GnRH y se practicó la IATF 16 a 20 horas después de esta última. El segundo tratamiento (n = 22; Ovsynch-56 + CIDR) fue igual al primero con la diferencia de que el primer día de tratamiento, junto con la inyección de GnRH, a cada vaca se le insertó un dispositivo vaginal liberador de progesterona que contiene 1.9 g de la hormona señalada (CIDR). Dicho dispositivo se retiró el día 7 cuando se aplicó la PGF2α. El resto del protocolo fue igual a Ovsynch-56. La preñez se diagnosticó mediante palpación rectal entre los 90 y 100 días posteriores a la IATF. La condición corporal, el número de parto y los días en lactación fueron similares entre los grupos (P>0.05). La tasa de preñez fue mayor (P< 0.05) en las vacas del grupo Ovsynch-56 + CIDR (36.3%) que en las del grupo Ovsynch (19.5%). Se concluye que la inclusión de un CIDR en los protocolos para la sincronización de la onda folicular para la IATF en bovinos de carne con el Ovsynch, incrementa las tasas de preñez. Se deben de buscar alternativas para reducir una posible alta frecuencia de vacas en anestro que pudo haber sido la causa principal de las bajas proporciones de vacas preñadas.

INTRODUCCIÓN

La ganadería vacuna en México se inició en 1524 con la llegada de los españoles. La ganadería de carne aumentó lentamente. Inició con las razas españolas que se trajeron durante la conquista y que dieron origen a las distintas variedades de bovinos criollos en México. Este ganado se ha cruzado con animales de razas europeas, destacando algunas como la Charolais, Angus, Hereford, Simmental y diversos biotipos cebuínos como el Indubrasil, Brahman, Guzerat y Gyr. El cruzamiento con razas lecheras como la Holstein y Suizo, ha generado la ganadería de doble propósito en México.

La actividad ganadera en Baja California Sur es de importancia para la sociedad ya que, un gran número de familias sudcalifornianas aún viven de la producción del ganado, aprovechando principalmente su carne. El sistema extensivo de producción se basa en la cría y venta de becerros antes del año de edad (sistema vaca-cría). Por eso, para poder obtener los mayores beneficios del ganado es importante llevar a cabo un manejo eficiente de la alimentación, reproducción, salud y programas eficaces de mejoramiento genético. En general, en Baja California Sur, todos estos aspectos zootécnicos son deficientes. Son eventos que ocurren en cadena de tal manera que las deficiencias nutricionales conducen a problemas de salud y fallas reproductivas. La suma de todos esos factores determina que el progreso genético que se logra con los programas de mejoramiento, sea escaso. Una alternativa para un avance genético más rápido en el ganado bovino puede ser la inseminación artificial (IA). Sin embargo, bajo las condiciones de manejo extensivo los resultados son desalentadores. Una opción puede ser el uso de programas de sincronización del estro y la ovulación para

realizar la inseminación artificial a tiempo fijo (IATF), sin la necesidad de detectar los estros.

Existen distintos protocolos para el control del ciclo estral en vacas. Se basan en el uso de prostaglandina F2-alfa (PGF2 α); progestágenos, aplicados por distintas vías como la oral, intramuscular, subcutánea e intravaginal (CIDR); la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH); sales de estradiol; y las combinaciones de los cuatro grupos de hormonas. En los últimos años se han propuesto varios tratamientos hormonales para sincronizar el estro y la ovulación en bovinos para carne con el fin de poder realizar la IATF. Con base en lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar algunos protocolos para la sincronización del estro y ovulación que pudieran ser utilizados para la IATF del ganado bovino para carne manejado en condiciones extensivas.

Hipótesis

Se espera una mayores tasas de preñez cuando se inseminan a tiempo fijo las vacas tratadas con un protocolo que incluye GnRH + CIDR + PGF2 α , comparado con el Ovsynch clásico que solo considera el uso de GnRH + PGF2 α .

REVISIÓN DE LITERATURA

La IA puede definirse como la biotecnología para la aplicación de semen en el tracto genital de una hembra en el momento oportuno para la fecundación (Giraldo, 2007).

Según Hansen y Block (2004), el uso extendido de la IA ha permitido a la industria bovina adquirir avances espectaculares en el mérito genético del ganado para la producción animal. Mientras otros autores como Foote et al. (1956) y Watson (1990), afirman que la IA ha sido de un enorme beneficio económico en el mejoramiento en la producción de leche y carne, como mecanismo para dispersar genes; en el control de enfermedades venéreas y otras enfermedades; y en la reducción de la frecuencia de genes letales.

Ciclo estral

El ciclo estral en las vacas es el lapso comprendido entre dos periodos de estro consecutivos y tiene una duración normal de 18 a 24 días, con un promedio de 21 días. Está conformado por cuatro fases continuas: proestro, estro, metaestro y diestro. Durante estas fases suceden una serie de cambios en las estructuras ováricas y concentraciones de hormonas, que interactúan para que la vaca pueda estar ciclando (Saumande, 2005).

Proestro. La actividad ovárica durante el proestro es iniciada por la lisis del cuerpo lúteo (CL) del ciclo estral anterior. Los niveles de progesterona son bajos y simultáneamente se lleva a cabo el crecimiento de un folículo preovulatorio. Este folículo dominante se diferencia de los demás folículos (atrésicos) en que es influenciado por las hormonas folículo estimulante (FSH) y luteinizante (LH),

incrementando así la síntesis de estrógenos (Saumande, 2005).

Estro. Es el único momento en el que una vaca o vaquilla es receptiva al macho y permite ser montada, ya sea por el toro o por otras vacas. La expresión del comportamiento de estro es el resultado de un incremento progresivo de los niveles de 17β -estradiol producido por un folículo dominante. La producción continua de estrógenos por el folículo en desarrollo genera un pico en la liberación de LH por la glándula hipófisis lo cual estimula la máxima producción de estrógenos por el folículo. Estos niveles elevados de estrógenos son los responsables del comportamiento y signos propios del celo, aumentando las contracciones del tracto reproductor femenino para facilitar el encuentro entre el óvulo y el espermatozoide. También, estimulan la cantidad y tipo de fluidos (moco) que se producen en los oviductos, útero, cérvix y vagina. Durante el proestro y el estro la sincronía de los eventos endocrinos permite que el crecimiento folicular llegue a su punto más alto, para luego ocurrir la ovulación (Goehring, 2003).

En promedio, el periodo monta estática durante el estro dura de 15 a 18 horas, aunque existen variaciones muy amplias; algunos animales muestran este comportamiento durante 8 hasta 30 horas, dependiendo de varios factores (Nebel et al., 2000).

Metaestro. El periodo de 3 a 4 días siguientes al estro se conoce como metaestro, y está condicionado por una serie de eventos endocrinos que controlan la dinámica del ovario durante ese tiempo. El pico de LH y FSH que se presenta durante el estro, promueve la ovulación alrededor de 30 horas después de haber comenzado la monta estática, o aproximadamente entre 10 y 14 horas de haber finalizado el estro. Las células de la teca y de la granulosa sensibilizan el folículo

colapsado a la acción de la LH para que comience la formación del CL que va a producir progesterona. Esta hormona es la responsable de la preparación del útero para la preñez y de la inhibición de la presentación de un nuevo ciclo. Entre 1 y 3 días después de la presentación del estro, puede aparecer una descarga vaginal mucosanguinolenta en algunas vacas y la mayoría de las vaquillas.

Diestro. Es la fase más prolongada del ciclo estral y está dirigida por la acción de la progesterona y la presencia del CL. La LH que indujo la ovulación es también responsable de una serie de cambios en las células de la granulosa para dar lugar a la formación del CL. Dicha estructura alcanza el diámetro máximo alrededor de los 8 a 10 días después de la ovulación. La progesterona en la sangre se incrementa de forma paralela al crecimiento del CL, hasta alcanzar los máximos niveles alrededor del día 10 y se mantiene elevada hasta el día 16 o 18 del ciclo. Los días 16 a 18 del ciclo estral son críticos para el mantenimiento de la función del CL y los niveles de progesterona elevados. Si la vaca no está gestante, el CL será inactivado y destruido por la liberación de $\text{PGF}_{2\alpha}$ producida en el útero. Esta hormona es transportada directamente al CL donde interfiere con la síntesis de progesterona, disminuyendo los niveles sanguíneos de esta última, lo cual permite que la FSH estimule el crecimiento de una nueva onda folicular 3 a 4 días después.

Factores que afectan el comportamiento y la expresión del estro

Los factores que afectan el comportamiento y la expresión del estro en las vacas son de tipo ambiental, sanitario, nutricional y social (etología del hato). Las actividades de monta así como los demás comportamientos de tipo sexual se

deprimen en animales que han perdido peso desde el parto y que tienen una condición corporal baja. Se ha demostrado (Butler y Smith, 1989) que algunas vacas o en muchos casos, hatos enteros entran en verdaderos periodos de anestro, debido principalmente a deficiencias de energía o minerales (Pennington, 2006). Entre las principales causas de anestro se incluye la baja condición corporal, infecciones uterinas, quistes ováricos y parasitismo crónico. Otro aspecto que se debe tener en cuenta es el número de animales que estén presentando el celo de manera simultánea, situación común en algunos hatos que se manejan con programas de partos estacionales, lotes de vaquillas o con la implementación de programas de sincronización de estros. Es más fácil evidenciar los celos cuando más de dos animales están en estro, ya que la frecuencia y cantidad de montas se incrementa (Hurnick et al., 1975).

Se ha demostrado (Hansen, 2005) que cuando la temperatura ambiente oscila alrededor de 23°C, la actividad de monta también se incrementa; sin embargo, cuando las temperaturas superaron los 30°C, límite máximo de confort de las vacas, las montas son menos frecuentes; las vacas exhiben mayor actividad de monta en la temporada fría comparada con la época más cálida; sin embargo, durante la temporada caliente las vacas que presentaron celo mostraron más los signos secundarios.

Estudios realizados en diversas latitudes han confirmado que existe una fuerte tendencia a mostrar el celo durante las primeras horas de la mañana y en las últimas del atardecer e incluso durante la noche. En uno de esos estudios realizado en Canadá (Hurnick et al., 1975) las vacas fueron monitoreadas durante las 24 horas del día con videocámaras, encontrando que cerca del 70% de las

montas sucedieron entre las 19:00 y las 07:00 horas.

Control hormonal del ciclo estral

En hembras rumiantes domésticas el eje hipotálamo-pituitario-ovárico controla la actividad reproductiva, regulando la interacción entre los mecanismos endocrinos y paracrinos, que a su vez involucran factores de crecimiento y otras sustancias, producidas localmente en los ovarios (Hunter et al., 2004). Algunos factores ambientales, como el fotoperiodo, la nutrición y la condición corporal, también influyen en la actividad reproductiva en animales domésticos (Zarazaga et al., 2011).

Hormonas gonadotrópicas. Las gonadotropinas pertenecen a una familia de hormonas dimericas glicoproteicas, que comparten características estructurales, entre estas se encuentran la FSH y LH.

En bovinos, el crecimiento de los folículos hasta 4 mm de diámetro no parece requerir soporte gonadotrópico agudo (Hunter et al., 2004), por lo que se consideran relativamente independientes de las gonadotropinas hasta esta etapa.

En los estadios antrales, la FSH es necesaria para el crecimiento folicular, ya que promueve la proliferación de las células de la granulosa (Salvetti et al., 2010), desarrollando los folículos de 4 mm a 9 mm en las hembras bovinas (Fortune, 2003). El pico de FSH plasmático está asociado con el día del surgimiento de la onda folicular (Quirk et al., 2008), cuando dicha concentración incrementa de 1.5 a 2 veces la concentración basal. Dicho pico se presenta aproximadamente de 12 a 24 horas antes de la emergencia de la onda (Butler et al., 2008).

Dos días después del surgimiento de la onda folicular, decrece la

concentración sanguínea de FSH (Peter et al., 2009). Cuando el folículo dominante adquiere un diámetro de 8 a 10 mm en vacas (Hunter et al., 2004) expresa receptores de LH en las células de la granulosa y de la teca; y además, inicia la producción de inhibina y estradiol entre otros factores intrafoliculares (Forde et al., 2011); es en este momento cuando se transfiere la dependencia gonadotrópica del folículo de la FSH a la LH (Webb y Armstrong, 1998).

El patrón de secreción de la LH tiene tres características que se evidencian durante el ciclo estral. Dichas características son concentración, amplitud y frecuencia, las cuales varían durante el ciclo (Forde et al., 2011) ya que son dependientes de las concentraciones circulantes de progesterona y estradiol (Duggavathi et al., 2005). Las altas concentraciones de progesterona producidas por un CL funcional suprimen la frecuencia de los pulsos de LH (Uribe-Velásquez et al., 2011), mientras que la presencia de altas concentraciones de estradiol induce la liberación de hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH) desde el hipotálamo, lo que resulta en un pico de LH (Forde et al., 2011), de amplitud y frecuencia suficiente para estimular la maduración final del folículo dominante y la posterior ovulación (Webb y Armstrong, 1998). El fenómeno de la ovulación es altamente variable entre razas y se presenta, aproximadamente, después del pico de LH a las 26 a 28 horas en vacas (Sartori y Barros, 2011).

La frecuencia de los pulsos de la LH disminuye ante una alta concentración plasmática de progesterona durante la fase folicular, ya sea exógena o endógena (Uribe-Velásquez et al., 2011).

Hormonas esteroideas. El estradiol y la progesterona son hormonas esteroideas derivadas de un precursor común, el colesterol; el cual, en los

folículos mayores, es catalizado y convertido a pregnenolona. La pregnenolona posee dos residuos hidrofílicos, haciéndola más móvil a través de la célula que el colesterol. Lo anterior permite que la pregnenolona se difunda fuera de la mitocondria hacia el retículo endoplasmático, donde es convertida a progesterona (Díaz et al., 2002). La unión de la LH con sus receptores en las células de la teca conduce a la conversión de la progesterona a andrógenos (Svechnikov y Söder, 2008). Luego, los andrógenos se difunden a las células de la granulosa y son convertidos a estrona y estradiol (Young y McNeilly, 2010). El aumento en la concentración periférica del estradiol es la característica principal del estro, la porción final de la fase folicular (Peter et al., 2009). El estradiol no solo tiene una acción local en los folículos ováricos, al favorecer el crecimiento de las células de la granulosa, sino que también induce los cambios que se presentan en el tracto genital para facilitar el transporte espermático, la fertilización y la futura implantación del embrión (Fatet et al., 2011). La secreción de sialomucina y sulfomucina, por parte de las células mucosas del cérvix, es estimulada por el estradiol, tornándola más líquida, de modo que sea fácilmente cruzada por los espermatozoides (Roelofs et al., 2010). Así mismo, el estradiol favorece la expresión de receptores para progesterona a nivel del ampulla y el istmo uterino (Valle et al., 2007). Además, ejerce un sistema de retroalimentación positivo sobre el eje hipotálamo-hipofisario, influyendo sobre la secreción de gonadotropinas, siendo responsable de la expresión del comportamiento estral.

Después de la ovulación, da inicio la fase lútea, el periodo más largo, ya que comprende aproximadamente el 80% del ciclo estral (Peter et al., 2009). En esta fase disminuye la concentración plasmática de estradiol.

La progesterona tiene como blanco, principalmente, el eje hipotálamo-hipofisiario y el tracto reproductivo (Mann, 2009). En los tejidos ováricos se han reportado que contribuye con la angiogénesis folicular esencial para el desarrollo del folículo preovulatorio (Morris y Diskin, 2008). En el útero, induce la quietud del miometrio, bloqueando el efecto inductor de receptores α -adrenérgicos del estradiol, cuya estimulación causa contracciones (Lüttgenau et al., 2011). La progesterona también promueve la proliferación de las células del endometrio para soportar la implantación del embrión y el desarrollo a término del feto. Este último, al elongarse, secreta interferón-tau (IFNt), lo que impide la expresión de receptores de estradiol y oxitócina, y por lo tanto, interfiere con los pulsos endometriales de $\text{PGF2}\alpha$, responsable de desencadenar la luteólisis (Spencer et al., 2004).

Factores relacionados con la dinámica folicular en la hembra bovina

Gracias al uso de la ultrasonografía como herramienta efectiva para realizar el seguimiento y la evaluación de las estructuras a nivel ovárico (Rajakoski, 1960), diversos investigadores han confirmado la presencia de ondas y patrones de crecimiento folicular en el ovario (Montaño y Ruiz, 2005). Una onda de desarrollo folicular podría definirse como el desarrollo armónico y simultáneo de varios folículos ováricos antrales pequeños, de los cuales, debido a mecanismos moleculares, se seleccionará el folículo ovulatorio (Grajales et al., 2011).

Se ha verificado que en cada ciclo estral el número de ondas de crecimiento folicular varía de una a seis, presentándose en la mayoría de las vacas dos a tres ondas (Henao y Trujillo, 2000). En un ciclo con dos de estas ondas, la maduración

del segundo folículo dominante coincide con la regresión del cuerpo lúteo y culmina con la ovulación (Fortune, 2001). Cuando se presentan más de tres ondas de crecimiento folicular, se evidencia un ciclo estral de mayor duración (Tovío et al., 2008).

Durante el crecimiento de una onda folicular se podrían describir claramente cuatro fases: reclutamiento, selección, dominancia y atresia.

Reclutamiento

Durante el ciclo estral un grupo de tres a seis folículos (de 2 a 5 mm) comienzan a desarrollarse a partir de un conjunto de folículos antrales pequeños que empiezan a madurar bajo un aporte adecuado de gonadotropinas, especialmente por un aumento en la concentración de FSH, que les permite avanzar en su desarrollo (Palma, 2008). Los niveles circulantes de FSH antes del reclutamiento de un grupo de folículos aumentan transitoriamente (Grajales et al., 2011).

Existe un claro patrón durante el crecimiento de la primera onda folicular; los folículos reclutados responden al incremento transitorio de FSH aumentando su crecimiento y la síntesis de estradiol, así como una elevación en la producción de inhibinas de alto peso molecular y activina (Austin et al., 2001).

Se ha reportado que entre los folículos reclutados en cada onda folicular se establece una competencia por la dominancia, por lo cual solamente un folículo del conjunto adquiere un desarrollo funcional y estructural, lo que le permite seguir su crecimiento en un ambiente bajo en concentraciones de gonadotropinas, al tiempo que los otros folículos en desarrollo sufren atresia (Montaño y Ruiz, 2005).

Selección

Durante los días 2, 3 y 4 del ciclo estral, por medio de ultrasonografía se detectan uno o varios folículos (provenientes de la etapa de reclutamiento) con un tamaño promedio de 6 a 9 mm, con lo cual comienza a ejercerse la fase de selección (Ávila et al., 2005). A medida que los folículos maduran, comienzan a depender de la LH, lo cual puede ser parte del mecanismo de selección del folículo dominante (Fortune et al., 2001).

La selección se relaciona con la interferencia del folículo más grande sobre la capacidad de los folículos más pequeños de recibir un adecuado soporte gonadotrópico. Esto podría ser llevado a cabo mediante dos vías. Por la vía pasiva, el folículo mayor inhibe indirectamente el crecimiento de los folículos menos maduros; esto lo hace reduciendo las concentraciones de FSH por debajo del umbral necesario para mantener a los otros folículos. Por la vía activa, el folículo mayor secreta inhibina impidiendo de esta manera, directamente, el crecimiento de los folículos más pequeños (Recabarren et al., 2003).

Dominancia

La fase de dominancia es el proceso por el cual el folículo seleccionado ejerce un efecto inhibitorio sobre el reclutamiento de una nueva oleada de folículos. Para el establecimiento de esta dominancia es necesario que ocurra la divergencia o desviación; esta corresponde al momento en el cual el folículo dominante y el subordinado crecen a una tasa diferente, antes de que el subordinado manifieste atresia (Montaño y Ruiz, 2005). Durante esta etapa llegan al folículo dominante estímulos hormonales que contribuyen para el aumento de su

irrigación sanguínea. La maduración de este folículo se relaciona con la síntesis de receptores para FSH y LH (principalmente de receptores para la hormona LH), así como la elaboración de proteínas y enzimas aromatasas necesarias para la síntesis y secreción de andrógenos y progestágenos (Axel et al., 2002).

El folículo dominante alcanza un tamaño mayor que los demás (diámetro mayor de 10 mm) y es responsable de la secreción de estradiol (Belkys et al., 2005).

La respuesta diferencial a la FSH es fundamental en la selección del folículo dominante, y por tanto las acciones intrafoliculares de factores de crecimiento ováricos inducidos por la FSH desempeñan un papel importante en la modulación de la respuesta del conjunto folicular a las gonadotropinas. Aumentos en las cantidades intrafoliculares de proteínas pertenecientes a la familia inhibina y al factor de crecimiento insulínico (IGF) podrían ser marcadores predictivos de la sobrevivencia folicular durante la caída de la FSH (Mihm et al., 2000), en donde las inhibinas que abundan en el fluido folicular ejercen la acción supresora de esta gonadotropina (Knighy y Glister, 2001).

Atresia

La gran mayoría de los folículos presentes al nacimiento se degeneran a través del proceso conocido como atresia (Huanca, 2001). La fase de atresia consiste en la desaparición de los folículos que no son seleccionados como dominantes, o del folículo dominante, el cual no llega a ser ovulatorio, cuando la lisis del CL no coincide con la dominancia folicular (Braw-Tal y Roth, 2005). Se debe aclarar que la atresia se presenta en cualquier estadio del desarrollo

folicular, aunque es más frecuente en folículos antrales, y su incidencia está directamente relacionada con el tamaño de los folículos; los más grandes presentan un índice proliferativo mayor, que hace a sus células más susceptibles a la muerte por apoptosis y, por tanto, a la atresia (Ranferi et al., 2010).

Cuando los folículos sufren atresia, cesa la síntesis de estradiol y las concentraciones de progesterona intrafolicular aumentan. Igualmente durante este proceso se destacan algunos cambios morfológicos e histológicos, como son: núcleos picnóticos y fragmentación nuclear en las células de la granulosa; desprendimiento de las células de la granulosa por la pérdida de la matriz intercelular; desprendimiento del complejo cumulus-ovocito, y en algunos casos hipertrofia de las células de la teca (Sharma, 2000).

Además, ocurre la pérdida de uniones comunicantes, pérdida de receptores para gonadotropinas (Ranferi et al., 2010), así como la disminución en la síntesis y expresión del ARN mensajero para aromatasas.

Factores exógenos que controlan el desarrollo folicular

Existen factores que, aunque son independientes de la función ovárica, pueden llegar a alterar de manera directa su funcionamiento normal. La nutrición desempeña un papel importante en la reproducción. Se establece que el 80% de las vacas en lactancias tempranas tienen un balance de energía negativo; pierden peso, disminuyen la producción láctea y deprimen la función reproductiva.

Las vacas con estrés nutricional severo fallan en la ovulación del primer folículo dominante, posiblemente debido a que la frecuencia de pulsos de LH es insuficiente para estimular la secreción de estrógenos por parte del folículo

dominante e inducir el pico preovulatorio de LH.

En vaquillas de carne, se evidencia que la restricción nutricional aguda actúa tanto a nivel ovárico como del eje hipotalámico-hipofisiario, disminuyendo la tasa de crecimiento del folículo dominante, que parece estar suprimida por la declinación en la concentración de IGF.

El uso de tratamientos hormonales para sincronizar el estro

La administración de $\text{PGF}_{2\alpha}$ es el método más común para la sincronización de celos. En los últimos años se han desarrollado muchos protocolos para minimizar la necesidad de la detección de celos. El uso de progestágenos ha sido usado para extender la fase lútea, resultando en mayor cantidad de animales detectados en estro en un periodo más corto pero con menor fertilidad. Más recientemente el uso de la GnRH y estradiol han sido incorporados a los tratamientos con progestágenos, resultando en porcentajes de preñez aceptables. Estas combinaciones hormonales que aseguran concentraciones circulantes elevadas de progesterona y sincronizan tanto la emergencia de una nueva onda de folículos ováricos como la ovulación, son los denominados protocolos para la IATF.

Prostaglandinas

A pesar de que la $\text{PGF}_{2\alpha}$ ha sido de los tratamientos más utilizados para la sincronización de celo en bovinos (Larson y Ball, 1992), tiene algunas limitaciones importantes. Los animales deben estar ciclando y en un estadio apropiado de su ciclo estral. La $\text{PGF}_{2\alpha}$ no es efectiva para la inducción de la luteólisis hasta unos 5

ó 6 días después del celo y si el tratamiento se administra cuando el ciclo estral está avanzado, puede que la luteólisis ya haya comenzado por la acción de la PGF2 α endógena (Seguin, 1987). Cuando se induce la luteólisis con un tratamiento de PGF2 α , el comienzo del estro se distribuye en un periodo de 6 días (Seguin, 1987). Esta variación se debe al estado del desarrollo folicular al momento del tratamiento (Kastelic et al., 1990).

En función de los conocimientos de la respuesta lútea a la PGF2 α , se diseñaron diferentes protocolos para agrupar o sincronizar los celos. Uno de los primeros protocolos utilizados fue el tratamiento con dos dosis de PGF2 α , con un intervalo de 10 a 11 días entre una y otra. Teóricamente, todos los bovinos deberían tener un CL que responda a la PGF2 α de la segunda inyección y la manifestación de celos se agruparía en un periodo de 3 a 5 días (Seguin, 1987). Sin embargo, se registró una tasa de concepción más elevada con un intervalo de 14 días entre inyecciones (Folman et al., 1990) porque es más probable encontrar un folículo dominante en ese momento. Además, existe evidencia de que los bovinos inyectados con PGF2 α en diestro avanzado tienen una respuesta de celo mayor y tasas de concepción más elevadas que los animales inyectados durante el diestro temprano o medio (Diskin et al., 2002).

Aunque este tipo de protocolos (dos inyecciones de PGF2 α) reducirían el tiempo dedicado a la detección de celos, también podrían reducir la tasa de concepción, especialmente en esos animales que presentan celo después de la primera inyección con PGF2 α (Xu et al., 1997). Por lo tanto, se recomienda inseminar a todos aquellos animales que presenten celo después del primer tratamiento con PGF2 α y tratar con la segunda dosis de PGF2 α , solamente a los

animales que no presentaron celo con la primera.

Otro método consiste en detectar celo e inseminar a los animales durante 5 días, tratar con PGF2 α a aquellos animales no detectados en celo y continuar con la detección de celos e IA por 5 - 6 días más. Aunque este método incrementaría el tiempo utilizado en la detección de celos, tendría varias ventajas. La primera es que permite monitorear la actividad sexual del hato antes de la administración de PGF2 α . Segundo, permite un uso más efectivo de la PGF2 α porque se evita tratar animales que estarían en el comienzo o final del ciclo estral.

El tercer método es el que combina palpación rectal de las estructuras ováricas y el tratamiento con PGF2 α a aquellos animales que presentan un CL funcional. Aunque este método, como el anterior, permitiría un uso más efectivo de la PGF2 α , los resultados han sido variables, particularmente debido a la gran variación entre profesionales en determinar la presencia de un CL funcional (Kelton et al., 1991). La fertilidad del celo inducido al administrar un análogo sintético de la PGF2 α en vaquillas lecheras con CL palpable ha sido similar al logrado con un celo natural (Leaver et al., 1975) y esto ha sido confirmado en vacas (Cairoli et al., 2006).

Prostaglandina y estradiol o hCG (gonadotropina corionica humana)

La búsqueda de una distribución más sincrónica del estro después del tratamiento con PGF2 α ha llevado a los investigadores a combinarla con diferentes hormonas. En un trabajo desarrollado por Lopez-Gatius (2000), se sincronizaron 636 vaquillas lecheras con un CL palpable; se usaron dos dosis de PGF2 α separadas 11 días y otras 637 fueron tratadas con una dosis de PGF2 α y

12 horas más tarde con 250 UI de hCG y 1 mg de benzoato de estradiol (BE). Las vaquillas fueron inseminadas a las 72 y 96 horas después de la segundadosis de PGF2 α (primer grupo) o a las 36 horas después del tratamiento con hCG/BE (segundo grupo). El porcentaje de preñez fue más alto en el grupo de vaquillas tratadas con hCG/BE que en el grupo que recibió dos dosis de PGF2 α (60% vs 45%).

En otro estudio se investigó el uso de 17 β -estradiol (E-17 β) en combinación con dos dosis de PGF2 α . Vaquillas (n = 401) con un CL (determinado por ecografía) recibieron PGF2 α en los días 0 (comienzo del experimento) y 14. En el día 7, las vaquillas recibieron 1.5 mg de E-17 β y 50 mg de progesterona o ningún tratamiento y en el día 15, 1 mg E-17 β o ningún tratamiento. Las vaquillas que recibieron E-17 β en el día 15 fueron IATF 52 horas después de la segunda PGF2 α . Las vaquillas que no recibieron tratamiento en el día 15 fueron observadas por 3 días y aquellas en celo fueron inseminadas. En el día 18, las que no fueron detectadas en celo recibieron GnRH y se inseminaron. Las tasas de celo y preñez en los diferentes grupos están presentadas en el Cuadro 1.

Aunque los porcentajes de preñez reportados en los trabajos descritos arriba son altamente aceptables, la efectividad de ambos protocolos dependerá de la proporción de animales que hayan iniciado la actividad ovárica al comienzo del tratamiento.

Progestágenos

Los progestágenos alteran la función ovárica suprimiendo el estro y evitando la ovulación. La progesterona reduce la frecuencia de los pulsos de LH

Cuadro 1. Tasas de estro (TE) y preñez (TP) en animales detectados en celo e IA o sin detección de celo e IATF.

Tratamiento	Control (ST)	ST/E-17 β	E-17 β /ST	E-17 β /E-17 β
No. Vaquillas	100	100	100	101
TE (%)	16 ^a	SD	45 ^b	SD
TP (en celo; %)	50	--	60	--
TP General (%)	52 ^c	39 ^d	49 ^{cd}	49 ^{cd}

^{ab} (P<0.05); ^{cd} (P=0.065); ST = Sin tratamiento; SD = Sin determinar. (Tomado de Colazo et al., 2007)

(Savio et al., 1993), lo cual a su vez suprime el crecimiento del folículo dominante, según la dosis.

Es importante destacar que la progesterona no suprime la secreción de FSH (Bleach et al., 2004), por lo tanto, las ondas foliculares siguen emergiendo en presencia de un CL funcional. A pesar de que los progestágenos sean administradas por periodos mayores a la vida del CL (es decir, >14 días) resultan en un celo sincrónico al retirarlos, la fertilidad en el próximo celo es baja (Larson y Ball, 1992). Debido a que los tipos y dosis de progestágenos utilizadas para controlar el ciclo estral en bovinos suelen ser menos eficaces que la progesterona endógena en la supresión de secreción de LH, la alta frecuencia de pulsos de LH resulta en el desarrollo de folículos persistentes que contienen ovocitos envejecidos que llevan a una baja fertilidad (Savio et al., 1993). El dispositivo CIDR (con 1.9 g de progesterona) ha sido aprobado en varios países para la sincronización de celo en vaquillas (Mapletoft et al., 2003). Las instrucciones recomendadas en la etiqueta (para IA) establecen que el CIDR debería permanecer en la vagina durante 7 días. La PGF2 α se administra 24 horas antes de la remoción del CIDR y la detección de celo comienza 48 horas más tarde. Después de un breve período de tratamiento (7 días), el problema de los folículos persistentes se reduce. Los CIDR pueden ser utilizados en diferentes tratamientos para sincronizar el desarrollo folicular y la ovulación (Mapletoft et al., 2003).

Progesterona y estradiol

Antes del advenimiento de la PGF2 α , el estradiol se administraba (cerca del comienzo de un tratamiento con progestágenos de corta duración) para inducir la liberación endógena de PGF2 α y la luteólisis (Odde, 1990). La probabilidad del desarrollo de un folículo persistente se redujo y a pesar de que las tasas de preñez variaron ampliamente (33 a 68%), los resultados han sido en general aceptables. Generalmente estos tratamientos resultan en preñeces en bovinos prepúberes o en anestro posparto, especialmente si están cercanos a iniciar la ciclicidad en forma espontánea (Odde, 1990). Las bajas tasas de preñez se atribuyeron generalmente a la mala condición corporal o a los intervalos posparto (Whittier, 1998).

Otro beneficio del estradiol en protocolos breves con progestágenos es la regresión folicular, seguida de la emergencia de una nueva onda folicular (Bo et al., 1995). El mecanismo incluye la supresión de las concentraciones circulantes de FSH. El tratamiento con un estradiol de acción corta (estradiol -17 β) en vacas tratadas con progestágenos es seguido de la emergencia de una nueva onda 3 a 5 días más tarde, sin importar el estadio del ciclo estral al momento del tratamiento (Bo et al., 1995). El estradiol-17 β o el BE (Caccia y Bo, 1998) son inyectados normalmente (junto con 50 a 100 mg de progesterona) al momento de la inserción de un CIDR (Mapletoft et al., 2003). A pesar de que originalmente se recomendaba una inyección de progesterona para evitar una liberación de LH inducida por estrógeno en bovinos sin un CL, estudios más recientes han demostrado que el tratamiento con estradiol solo en bovinos tratados con CIDR resultó en tasas de preñez que no difirieron significativamente del tratamiento con estradiol y progesterona (Colazo et al., 2003). En programas de sincronización de

celo, una dosis más baja (generalmente 1 mg) de estradiol se administra 24 horas después de la remoción de la progestágenos. Esto sincroniza un pico de LH (aproximadamente 16 a 18 horas después del tratamiento) y la ovulación 24-32 horas después del pico de LH, aproximadamente (Martinez et al., 2005). La IATF suele realizarse unas 30-34 horas después del segundo tratamiento con estradiol (Mapletoft et al., 2003). A pesar de que algunos bovinos muestran celo dentro de las 12 horas después del tratamiento con estradiol, no hay motivos para inseminar a esos animales antes de la IATF planeada. Otros trabajos de investigación estudiaron el efecto de otros esteres de estradiol sobre la dinámica folicular y la ovulación (Cairolí et al., 2006). En esos estudios quedó demostrado que tanto el cipionato de estradiol (CPE) como el valerato de estradiol (VE) en dosis bajas de 0.5 o 1 mg, combinados con progestágenos, podrían ser eficazmente utilizados en protocolos de IATF en vaquillas productoras de carne como de leche.

Hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH)

La GnRH sintética estuvo disponible en la década de 1970 como tratamiento para quistes foliculares (Drost y Thatcher, 1992). En bovinos con un folículo dominante en crecimiento (al menos 10 mm en diámetro), el tratamiento con GnRH induce la ovulación con la emergencia de una nueva onda folicular aproximadamente 2 días después del tratamiento (Martinez et al., 1999). El tratamiento con PGF2 α 6 días (46) o 7 días (Pursley et al., 1995) después de la GnRH resulta en la ovulación del nuevo folículo dominante, especialmente cuando se administra una segunda inyección de GnRH 36-48 horas después de la PGF2 α (Wiltbank, 1997).

Pursley et al. (1995) desarrollaron un esquema de sincronización de ovulación con GnRH para IATF (Ovsynch). La primera inyección de GnRH es seguida de una inyección de PGF2 α 7 días más tarde y una segunda inyección de GnRH a las 48 horas posteriores. El protocolo Ovsynch ha sido más eficaz en vacas lecheras en lactancia que en vaquillas (Martinez et al., 2000). A pesar de que se desconoce la causa de esta discrepancia, la ovulación luego de la primera inyección de GnRH ocurrió en el 85% de las vacas pero sólo en el 54% de las vaquillas (Pursley et al., 1995). Además, 19-20% de las vaquillas mostraron estro antes de la inyección de PGF2 α , lo cual redujo la fertilidad a la IATF (Colazo et al., 2004). El tratamiento con GnRH provoca la ovulación del folículo dominante sólo en el 56% de las vaquillas y por lo tanto, no induce de manera uniforme la emergencia de una nueva onda folicular (Martinez et al., 1999). Esto resulta en bajas tasas de preñez en vaquillas luego de la IATF (Martinez et al., 1999). Se ha demostrado que el estadio del ciclo estral al momento de inicio del programa Ovsynch afecta la tasa de preñez. Thatcher et al. (2000) reportan que los animales en los que se inició un programa Ovsynch entre los días 1 y 4 o los días 13 y 17 del ciclo tuvieron tasas de preñez más bajas que los que se iniciaron en otros momentos (20 vs 50%, respectivamente). Cuando se comienza el programa Ovsynch durante el metaestro, puede que el folículo dominante no responda al tratamiento inicial con GnRH y comience a sufrir atresia al momento en que se inyecta la PGF2 α . Los días 13 a 17, el folículo dominante de la segunda onda puede no ovular en respuesta al primer tratamiento con GnRH y ante la ausencia de ovulación, la PGF2 α endógena podría causar luteólisis y ovulación temprana del folículo dominante (en relación a la IATF) causando por lo tanto infertilidad.

Se realizaron muchos experimentos para investigar modificaciones a protocolos de IATF con base en GnRH en vaquillas. En un experimento (Martinez et al., 2002), la presencia de un CIDR entre la primera inyección de GnRH y la inyección de PGF2 α superó el problema de las bajas tasas de preñez.

El uso de un CIDR en un programa de 7 días tipo Ovsynch mejoró las tasas de preñez de 39% en animales control tratados con GnRH a 68% en vaquillas tratadas con GnRH/CIDR. En conclusión, el uso de CIDR en los regímenes Cosynch u Ovsynch mejoró las tasas de preñez en vaquillas.

La presincronización del estro redujo la proporción de vaquillas en celo antes de la IATF, lo cual sugiere que este enfoque podría ser útil en la aplicación exitosa de programas Ovsynch o Cosynch. A pesar de que el diámetro del folículo preovulatorio tendió a afectar de manera positiva a la tasa de preñez, sin importar el tratamiento, la tasa de preñez a la IATF no se vio afectada por la presincronización; sin embargo, esta alternativa no mejora la preñez si se combina Ovsynch con el uso de CIDR (Lamb et al., 2006). El porcentaje de preñez en vaquillas tratadas con Ovsynch/CIDR e IATF fue 53%, mientras que en aquellas tratadas con Ovsynch/CIDR y detectadas en celo e IA fue entre 43 y 57%, respectivamente.

Nuevos protocolos para la sincronización del estro

En los últimos años fue muy investigada la inclusión de progesterona mediante CIDR cuando es colocado en la vagina de las vacas (Bridges et al., 2008). Al comparar las tasas de concepción entre protocolos, con o sin una fuente exógena de progesterona, es evidente que la fertilidad se mejoró cuando se aplicó

el dispositivo en un protocolo Cosynch-7 días + CIDR. Además, las tasas de preñez de vacas anéstricas sincronizadas con el CIDR fueron similares a las de vacas ciclando (Busch et al., 2007). Sin embargo, los folículos que no logran ovular con la primera inyección de GnRH en el protocolo Cosynch-7 días + CIDR (Larson et al., 2006), pueden persistir durante los 7 días que permanece el CIDR en la vagina, reduciendo la fertilidad en el programa de IATF. La fase de proestro en el protocolo Cosynch-7 días + CIDR se puede definir como el intervalo desde la administración de PGF2 α , a la segunda inyección de GnRH, el cual puede tener una duración de 60 a 72 horas (Bridges et al., 2008).

Protocolos cortos con dispositivo vaginal de progesterona y prolongación del proestro

Co-synch de 5 días. El protocolo Cosynch de 5 días es un tratamiento basado en GnRH que ha ganado atención recientemente en Norteamérica, con mayores tasas de preñez por IA que las obtenidas con el protocolo tradicional Cosynch de 7 días (Day, 2015). La base fisiológica de este tratamiento se reduce al tiempo de inserción del dispositivo de progesterona, para evitar los efectos adversos de folículos persistentes sobre la fertilidad de las vacas que no ovulan con la primera aplicación de GnRH y para prolongar el periodo de proestro con mayores niveles circulantes de estrógenos. La importancia de un proestro prolongado derivó de una serie de estudios que evaluaron la influencia de la madurez folicular sobre la fertilidad en bovinos de carne (Bridges et al., 2008).

Aunque anteriormente se pensó que el diámetro folicular era un fuerte indicador de fertilidad, los análisis de varios estudios han mostrado que el

predicador más consistente de preñez por IA en ganado *Bos taurus* ciclando fue la duración del proestro, más que el diámetro folicular (Day, 2015). Para confirmar esa idea, en un experimento en el cual las vacas fueron inducidas para ovular un folículo de diámetro similar, la preñez por IA fue mayor en las que recibieron GnRH 54 horas después de la inyección de PGF_{2α} (71%) que en aquellas inyectadas con GnRH 30 horas después de la PGF_{2α} (10%) (Bridges et al., 2010). El efecto benéfico de la prolongación del proestro se asoció con una mayor concentración circulante de estradiol antes del ovulación y una mayor cantidad de progesterona en la fase lútea posterior, especialmente en aquellas vacas que no ovularon después de la primera inyección de GnRH (Bridges et al., 2014). Las vacas tratadas con un Cosynch de 7 días que no ovularon después de la primera inyección de GnRH tuvieron una reducción en el diámetro del folículo dominante ovulatorio y una reducción substancial del estradiol y de progesterona en la fase lútea, comparadas con aquellas vacas que sí ovularon después de la primera inyección de GnRH. En un estudio más reciente la mayor concentración de estradiol en el periodo preovulatorio fue también relacionado con menores pérdidas embrionarias en el periodo, entre el reconocimiento materno de la preñez y la implantación placentaria (Madsen et al., 2015).

Bridges et al. (2008) compararon un protocolo Cosynch de 7 días más un dispositivo de progesterona (Cosynch-7 + CIDR) e IATF a las 60 horas, con un Cosynch de 5 días más un dispositivo de progesterona (Cosynch-5 + CIDR) e IATF a las 72 horas en vacas durante el periodo posparto. En ese estudio, las tasas de preñez fueron 10.5% mayores con el Cosynch-5 + CIDR que en el

Cosynch-7 + CIDR. Resultados similares fueron reportados recientemente en otro estudio (Whittier et al., 2013).

Trabajos adicionales han mostrado que debido a un intervalo más corto entre la primera inyección de GnRH y la inducción de la luteolisis en el protocolo Cosynch-5 + CIDR, una sola inyección de $\text{PGF}_{2\alpha}$ no es suficiente para inducir la luteolisis en vacas de carne (Souto et al., 2009). Por eso es necesario repetir la dosis de $\text{PGF}_{2\alpha}$ para inducir la regresión completa del CL (Kasimanickam et al., 2009).

Estudios posteriores han investigado la manera de modificar la aplicación de $\text{PGF}_{2\alpha}$ en los protocolos Cosynch-5 + CIDR aunque en un estudio se observó que fue adecuada una reducción en el intervalo entre inyecciones de $\text{PGF}_{2\alpha}$ (Cruppe et al., 2010). Una tasa de preñez reducida se reportó cuando el intervalo entre las aplicaciones de $\text{PGF}_{2\alpha}$ fue menos de 6 horas. Sin embargo, en un trabajo de campo con 2465 vacas de carne en el periodo posparto (Bridges et al., 2012), la preñez fue mayor en los animales que recibieron dos inyecciones de $\text{PGF}_{2\alpha}$ con intervalo de 8 horas (55%) que en aquellas que solo recibieron una dosis (48%).

Recientemente se desarrolló un estudio con 801 vacas de carne amamantando, en anestro posparto y 183 vacas ciclando, para comparar el protocolo Cosynch-5 + CIDR con un protocolo basado en estradiol (Huguenine et al., 2013). Las vacas en el grupo Cosynch-5 + CIDR se trataron con dos inyecciones de $\text{PGF}_{2\alpha}$ al momento de retirar el dispositivo de progesterona y la mitad de las vacas recibieron además 400 UI de gonadotropina corionica equina

(eCG) al mismo tiempo. Las vacas en el tratamiento basado en estradiol recibieron 2 mg de benzoato de estradiol y un dispositivo de progesterona en el día 0 y una dosis de PGF_{2α}, 400 UI de eCG y 1 mg de CPE al retirar el dispositivo (día 8). Las vacas fueron inseminadas a tiempo fijo entre 52 y 56 horas después de retirar el dispositivo en el grupo de estradiol y 72 horas después de retirar el dispositivo en el grupo Cosynch-5 + CIDR. Aunque no se observaron diferencias en preñeces en las vacas ciclando, en las vacas de anestro posparto, la preñez fue más alta en los dos grupos que recibieron eCG.

El protocolo Cosynch-5 + CIDR también ha sido estudiado en vaquillas (Day, 2015) y tres preguntas necesitaron ser resueltas: a) la necesidad de la primera inyección de GnRH al momento de la inserción del dispositivo de progesterona, considerando que un porcentaje bajo de vaquillas ovulan con la primera aplicación de GnRH (Colazo y Ambrose, 2011); b) la necesidad de una o dos inyecciones de PGF_{2α} al momento de retirar el CIDR si se administraba GnRH; y c) el momento óptimo para la IATF. Colazo y Ambrose (2011) y Lima et al. (2011) encontraron que la preñez no difiere si las vaquillas lecheras reciben o no GnRH al momento de la inserción de un CIDR. Resultados similares fueron obtenidos por Cruppe et al. (2010) en vaquillas para carne. Aunque Rabaglino et al. (2010) no encontraron diferencia en preñeces cuando se usaron una o dos inyecciones de PGF_{2α}, Peterson et al. (2011) reportaron una tendencia a una mayor tasa de preñez cuando se dieron dos inyecciones de PGF_{2α} con intervalo de 6 horas en vaquillas que recibieron GnRH al momento de la inserción de la progesterona. Además, en otro estudio se reportó una mayor tasa de preñez en

vaquillas lecheras que recibieron GnRH al momento de la inserción del dispositivo de progesterona, pero solamente cuando se inyectaron dos dosis de $\text{PGF}_{2\alpha}$ con intervalo de 24 horas al momento de retirar la progesterona (Lima et al., 2013). En relación al mejor momento para la IATF, Kasimanickam et al. (2012) reportaron que las vaquillas para carne inseminadas a las 56 horas en un protocolo Cosynch-5 + CIDR tuvieron en promedio 10.3% más preñeces que aquellas inseminadas a las 72 horas. Por otra parte, Day (2015) sugirió que el momento óptimo de inseminación es entre 56 y 66 horas después de retirar el dispositivo de progesterona. En resumen, aunque la necesidad de inyectar GnRH al momento de la inserción del dispositivo de progesterona en vaquillas no es clara, el incremento del número de tratamientos con $\text{PGF}_{2\alpha}$ puede no ser necesario para lograr altas tasas de preñez. En relación al momento de la inseminación el momento óptimo puede estar entre 56 y 66.

Protocolo J-synch. Recientemente se han conducido a una serie de experimentos para evaluar un protocolo basado en estradiol con un proestro prolongado al cual se le ha denominado J-synch y se describe en la Figura 1 (De La Mata y Bó, 2012). Dichos tratamientos basados en estradiol son usados comúnmente en América del Sur y la idea con este tratamiento fue que la administración de 2 mg de BE al momento de insertar el CIDR provoca la atresia folicular y la emergencia de una nueva oleada 2 a 5 días más tarde en el 90% de las vacas y vaquillas. Finalmente debido a que el estradiol no induce la ovulación y la formación de un nuevo cuerpo lúteo, solamente se requiere una inyección de $\text{PGF}_{2\alpha}$ al retirar el dispositivo para inducir la regresión lútea.

En el primer estudio se utilizaron 28 vaquillas Angus de 16 a 17 meses de edad. En un grupo se inyectaron 2 mg de benzoato de estradiol y se aplicó un

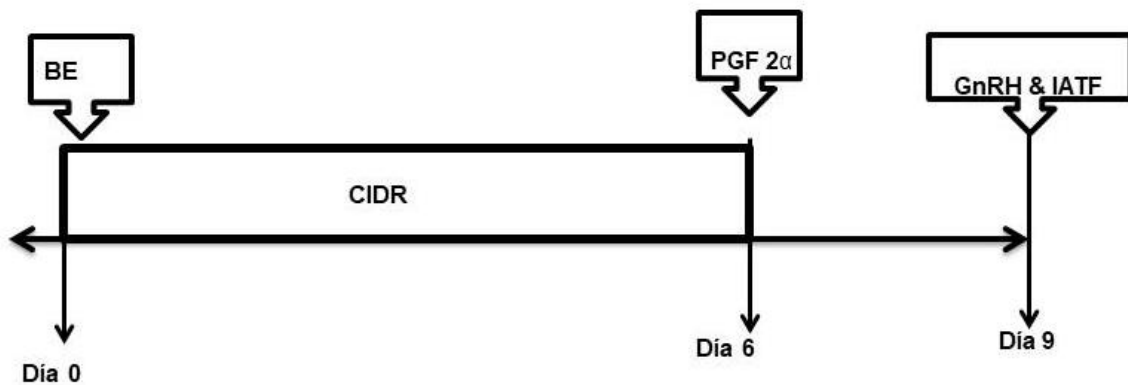


Figura. 1. El protocolo J-Synch, consiste en la aplicación de una inyección de benzoato de estradiol (BE) más la aplicación de un CIDR el día 0. Se retira el CIDR y se aplica una inyección de $PGF_{2\alpha}$ el día 6 y 72±2 horas más tarde se aplica una inyección de GnRH acompañada de la IATF.

CIDR con 0.6 g de progesterona por 6 días; en otro grupo, las vaquillas se trataron con el protocolo Cosynch-5 + CIDR. Todas las vaquillas recibieron 150 µg de D-Cloprostenol al retirar el CIDR y 100 µg GnRH e IATF 72 horas más tarde. Los animales se examinaron con ultrasonido para monitorear el desarrollo folicular y la ovulación. La tasa de ovulación con la primera inyección de GnRH en las vaquillas del grupo Cosynch-5 + CIDR fue de 50% y una nueva onda folicular emergió 1.6 días más tarde. Las vaquillas que no ovularon con la inyección de GnRH mostraron la emergencia de una nueva onda folicular entre 1 y 4.5 días después del GnRH. Sin embargo, el 91.6% de las vaquillas en el grupo de vaquillas J-synch tuvieron atresia folicular y una nueva onda de 2 a 5 días después de la inyección del BE. El intervalo promedio del tratamiento a la nueva onda folicular fue más corto en las vaquillas tratadas con GnRH (2.1 días) que en vaquillas tratadas con BE (3.7 días); la tasa ovulatoria (91.6% vs 92.8%), el diámetro del folículo ovulatorio (11.7 mm vs 12 mm), el intervalo de PGF_{2α} a la ovulación (97 vs 95.1 horas) y la preñez (50 vs 57.1%) no difirieron entre grupos.

En un estudio posterior (De la Mata et al., 2015a), la dinámica folicular y lútea fueron comparadas entre vaquillas de carne tratadas con el protocolo J-synch y otras tratadas con el protocolo convencional Cosynch-7 + CIDR. Las vaquillas en el grupo Cosynch-7 + CIDR recibieron además del dispositivo de progesterona, 2 mg de BE en el día 0, 500 µg de cloprostenol y 0.5 mg de CPE al momento de retirar CIDR en el día 7. Las vaquillas en el grupo J-synch recibieron

el dispositivo y el BE el día 0, 500 µg de cloprostenol y el retiro del CIDR el día 6 y 100 µg de GnRH 72 horas más tarde (día 9). Las vaquillas en el grupo convencional ovularon 65 horas después de retirar el CIDR mientras que las del J-synch ovularon a las 94 horas, demostrando con esto que el periodo de proestro fue 28 horas más prolongado en el grupo J-synch. Además, las concentraciones plasmáticas de progesterona fueron mayores y el CL fue más grande en los días 7 al 12 después de la ovulación en las vaquillas en el grupo J-synch que en el grupo convencional (De la Mata et al., 2015a).

Experimentos recientes han sido diseñados para evaluar la fertilidad después del uso del tratamiento J-synch comparado con el tratamiento convencional basado en estradiol descrito previamente (De la Mata et al., 2015a). En esta serie de experimentos, las vaquillas en el grupo J-synch se inseminaron al momento de la inyección de GnRH, mientras que las del grupo convencional fueron inseminadas entre las 52 y 56 horas después de retirar el CIDR. El primer experimento se llevó a cabo con vaquillas en una condición corporal de 4 a 6 y perdiendo peso. Los resultados fueron desalentadores, con una mayor tasa de preñez de las vaquillas tratadas en el protocolo convencional basado en estradiol (49.3%) que con el tratamiento J-synch (37.8%). Posteriormente se desarrollaron dos experimentos para evaluar la fertilidad en vaquillas con buena condición corporal (de 6 a 7) y ganando peso después de haber usado el tratamiento J-synch; los resultados de este estudio se muestran en el Cuadro 2. Las preñeces tendieron a ser mayores en las vaquillas tratados con J-synch. En un estudio siguiente (De la Mata et al., 2015b) la preñez fue más alta en las vaquillas tratadas en J-synch que en las del tratamiento convencional basado en estradiol.

Cuadro 2. Tasa de preñez en vaquillas para carne en buena condición corporal tratadas con el protocolo J-Synch o con el protocolo convencional basado en estradiol.

Experimento	J-Synch (%)	Convencional (%)	Valor P
Experimento 1			
Replica 1	50.7% (33/65)	35.4%(23/65)	0.09
Replica 2	60.0% (30/50)	66.0%(33/50)	0.6
Replica 3	58.5% (24/41)	51.2%(22/43)	0.5
Replica 4	64.2% (88/137)	57.5%(76/132)	0.2
Total de experimento 1	59.7% (175/293)	53.1%(154/290)	0.12
Experimento 2	67.9%(70/103)	46.6%(49/105)	0.006
Todos (experimento 1 y 2)	61.9%(245/396)	51.4(203/390)	0.006

(Tomado de Bo et al., 2016).

Tratamientos basados en estradiol

Los tratamientos con estradiol y progesterona han sido utilizados ampliamente en años anteriores para los programas de sincronización del estro en bovinos de carne y son los el tratamiento preferido para la IATF del ganado de carne en Sudamérica (Bó et al., 2013). Los tratamientos consisten en la inserción vaginal de un CIDR y la inyección intramuscular de 2 mg de BE en el día 0 (para inducir la atresia folicular y sincronizar la emergencia de nueva onda folicular); $\text{PGF}_{2\alpha}$ al momento de remover el dispositivo en los días 7, 8 o 9 (para asegurar la luteolisis) y la aplicación de 1 mg de BE 24 horas más tarde; GnRH o LH 54 horas después (Martínez et al., 2002); o 0.5 a 1mg de CPE al momento de quitar el dispositivo (Bo et al., 2013) para sincronizar la ovulación.

Un análisis reciente de 431,000 IATF llevadas a cabo en Argentina reportaron una tasa de preñez promedio de 50%, con un rango de 6% a 100% (Bó et al., 2016). La mediana para preñez estuvo entre 51% y 60% (41% de los hatos) seguida por 60 a 70% en 24% de los hatos y 41 a 50% en el 23% de los hatos.

Muchos de los tratamientos aplicados a vacas amamantando en Sudamérica implican la aplicación de eCG al momento de retirar el CIDR (Bo et al., 2013). Probablemente, el efecto más importante de la eCG es la estimulación

del crecimiento del folículo dominante y el incremento subsecuente en la tasa de ovulación (Núñez-Olivera et al., 2014), especialmente, en vacas durante el anestro posparto y o en vacas con una condición corporal baja. Además, el tratamiento con eCG incrementa las concentraciones de progesterona en la fase lútea subsecuente y esto estuvo asociado con un mayor diámetro del cuerpo lúteo (Núñez-Olivera et al., 2014).

Las vacas de carne con folículos ovulatorios más grandes tienen una mayor tasa de ovulación y tasas de preñez más altas. Además, considerando solo aquellas vacas que ovulan después de la IATF, la tasa de preñez aumenta conforme se incrementa el tamaño del folículo ovárico (Sá Filho et al., 2010). Entonces, además del incremento de la tasa ovulatoria, la ovulación de un folículo más grande podría ser la causa de otros eventos, tales como el mejoramiento de la producción endógena de estradiol, mayor competencia del ovocito, mayor diámetro del CL, y mayor producción de progesterona en la fase lútea siguiente, eventos que pueden beneficiar la fertilidad de la vaca sometida a IATF.

Además de los efectos de la eCG sobre el desarrollo folicular, se ha demostrado que el tratamiento con esta hormona modifica eventos específicos relacionados con la esteroidogénesis como el número de células lúteas grandes (Rigoglio et al., 2013).

MATERIALES Y MÉTODOS

Características del área de estudio

Este trabajo se realizó en San Antonio de la Sierra, en el municipio de La Paz, B.C.S. Se localiza a 23°41'7.1" N y 109°56'43.6" O a una altura de 842 msnm. Su temperatura media anual es de 22.9°C y la precipitación media anual es de 442.1mm.

La sierra de San Antonio se encuentra ubicada en la región del cabo. En esta región la vegetación que predomina corresponde a la selva baja caducifolia (León de la Luz y Coria, 2014). Las plantas que consumen los bovinos son diversas y entre ellas destacan el bleo (*Celosía floribunda. A Gray*), palo de arco (*Tecoma Stans*), mauto (*Lysiloma divaricatum*), palo zorrilo (*senna atomaria*), pasto pata de pollo (*Dactyloctenium aegyptium*), zacate navajita (*Bouteloua barbata lag*), zacate tres aristas (*Aristida adsenscionis L.*), pata de gallo (*Cynodon dactylon*) (León de la Luz et al., 2014).

El trabajo se llevó a cabo en tres ranchos vecinos, ubicados en el área señalada (El Dátil, Las Termopilas y San José del Rancho).

Manejo general de los animales

Como en la mayoría de los ranchos de Baja California Sur la temporada de

empadres está controlada por el régimen de lluvias. Es decir las vacas se preñan desde agosto hasta diciembre y cuando llueve de equipatas algunas vacas se preñan en enero y febrero. Por lo regular, las vacas que paren entre mayo y agosto se vuelven a cargar entre agosto y noviembre (si llueve) pero las que paren entre septiembre y diciembre por lo regular se pasan de año. Generalmente, la temporada de empadre es continúa pero la mayor parte de los apareamientos y preñeces ocurren en los meses de septiembre, octubre y noviembre, cuando el ganado ha mejorado su condición corporal (CC) producto de la mayor disponibilidad de alimento derivado de las lluvias que se presentan durante el verano y parte del otoño. Durante dicha temporada la fertilidad de las vacas se ve favorecida debido a que por lo general, las vacas se ordeñan bajo un sistema de lactancia controlada; en este, los becerros permanecen aislados de su madre y solo se les permite mamar una o dos veces al día. Como regla general del rancho, se ordeña la mitad de la leche para la elaboración de quesos y la otra mitad la consume el becerro. Esta práctica se realiza durante los primeros 4 meses del periodo posparto, para luego soltar las crías con las madres en los potreros hasta cumplir 7 meses de edad y ser destetados. Los machos se venden en pie y las hembras se dejan como remplazo. Los machos destetados y vacas improductivas son vendidos en el mes de enero ya que en esta temporada los animales tienen una mejor condición corporal.

En este tipo de ranchos las tasas de pariciones promedio por año, históricamente se considera que han sido bajas ($\approx 50\%$ o menos). Los motivos más importantes son porque los animales pierden peso durante la temporada de empadre. Otra causa se relaciona con una posible baja fertilidad de los toros

usados como sementales, ya que nunca se les practican exámenes reproductivos; y una tercera razón es la proporción inadecuada de vacas por toro.

Todo el ganado es vacunado en enero. La desparasitación y vitaminado se hacen 2 veces al año en los meses de enero y agosto. La mortandad varía entre 5% y 10% anualmente. Esto se debe en su mayor parte a la escases de alimento que se presenta en la temporada de sequía así como a la falta de recursos económicos para implementar programas adecuados de suplementación alimenticia. En la temporada de sequía se ofrecen forrajes como silo, rastrojos de maíz, concentrados, alfalfa, etc. así como bloques de minerales para cubrir en cierta medida las deficiencias en los animales.

Diseño de los tratamientos

De los ranchos mencionados se seleccionaron 43 vacas producto de cruzas indefinidas entre criollo, cebuino y razas europeas. Para seleccionar las vacas, en junio y julio de 2016 se practicó el diagnóstico reproductivo mediante palpación rectal. Se escogieron vacas adultas, aparentemente no preñadas, con más de 60 días posparto y con cría al pie. Estos animales se mantuvieron aisladas de los toros y 40 días más tarde se repitió el diagnóstico de preñez para verificar posibles gestaciones tempranas al momento de la primera palpación. Finalmente se escogieron animales con más de 90 días en lactación. Se midió la condición corporal (CC) con base en la escala de 1 a 5 propuesta por Ayres et al. (2009). En los tres ranchos, cuyas prácticas de manejo son iguales, las vacas se mantuvieron con sus crías en el agostadero consumiendo pastos y forrajes nativos.

Las vacas fueron asignadas a cada uno de dos tratamientos considerando

su etapa de la lactancia, de tal manera que los grupos quedaron homogéneos en esa variable a controlar. En el mes de septiembre de 2016 se llevaron a cabo los protocolos para la sincronización del esto y ovulación con la finalidad de realizar la IATF. Un grupo de vacas (n = 21) fueron sometidas al tratamiento denominado Ovsynch-56 que consiste en la inyección de 100 µg de GnRH (Fertagyl®), 7 días más tarde se aplicó una dosis de 25 mg de PGF2α (Lutalize®), a las 56 horas posteriores se inyectó otra dosis de 100 µg de GnRH y se practicó la IATF 16 a 20 horas después de esta última (Figura 2). El segundo tratamiento (n = 22) fue igual al primero con la diferencia de que el primer día de tratamiento, junto con la primera inyección de GnRH, a cada vaca se le insertó un dispositivo vaginal liberador de progesterona que contiene 1.9 g de la hormona señalada (CIDR®). Dicho dispositivo se retiró el día 7 cuando se aplicó la PGF2α. El resto del protocolo fue igual al T1 (Figura 3). La preñez se diagnosticó mediante palpación rectal entre los 90 y 100 días posteriores a la IATF. La CC, numero de parto y días en lactación al inicio del estudio se compararon entre los tratamientos mediante una prueba de t de student. La proporción de vacas que mostraron celo al final de los tratamientos, el porcentaje de vacas preñadas y el porcentaje de pariciones se compararon mediante una prueba de Chi cuadrada (SAS, 2001).

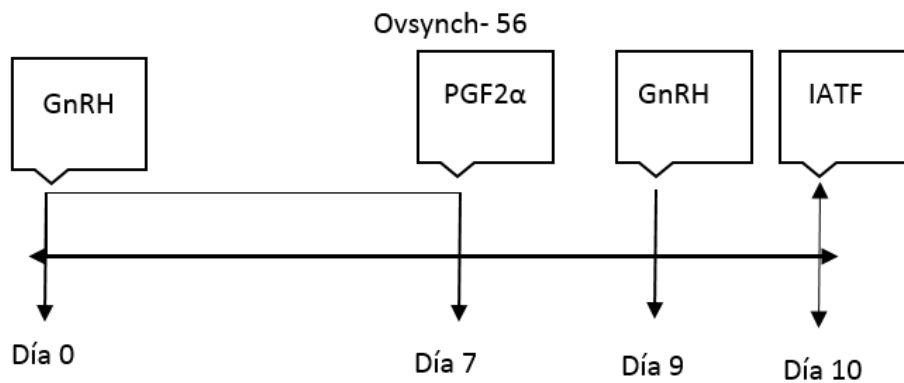


Figura 2. Protocolo Ovsynch-56. El día 0 se inyectan 100 microgramos de GnRH por vía intramuscular; el día 7 se aplica una dosis intramuscular de PGF2α (20 mg); 56 horas más tarde se aplica una segunda dosis de GnRH y se insemina a tiempo fijo 16 a 20 horas después.

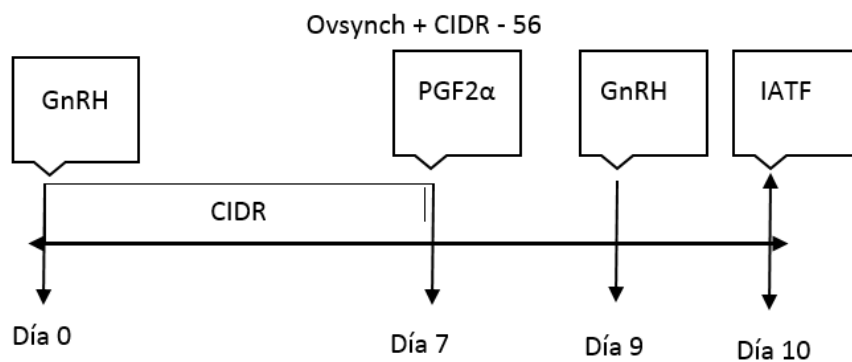


Figura 3. Protocolo Ovsynch-56 + CIDR. El día 0 se inyectan 100 microgramos de GnRH por vía intramuscular y se inserta el dispositivo vaginal (CIDR) que contiene 1.9 g de progesterona; el día 7 se aplica una dosis intramuscular de PGF2α (20 mg) y se retira el CIDR; 56 horas más tarde se aplica una segunda dosis de GnRH

y se insemina a tiempo fijo 16 a 20 horas después.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El número de parto, la CC y el número de días en lactación fueron similares entre las vacas de los dos tratamientos (Cuadro 3). Como se puede observar, se utilizaron vacas multíparas con requerimientos nutricionales solo para mantenimiento y producción de leche durante el periodo posparto. A diferencia de vacas de primer parto que continúan en crecimiento y esto implica que la frecuencia de pulsos de LH en el posparto es menor, y el anestro posparto se prolonga de 1 a 4 semanas más que en vacas multíparas (Yavas y Walton, 2000). La CC estuvo ligeramente por debajo del mínimo ideal (3) en ganado de carne cuando la valoración se realiza en la escala de 1 a 5. Esto es relevante tenerlo en consideración ya que la subnutrición o un inadecuado consumo de nutrientes causa pérdida de peso y estado corporal y eso se asocia con ausencia de manifestación de celos en vacas de carne durante el postparto (Richards et al., 1989). Vacas con una CC de 4 o menos (escala de 1 a 9) durante el postparto no conciben a un nivel aceptable y tienen más de 12 meses de intervalo entre partos comparando con vacas con una CC de 5 o más. Cuando las vacas tienen una CC moderada al parto (5 a 7 en escala de 1 a 9), el número de días desde el parto al primer estro es de 15 a 35% menor que en vacas que paren con una condición corporal menor a 5 (Wettemann et al., 2003).

El intervalo posparto (días en lactación) de las vacas al momento de iniciar este estudio fue similar entre grupos, sin embargo no se logró verificar si los animales estaban o no ciclando. Wells et al. (1986) trabajando con vacas Bos índicus con cría al pie y con alimentación asegurada para satisfacer sus necesidades nutricionales, obtuvieron 53.3 ± 21.0 días para el intervalos entre el parto y el

Cuadro 3. Número de parto (NP), condición corporal (CC) y días en lactación (DL) de las vacas, por tratamiento.

Tratamiento	n	NP	CC	DL
Ovsynch	21	4.7 ± 1.5	2.91 ± 0.6	86 ± 28
Ovsynch + CIDR	22	4.2 ± 1.3	2.95 ± 0.6	91 ± 30

P > 0.05

primer estro. Sin embargo, esto puede variar por distintas razones como lo demuestran Mukasa-Mugerwa et al. (1991) al evaluar un programa de inseminación artificial en vacas cebú, utilizando los perfiles plasmáticos de progesterona para validar la actividad ovárica, encontraron que el período de anestro posparto fue de 188.4 ± 9.6 días. García (1988), en un estudio con vacas Nelore obtuvo 308 ± 13.8 días de intervalo parto primer estro y 369.9 ± 15.5 días de intervalo parto-concepción.

Como se observa en la Figura 4, el porcentaje de preñeces en las vacas tratadas con el protocolo Ovsynch + CIDR (36.3%) fue mayor que en las en el grupo Ovsynch (19.5%). En general, los porcentajes de preñez resultaron bajos. Esto probablemente se debió a que el trabajo se llevó a cabo durante la primera quincena del mes de septiembre y las condiciones del agostadero aún no eran lo suficientemente buenas para permitir que los animales estuvieran ganando peso y condición corporal. Además, es probable que un alto porcentaje de vacas aún se hayan encontrado en anestro posparto. El planteamiento anterior se sustenta en lo establecido por Roche et al. (2011) quienes señalan que existen fallas reproductivas que tienen una interacción directa con la nutrición, y estas pueden ser categorizadas en referencia con dos momentos: una es la falla reproductiva

preovulatoria, con posible influencia nutricional sobre el tiempo de retorno al estro, y la otra, la falla reproductiva postovulatoria, donde la nutrición influye en la fertilización o supervivencia embrionaria y, por consiguiente, en la tasa de concepción. Wettemann et al. (2003) mencionan por su parte que las vacas con una CC de menor de 3 durante el postparto no conciben a un nivel aceptable.

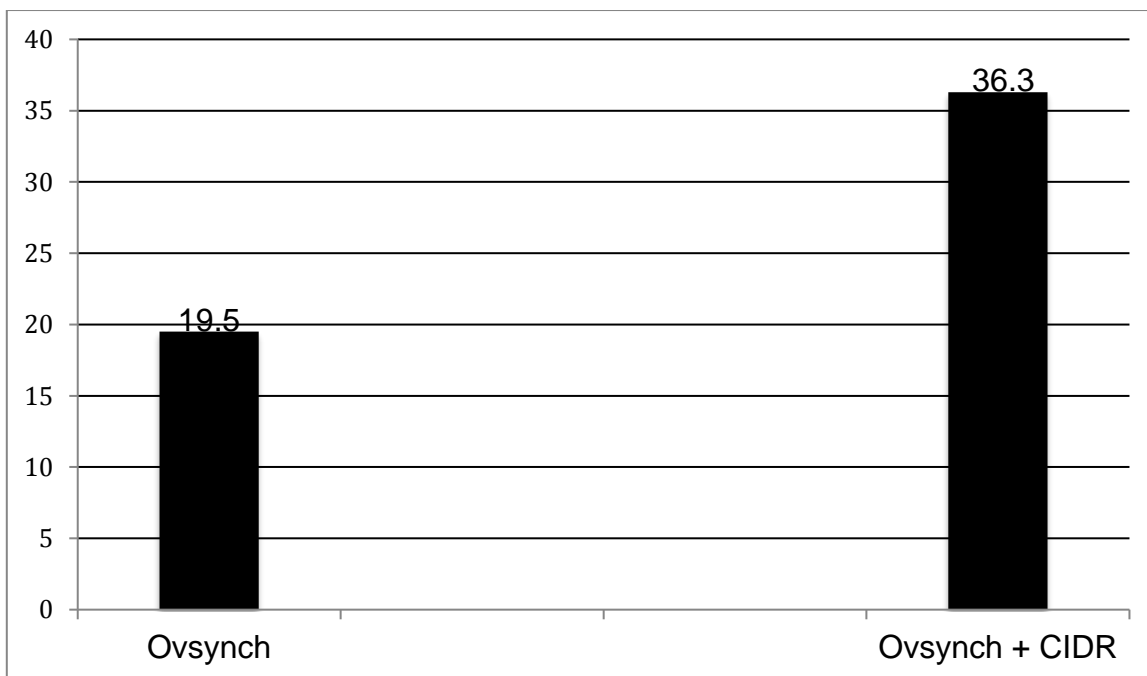


Figura 4. Porcentaje de preñez en vacas para carne tratadas con dos protocolos (Ovsynch vs Ovsynch + CIDR) para la sincronización del estro y ovulación e

inseminación artificial a tiempo fijo ($P < 0.05$).

El periodo postparto es una etapa crítica en el sistema productivo de ganado de carne, caracterizado por una pérdida progresiva de condición corporal durante su inicio. Esto es debido al aumento agudo de gasto energético en la producción de leche para su cría, además del consumo restringido de materia seca, lo que lleva al animal a un estado de balance energético negativo (Montiel y Ahuja, 2005). El balance energético describe el estado de la energía corporal de un animal y es derivado de la diferencia entre la energía que se gasta y la energía que se consume. El déficit de energía puede ser suplido por un aumento en la eficiencia de la conversión alimenticia o a través de la movilización de reservas del animal (Berry et al., 2006). El uso de la energía disponible en rumiantes tiene prioridades metabólicas. El orden de importancia es el siguiente: (i) metabolismo basal, (ii) actividad, (iii) crecimiento, (iv) reservas de energía, (v) preñez, (vi) lactación, (vii) reservas energéticas adicionales, (viii) ciclo estral e iniciación de preñez y (ix) reservas energéticas excedentes (Short y Adams, 1988). Basado en esta lista de prioridades metabólicas, la función reproductiva se ve comprometida cuando la energía disponible se dirige hacia el cumplimiento de las reservas mínimas de energía y producción de leche (Jones y Lamb, 2008).

La tasa de preñez y la actividad ovárica postparto son afectadas en vacas que han tenido un consumo restringido de energía antes o después del parto (Freetly et al., 2006), pues la secreción de LH y el crecimiento folicular parecen ser dependientes de la condición corporal de la hembra bovina (Lents et al., 2008). En el presente estudio, la CC promedio de las vacas fue de 2.91 ± 0.6 y 2.95 ± 0.6 en los grupos Ovsynch y Ovsynch + CIDR, respectivamente. Los valores indican que algunos animales presentaron una CC hasta de 2.3 en el grupo Ovsynch y de 2.35

en las vacas del tratamiento Ovsynch + CIDR. Dichos valores de CC son críticos para una reproducción eficiente (Wettemann et al., 2003).

Otro factor que se debe de contemplar como motivo de falla reproductiva es el amamantamiento de las crías. Es bien sabido que la succión realizada por el becerro tiene un efecto inhibitor en la secreción pulsátil de la GnRH durante el periodo de postparto temprano, pues envía una señal al eje hipotálamo-hipófisis-ovario, sobre el estado metabólico del animal. A su vez, la disminución en la secreción de la GnRH causa la reducción de la secreción pulsátil de la LH y extiende la duración del periodo anovulatorio postparto en vacas de carne (Wettemann et al., 2003). La frecuencia de amamantamiento afecta el intervalo desde el parto hasta la primera ovulación, siendo este más corto en vacas a las que se les restringe el amamantamiento de sus crías, y más largo en vacas que tienen un amamantamiento ad libitum (Álvarez-Rodríguez et al., 2010). En el presente estudio, el periodo posparto de las vacas fue de 86 ± 28 y 91 ± 30 días en cada uno de los grupos. Esto indica que hubo vacas con menos de 60 días posparto en las cuales la frecuencia de amamantamiento es mayor, con un impacto más fuerte de los efectos del amamantamiento señalados en los párrafos anteriores.

Si las bajas tasas de preñez observadas en este estudio se atribuyen a una posible alta proporción de vacas en anestro postparto debido a las causas antes señaladas, se debe de considerar además el mecanismo de acción del GnRH y la PGF 2α para la sincronización de las ondas foliculares y ovulación. La administración de GnRH induce el pico de secreción de LH, altera el patrón de crecimiento folicular y puede inducir la ovulación de un folículo dominante, pero el

efecto de la GnRH depende del estado folicular al momento de la inyección (Lane et al., 2008). Además, si la primera inyección de GnRH va seguida de una aplicación de PGF2 α 7 días después, debería de estar presente un folículo dominante que ovularía con la segunda dosis de GnRH después de la luteolisis. Sin embargo, el problema es que en vacas en anestro en las que la GnRH no provoca ovulación, no hay un CL presente que responda a la PGF2 α (Lane et al., 2008).

Aún cuando los porcentajes de preñez fueron bajos, se observó una diferencia importante ($P < 0.05$) entre las vacas del grupo Ovsynch (19.5%) y las del Ovsynch + CIDR (36.3%). Estos resultados coinciden con los de otros estudios en los cuales las tasas de preñez variaron de 19.8 a 33% con el uso del protocolo Ovsynch y de 29 a 45% cuando se incluyó el CIDR (Melendez et al., 2006; Stevenson et al., 2006; Stevenson et al., 2008). Varios estudios han investigado el efecto de la adición de progesterona en los protocolos Ovsynch o en el Ovsynch modificado. Para tal fin, al igual que en el presente trabajo han insertado el CIDR por vía vaginal al momento de la primera aplicación de GnRH. El-Zarcouny et al. (2004) reportaron una mejora en las tasas de preñez (59%), cuando el CIDR fue incluido en el protocolo, comparado con el Ovsynch solo (36%). De manera similar, Stevenson et al. (2006) concluyeron que la inclusión de progesterona en un protocolo Ovsynch mejoró la fertilidad de vacas lecheras cuando la concentración de progesterona fue baja. Una opinión adicional es que la inclusión de progesterona fue más útil cuando una alta proporción de las vacas se encontraban en anestro (El-Zarcouny et al., 2004), como pudo haber ocurrido en la presente investigación. En el trabajo de El-Zarcouny et al. (2004), la inclusión de

progesterona en el protocolo Ovsynch solo mejoró las tasas de preñez cuando solamente un 44% de las vacas estaban ciclando pero no hubo un efecto importante cuando el 80% de las vacas ya estaban presentando celos. Otros reportes indican también que la inserción de un CIDR al momento de la sincronización de la onda folicular por 7 días en un protocolo Ovsynch se reduce la cantidad de vacas que manifiestan estrógeno antes de la inyección de la PGF2 α (Kim et al., 2003).

En un experimento (Martinez et al., 2002), la presencia de un CIDR entre la primera inyección de GnRH y la inyección de PGF2 α superó el problema de las bajas tasas de preñez. El uso de un CIDR en un programa de 7 días tipo Ovsynch mejoró las tasas de preñez de 39% en animales control tratados con GnRH a 68% en vaquillas tratadas con GnRH/CIDR. En conclusión, el uso de CIDR en los regímenes Cosynch u Ovsynch mejoró las tasas de preñez en vaquillas.

En un trabajo de Azevedo et al. (2014), cuando se trataron vacas lecheras con un protocolo clásico de Ovsynch las probabilidades de preñez fueron 2.1 veces menores que cuando las vacas se trataron con un protocolo que incluyó el CIDR (Cosynch + CIDR).

De manera similar a lo que se observó en el presente estudio en vacas para carne, la adición del dispositivo intravaginal de progesterona pero en un protocolo Cosynch, (IATF al momento de la segunda inyección de GnRH) también mejoró las tasas de preñez en más de 50% (Kasimanickam et al., 2012).

En el presente trabajo se observó una mejora significativa en el porcentaje de preñez al incluir un dispositivo vaginal con progesterona en el tratamiento Ovsynch, siendo este incremento (aunque no los valores) coincidente con lo

reportado por Lamb et al. (2001), quienes registraron valores de 48.1% y 58.6% para los tratamientos Cosynch y Cosynch + CIDR, respectivamente. No obstante, estos valores son superiores al del presente trabajo, lo que podría explicarse por diferentes tipos de animales, semen utilizado, características propias del manejo o bien por la concentración de progesterona del dispositivo. En un meta-análisis reciente, Stevenson et al. (2015) identificaron los efectos benéficos de la inclusión de la progesterona en protocolos Cosynch, ya sea de 5 o 7 días y con un rango de IA desde 48 a 72 horas, atribuyéndole un diferencial de 7.1% a favor.

Por otro lado, en un trabajo realizado por Dobbins et al. (2009) en vacas *Bos taurus* con cría al pie se observó un 42.6% de preñez cuando se implementó el protocolo Cosynch + CIDR, aproximándose al valor registrado en el presente estudio (36.3%). Estos autores evaluaron diferentes momentos para la IA, observando que cuando la IATF se realizó a intervalos mayores de proestro (definido como el tiempo desde el retiro del dispositivo y la aplicación de la PGF2 α hasta la segunda GnRH e inseminación), la tasa de preñez aumentaba, logrando diferenciarse estadísticamente a las 56 horas (62.4%) y 64 horas (54.1%). Tal como sugieren Mussard et al. (2007) es probable que estos beneficios se deban a una multiplicidad de factores entre los cuales están: un mayor tiempo de maduración folicular, mayor concentración de estradiol preovulatorio, una mayor competencia del ovocito, así como un ambiente más favorable (funcionalidad del oviducto, ambiente uterino y transporte espermático).

En otro trabajo publicado recientemente, Hill et al. (2014) observaron que la implementación del protocolo Cosynch combinado con un CIDR en vacas que tuvieron en el inicio del tratamiento niveles de progesterona < a 0.5 ng/mL o entre

0.5 y 1.99 ng/mL se preñaron el 41% y 37%, respectivamente. Animales con valores superiores (≥ 2 ng/mL) tuvieron porcentajes de preñez mayores al 50%. A pesar que en el presente trabajo no se determinó el nivel plasmático de progesterona se podría asumir que el mismo fue menor a 1 ng/mL dado que a ninguna de las vacas se le detectó un CL mediante la palpación transrectal y en consecuencia el resultados de preñez registrado (36.3%) es coincidente con los reportados por estos autores. Con respecto al grupo Ovsynch del presente trabajo, el porcentaje de preñez (19.6%) fue inferior al publicado por Stevenson et al. (2000) quienes informaron un 28,4% de preñez en vacas en anestro.

La mayor tasa de preñez observada en las vacas que recibieron el CIDR en el presente estudio también se pudiera relacionar con una reducción en la tasa de pérdidas embrionarias entre los 30 y 55 días de gestación, como lo demuestra un trabajo de Bartolome et al. (2009).

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en el presente estudio se concluye que la inclusión de un dispositivo vaginal (CIDR) en los protocolos para la sincronización de la onda folicular para la IATF en bovinos de carne (Ovsynch) incrementa las tasas de preñez. Sin embargo, se deben de buscar alternativas de manejo para reducir una posible alta frecuencia de vacas en anestro que pudo haber sido la causa principal de las bajas proporciones de vacas preñadas al final del trabajo.

LITERATURA CITADA

- Álvarez-Rodríguez, J., J. Palacio, and A. Sanz. 2010. Metabolic and luteal function in winter-calving Spanish beef cows as affected by calf management and breed. *Journal of Animal Physiology and Nutrition*. 94: 385-394.
- Austin, E.J., M. Mihm, A.C.O. Evans, P.G. Knight, J.L.H. Ireland, J.J. Ireland, and J.F. Roche. 2001. Alterations in intrafollicular regulatory factors and apoptosis during selection of follicles in the first follicular wave of the bovine estrous cycle. *Biology of Reproduction*. 64: 839-848.
- Ávila, M., L. Madeira, M.C. Aquino, and S. Bao. 2005. Morphometric and ultrastructural characterization of *Bos indicus* preantral follicles. *Animal Reproduction Science*. 87: 45-57.
- Axel, P., P. Lavigne, and J. Lehoux. 2002. Molecular modeling and structure-based thermodynamic analysis of the star protein. *Endocrine Research*. 28: 419-423.
- Ayres, H., R. Machado, J. R. de Souza, C. Garcia, C. Gonçalves de Lima, and P.S. Baruselli. 2009. Validation of body condition score as a predictor of subcutaneous fat in Nelore (*Bos indicus*) cows. *Livestock Science*. 123: 175-179.
- Azevedo, C., I. Maia, N. Canada, and J. Simões. 2014. Comparison of fertility, regular returns-to-estrus, and calving interval between Ovsynch and CO-synch . CIDR protocols in dairy cows. *Theriogenology*. 82: 910-914.
- Bartolome, J.A., J.J.J. van Leeuwen, M. Thieme, O.G. Sa'Filho, P. Melendez, L.F. Archbald, and W.W. Thatcher. 2009. Synchronization and resynchronization of inseminations in lactating dairy cows with the CIDR insert and the Ovsynch

- protocol. *Theriogenology*. 72: 869-878.
- Belkys, J, M. Vásquez, and P. Bastidas. 2005. Comportamiento reproductivo de vacas Brahmán de primera lactancia suplementadas con proteína no degradable. *Zootecnia Tropical*. 23: 411-427.
- Berry, D.P., R.F. Veerkamp, and P. Dillon. 2006. Phenotypic profiles for body weight, body condition score, energy intake, and energy balance across different parities and concentrate feeding levels. *Livestock Science*. 104: 1-12.
- Bleach, E.C.L., R.G. Glencross, and P.G. Knight. 2004. Association between ovarian follicle development and pregnancy rate in dairy cows undergoing spontaneous oestrous cycles. *Reproduction*. 127: 621-629.
- Bo, G., J.J De La Mata, P.S. Baruselli, and A. Menchaca. 2016. Alternative Programs for synchronizing and resynchronizing ovulation in beef cattle. *Theriogenology*.
- Bó GA., P.S. Baruselli and R.J. Mapletoft. 2013. Synchronization techniques to increase the utilization of artificial insemination in beef and dairy cattle. *Animal Reproduction*. 10:137-142.
- Bo, G.A., G.P. Adams, R.A. Pierson, and R.J. Mapletoft. 1995. Exogenous control of follicular wave emergence in cattle. *Theriogenology*. 43: 31-40.
- Braw-Tal, R, and Z. Roth. 2005. Gene expression for LH receptor, 17 alpha-hydroxylase and StAR in the theca interna of preantral and early antral follicles in the bovine ovary. *Reproduction*; 129: 453-461.
- Bridges, G.A., J.K. Ahola, C. Brauner, L.H. Cruppe, J.C. Currin, and M.L. Day. 2012. Determination of the appropriate delivery of prostaglandin F2alpha in the five-day CO-Synch + controlled intravaginal drug release protocol in

suckled beef cows. *Journal Animal Science*. 90:4814–4822.

Bridges, G.A., L.A. Helser, D.E. Grum, M.L. Mussard, C.L. Gasser, and M.L. Day.

2008. Decreasing the interval between GnRH and PGF2a from 7 to 5 days and lengthening proestrus increases timed-AI pregnancy rates in beef cows. *Theriogenology*. 69: 843–851.

Bridges, G.A., M.L. Mussard, C.R. Burke, and M.L. Day. 2010. Influence of length

of proestrus on fertility and endocrine function in female cattle. *Animal Reproduction Science*. 117: 208-225.

Bridges, G.A., M.L. Mussard, L.A. Hesler, and M.L. Day. 2014. Comparison of

follicular dynamics and hormone concentrations between the 7-day and 5-day CO-Synch p CIDR program in primiparous beef cows. *Theriogenology*. 81: 632-638.

Busch, D.C., D.J. Wilson, D.J. Schafer, N.R. Leitman, J.K. Haden, M.R. Ellersieck,

M.F. Smith, and D.J. Patterson. 2007. Comparison of progestin-based estrus synchronization protocols before fixed-time artificial insemination on pregnancy rate in beef heifers. *Journal of Animal Science*. 85: 1933-1939.

Butler, S.T., S.H. Pelton, P.G. Knight, and W.R. Butler. 2008. Follicle-stimulating

hormone isoforms and plasma concentrations of estradiol and inhibin A in dairy cows with ovulatory and non-ovulatory follicles during the first postpartum follicle wave. *Domestic Animal Endocrinology*. 35: 112-119.

Butler, W.R., and R.D. Smith. 1989. Interrelationships between energy balance and

post partum reproductive function. *Journal of Dairy Science*. 72: 767-787.

Caccia, M, and G.A. Bo. 1998. Follicle wave emergence following treatment of

CIDR-B implanted beef heifers with estradiol benzoate and progesterone.

- Theriogenology. 49: 341 (abstr.).
- Cairolì, F., A. Mollo, M.C. Veronesi, B. Renaville, M. Faustini, and M. Battocchio. 2006. Comparison between cloprostenol-induced and spontaneous oestrus fertility in dairy cows. *Reproduction Domestic Animal*. 41: 175-179.
- Colazo, M.G, and D.J. Ambrose. 2011. Neither duration of progesterone insert nor initial GnRH treatment affected pregnancy per timed-insemination in dairy heifers subjected to a Co-synch protocol. *Theriogenology*. 76: 578588.
- Colazo, M.G., J.P. Kastelic, M.F. Martínez, P.R. Whittaker, R. Wilde, J.D. Ambrose, R. Corbett, and R.J. Mapletoft. 2004. Fertility following fixed-time AI in CIDR treated beef heifers given GnRH or estradiol cypionate and fed diets supplemented with flaxseed or sunflower seed. *Theriogenology*. 61: 1115-1124.
- Colazo, M.G., M.F. Martínez, J.P. Kastelic, and R.J. Mapletoft. 2003. Effects of estradiol cypionate (ECP) on ovarian follicular dynamics, synchrony of ovulation, and fertility in CIDR-based, fixed-time AI programs in beef heifers. *Theriogenology*. 60: 855-865.
- Cruppe, L.H., M. Maquivar, E.M. Jinks, G.E. Fogle, M.L. Mussard, and A.V. Pires. 2010. The influence of two doses of PGF2a given at 2 or 12 hour intervals on luteolysis and pregnancy rate to timed AI with the 5- d CO-Synch + CIDR program. *Journal Animal Science*. 88 (Suppl 2):767 (abstract).
- Day, M.L. 2015. State of the art of GnRH-based timed AI in beef cattle. *Animal Reproduction*. 12: 473-478.
- De la Mata, J.J, and G.A. Bó. 2012. Estrus synchronization and ovulation using protocols with estradiol benzoate and GnRH and reduced periods of insertion

- of a progesterone releasing device in beef heifers. *Taurus*. 55: 17-23.
- De la Mata, J.J., A. Menchaca, and G.A. Bó. 2015a. Treatment with estradiol and progesterone that prolonged the proestrus. In: Caccia M, Bó GA, editors. *Proceedings XI International Symposium on Animal Reproduction*. Córdoba, Argentina: Institute of Animal Reproduction Cordoba (IRAC). pp. 143-158.
- De la Mata, J.J., M. Ré, and G.A. Bó. 2015b. Combination of estrus detection and fixed-time artificial insemination in beef heifers following a shortened estradiol-based protocol that provides for a lengthened proestrus. *Reproduction Fertility Development*. 27: 96 (abstract).
- Díaz, F.J., L.E. Anderson., Y.L. Wu., A. Rabot., S.J. Tsai, and M.C. Wiltbank. 2002. Regulation of progesterone and prostaglandin F₂α production in the CL. *Molecular and Cellular Endocrinology*. 191: 65-80.
- Diskin, M.G., E.J. Austin, and J.F. Roche. 2002. Exogenous hormonal manipulation of ovarian activity in cattle. *Domestic Animal Endocrinology*. 23: 211-228.
- Dobbins, C.A. D.R. Eborn, D.E. Tenhouse, R.M. Breiner, S.K. Johnson, T.T. Marston, and J.S. Stevenson. 2009. Insemination timing affects pregnancy rates in beef cows treated with CO-Synch protocol including an intravaginal progesterone insert. *Theriogenology*. 72: 1009-1016.
- Drost, M, and W.W. Thatcher. 1992. Application of gonadotrophin releasing hormone as a therapeutic agent in animal reproduction. *Animal Reproduction Science*. 28: 11-19.
- Duggavathi, R., P.M. Bartlewski., D.M.W. Barrett, and N.C. Rawlings. 2005. The temporal relationship between patterns of LH and FSH secretion, and

development of ovulatory-sized follicles during the mid- to late-luteal phase of sheep. *Theriogenology*. 64: 393-407.

El-Zarkouny, S.Z., J.A. Cartmill, B.A. Hensley, and J.S. Stevenson. 2004. Pregnancy in dairy cows after synchronized ovulation regimens with or without presynchronization and progesterone. *Journal of Dairy Science*. 87: 1024-1037.

Fatet, A, M.T. Pellicer-Rubio, and B. Leboeuf. 2011. Reproductive cycle of goats. *Animal Reproduction Science*. 124: 211-219.

Folman, Y., M. Kaim., Z. Herz, and M. Rosenberg. 1990. Comparison of methods for the synchronization of estrous cycles in dairy cows. 2. Effects of progesterone and parity on conception. *Journal Dairy Science*. 73: 2817-2825.

Foote, R., C. Henderson, and R. Bratton. 1956. Testing bulls in artificial insemination centers for lethals type and production. In: *Proceedings Third International Congress Animal*. Vol. 3. pp. 49-53.

Forde, N., M.E. Beltman, P. Lonergan, M. Diskin, J.F. Roche, and M.A. Crowe. 2011. Oestrous cycles in *Bos taurus* cattle. *Animal Reproduction Science*. 124: 163-169.

Fortune, E.J., M.G. Rivera, A.C.O. Evans, and A.M. Turzillo. 2001. Differentiation of dominant versus subordinate follicles in cattle. *Biology of Reproduction*. 65: 648-654.

Fortune, E.J. 2003. The early stages of follicular development: activation of primordial follicles and growth of preantral follicles. *Animal Reproduction Science*. 78: 135-63.

Freetly, H.C., J.A. Nienaber, and T. Brown-Brandl. 2006. Partitioning of energy

- during lactation of primiparous beef cows. *Journal of Animal Science*. 84: 2157-2162.
- García, M. 1988. On the reproductive efficiency of pure and crossbred Zebu cattle in the Amazon basin of Peru. PhD. Thesis. Swedish University of Agricultural Sciences. Sweden.
- Giraldo, J.J. 2007. Una mirada al uso de la inseminación artificial en bovinos. *Revista Lasallista de Investigación*. 4: 51-57.
- Goehring, T. 2003. Heat detection of beef cattle. In: *Beef Cattle Handbook*. BCH-2310. South Dakota State University.
- Grajales, H, N. Tovío, and A. Duica. 2011. Fundamentos de fisiología reproductiva en la hembra bovina. 1a. Ed. Universidad Nacional de Colombia.
- Hansen P.J. 2005. Managing the heat-stressed cow to improve reproduction. University of Florida. Proceedings of the 7th Western Dairy Management Conference. Reno, NV. p. 63.
- Hansen, P, and J. Block. 2004. Towards an embryocentric world; the current and potential uses of embryo technologies in dairy production. *Reproduction Fertility and Development*. 16: 1-14.
- Henao, G, and L.E. Trujillo. 2000. Establecimiento y desarrollo de la dominancia folicular bovina. *Revista Colombia de Ciencias Pecuarias*. 13: 108-120.
- Hill, S.L., G.A. Perry, V.R.G. Mercadante, G.C. Lamb, J.R. Jaeger, K.C. Olson, and J.S. Stevenson. 2014. Altered progesterone concentrations by hormonal manipulations before a fixed-time artificial insemination Co-Synch + CIDR program in suckled beef cows. *Theriogenology*. 82: 104-113.
- Huanca, W. 2001. Inseminación artificial a tiempo fijo en vacas lecheras. *Revista de Investigaciones Veterinarias*. 12: 161-163.

- Huguenine, E., S. Peracchia., R. Benitez., H. Martini., G. Cledou, and G.A. Bó. 2013. Effect of the utilization of 5-day CO-Synch protocols combined or not with eCG in suckled cows in postpartum anoestrus. In: Caccia M, Bó GA, editors. Proceedings X Symposium on Animal Reproduction. Córdoba, Argentina: Institute of Animal Reproduction Cordoba (IRAC). p. 313 (abstract).
- Hunter, M.G., R.S. Robinson, G.E. Mann, and R. Webb. 2004. Endocrine and paracrine control of follicular development and ovulation rate in farm species. *Animal Reproduction Science*. 82-83: 461-477.
- Hurnick, J.F, G.J. King, and H.A. Robertson. 1975. Estrous and related behavior in postpartum holstein cows. *Applied Animal Ethology*. 2: 55-68.
- Jones, A.L., and G.C. Lamb. 2008. Nutrition, synchronization, and management of beef embryo transfer recipients. *Theriogenology*. 69: 107-115.
- Kasimanickam, R., M. Asay, P. Firth, W.D. Whittier, and J.B. Hall. 2012. Artificial insemination at 56 h after intravaginal progesterone device removal improved AI pregnancy rate in beef heifers synchronized with fiveday Co-Synch controlled internal drug release (CIDR) protocol. *Theriogenology*. 77: 1624-1631.
- Kasimanickam, R., M.L. Day, J.S. Rudolph, J.B. Hall, and W.D. Whitier. 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.
- Kastelic, J.P., L. Knopf, and O.J. Ginther. 1990. Effect of day of prostaglandin F₂ α treatment on selection and development of the ovulatory follicle in heifers.

- Animal Reproduction Science. 23: 169-180.
- Kelton, D.F., K.E. Leslie, W.G. Etherington, B.N. Bonnett, and J.S. Walton. 1991. Accuracy of rectal palpation and of a rapid milk progesterone enzyme-immunoassay for determining the presence of a functional corpus luteum in subestrus dairy cows. *Canadian Veterinary Journal*. 32: 286-291.
- Kim, I.H., G.H. Suh, and D.S. Son. 2003. A progesterone-based timed AI protocol more effectively prevents premature estrus and incomplete luteal regression than an Ovsynch protocol in lactating Holstein cows. *Theriogenology*. 60: 809-817.
- Knight, P.G., and C. Glister. 2001. Potential local regulatory functions of inhibins, activins and follistatin in the ovary. *Reproduction*. 121: 503-512.
- Lamb, G.D., J.S. Stevenson, D.J. Kesler, H.A. Garverick, D.R. Brown, and B.E. Salfen. 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.
- Lamb, G.C., J.E. Larson, T.W. Geary, J.S. Stevenson, S.K. Johnson, M.L. Day, R.P. Ansoategui, D.J. Kesler, J.M. DeJarnette, and D.G. Landblom. 2006. Synchronization of estrus and artificial insemination in replacement beef heifers using gonadotropin-releasing hormone, prostaglandin F₂ α , and progesterone. *Journal Animal Science*. 84: 3000-3009.
- Lane, E.A., E.J. Austin, and M.A. Crowe. 2008. Oestrous synchronisation in cattle- Current options following the EU regulations restricting use of oestrogenic compounds in food-producing animals: A review. *Animal Reproduction Science*. 109: 1-16.

- Larson, L.L., and P.J.H. Ball. 1992. Regulation of estrous cycles in dairy cattle: a review. *Theriogenology*. 38: 255-267.
- Larson, J.E., G.C. Lamb, J.S. Stevenson, S.K. Johnson, M.L. Day, T.W. Geary, D.J. Kesler, J.M. DeJarnette, F.N. Schrick, A. DiCostanzo, and J.D. Arseneau. 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.
- Leaver, J.D., R.G. Glencross, and G.S. Pope. 1975. Fertility of Friesian heifers after luteolysis with a prostaglandin analogue (ICI 80996). *Veterinary Record*. 96: 383-384.
- León de la luz, J.L., R. Coria B., R. Domínguez, y M. Domínguez. 2014. Flora Iconográfica de Baja California Sur 2. La Paz B.C.S. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. México. pp. 33-242.
- Lents, C.A., F.J. White, N.H. Ciccioli, R.P. Wettemann, L.J. Spicer, and D.L. Lalman. 2008. Effects of body condition score at parturition and postpartum protein supplementation on estrous behavior and size of the dominant follicle in beef cows. *Journal of Animal Science*. 86: 2549-2556.
- Lima, F.S., E.S. Ribeiro, R.S. Bisinotto, L.F. Greco, N. Martinez, and M. Amstalden. 2013. Hormonal manipulations in the 5-day timed artificial insemination protocol to optimize estrous cycle synchrony and fertility in dairy heifers. *Journal Dairy Science*. 96: 1-12.
- Lima, F.S., H. Ayres, M.G. Favoreto, R.S. Bisinotto, L.F. Greco, and E.S. Ribeiro. 2011. Effects of gonadotropin releasing hormone at initiation of the 5-d timed

- artificial insemination (AI) program and timing of induction of ovulation relative to AI on ovarian dynamics and fertility of dairy heifers. *Journal of Dairy Science*. 94: 4997-5004.
- Lopez-Gatius, F. 2000. Short synchronization system for estrus cycles in dairy heifers: a preliminary report. *Theriogenology*. 54: 1185-1190.
- Lüttgenau, J., N. Beindorff, S.E. Ulbrich, J.P. Kastelic, and H. Bollwein. 2011. Low plasma progesterone concentrations are accompanied by reduced luteal blood flow and increased size of the dominant follicle in dairy cows. *Theriogenology*. 76: 12-22.
- Madsen, C.A., G.A. Perry, C.L. Mogck, R.F. Daly, M.D. MacNeil, and T.W. Geary. 2015. Effects of preovulatory estradiol on embryo survival and pregnancy establishment in beef cows. *Animal Reproduction Science*. 158: 96-103.
- Mann, G.E. 2009. Corpus luteum size and plasma progesterone concentration in cows. *Animal Reproduction Science*. 115: 296-299.
- Mapletoft, R.J., M.F. Martinez, M.G. Colazo, and J.P. Kastelic. 2003. The Use of Controlled Internal Drug Release Devices for the Regulation of Bovine Reproduction. *Journal of Animal Science*. 81(E. Suppl. 2): E28–E36.
- Martinez, M.F., G.P. Adams., D. Bergfelt, J.P. Kastelic, and R.J. Mapletoft. 1999. Effect of LH or GnRH on the dominant follicle of the first follicular wave in heifers. *Animal Reproduction Science*. 57: 23-33.
- Martinez, M.F., J.P. Kastelic, G.A. Bo., M. Caccia, and R.J. Mapletoft. 2005. Effects of oestradiol and some of its esters on gonadotropin release and ovarian follicular dynamics in CIDR-treated beef cattle. *Animal Reproduction Science*. 86: 37-52.

- Martinez, M.F., J.P. Kastelic, G.P. Adams, and R.J. Mapletoft. 2000. The use of CIDR-B devices in GnRH/LH-based artificial insemination programs. *Theriogenology*. 53: 202.
- Martinez, M.F., J.P. Kastelic, G.P. Adams., R.B. Cook, W.O. Olson, and R.J. Mapletoft. 2002. The use of progestins in regimens for fixed-time artificial insemination in beef cattle. *Theriogenology*. 57: 1049-1059.
- Melendez, P., G. Gonzalez, E. Aguilar, O. Loera, C. Risco, and L.F. Archbald. 2006. Comparison of two estrus-synchronization protocols and timed artificial insemination in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. 89: 4567-4572.
- Mihm, M., E.J. Austin, T.E.M. Good, J.H.L. Ireland, P.G. Knight, J.F. Roche, and J.J. Ireland. 2000. Identification of potential intrafollicular factors involved in selection of dominant follicles in heifers. *Biology Reproduction*. 63: 811-819.
- Montaño, E, and Z. Ruiz. 2005. ¿Por qué no ovulan los primeros folículos dominantes de las vacas cebú posparto en el trópico colombiano? *Revista Colombia de Ciencias Pecuarias*. 18: 127-135.
- Montiel, F., and C. Ahuja. 2005. Body condition and suckling as factors influencing the duration of postpartum anestrus in cattle: a review. *Animal Reproduction Science*. 85: 1-26.
- Morris, D, and M. Diskin. 2008. Effect of progesterone on embryo survival. *Animal*. 2: 1112-1119.
- Mukasa-Mugerwa, E., A. Tegegne, and H. Ketema. 1991. Patterns of postpartum oestrus onset and associated plasma progesterone profiles in *Bos indicus* cows in Ethiopia. *Animal Reproduction Science*. 24: 73-84.
- Mussard, M.L., C.R. Burke, E.J. Behlke, C.L. Gasser, and M.L. Day, M.L. 2007. Influence of premature induction of a luteinizing hormone surge with

- gonadotropin-releasing hormone on ovulation, luteal function, and fertility in cattle. *Journal of Animal Science*. 85: 937-943.
- Nebel, R.L., M.G. Dransfield, S.M. Jobst, and J.H. Bame. 2000. Automated electronic systems for the detection of oestrus and timing of AI in cattle. *Animal Reproduction Science*. 60-61: 713-723.
- Núñez-Olivera R., T. de Castro, C. García-Pintos, G.A. Bó., J. Piaggio, and A. Menchaca. 2014. Ovulatory response and luteal function after eCG administration at the end of a progesterone and estradiol-based treatment in postpartum anestrous beef cattle. *Animal Reproduction Science*. 146: 111-116.
- Odde, K.G. 1990. A review of synchronization of estrus in postpartum cattle. *Journal Animal Sciences*. 68: 817-830.
- Palma, G. 2008. *Biología de la reproducción*. 3a. Ed. Argentina: INTA.
- Pennington, J.A. 2006. Heat detection in dairy cattle. University of Arkansas, Division of Agriculture, Cooperative extension service.
- Peter, A.T., H. Levine, M. Drost, and D.R. Bergfelt. 2009. Compilation of classical and contemporary terminology used to describe morphological aspects of ovarian dynamics in cattle. *Theriogenology*. 71: 1343-1357.
- Peterson, C., A. Alkar, S. Smith, S. Kerr, J.B. Hall, and D. Moore. 2011. Effects of one versus two doses of prostaglandin F₂α on AI pregnancy rates in a 5-day progesterone-based, CO-Synch protocol in crossbred beef heifers. *Theriogenology*. 75: 1536-1542.
- Pursley, J.R., M.O. Mee, and M.C. Wiltbank. 1995. Synchronization of ovulation in dairy cows using PGF₂α and GnRH. *Theriogenology*. 44: 915-923.

- Quirk, S.M., G. Cowan, R.M. Harman, C.L. Hu, and D.A. Porter. 2008. Ovarian follicular growth and atresia: the relationship between cell proliferation and survival. *Journal of Animal Science*. 82E-Suppl: E40-E52.
- Rabaglino, M.B., C. Risco, M.J. Thatcher, I.H. Kim, J.E. Santos, and W.W. Thatcher. 2010. Application of one injection of prostaglandin F₂alpha in the five-day Co-Synch + CIDR protocol for estrous synchronization and resynchronization of dairy heifers. *Journal of Dairy Science*. 93: 1050-1058.
- Rajakoski, E. 1960. The ovarian follicular system in sexually mature heifers with special reference to seasonal, cyclical, and left-right variations. *Acta Endocrinology Supplementum*. 34: 1-68.
- Ranferi, G, E. Cejudo, L. Carranza, and G. Hernández. 2010. Síndrome de hiperestimulación ovárica. *Revista Mexicana de Medicina de la Reproducción*. 2: 67-73.
- Recabarren, S.E., A. Lobos, O. Poblete, P. Muñoz, and J. Parilo. 2003. Pulsatile follicle stimulating hormone (FSH) secretion in prepubertal female sheep with and without food restriction. *Archivos de Medicina Veterinaria*. 35: 151-158.
- Richards, M.W., R.P. Wettemann, and H.M. Schoenemann. 1989. Nutritional anestrus in beef cows: body weight change, body condition, luteinizing hormone in serum and ovarian activity. *Journal of Animal Science*. 67: 1520-1526.
- Rigoglio, N.N., L.A. Fátima, J.Y. Hanassaka, G.L. Pinto, A.S.D. Machado, and L.U. Gimenes. 2013. Equine chorionic gonadotropin alters luteal cell morphologic features related to progesterone synthesis. *Theriogenology*. 79: 673-679.
- Roche, J.R., C.R. Burke, S. Meier, and C.G. Walker. 2011. Nutrition x reproduction interaction in pasture-based systems: is nutrition a factor in reproductive failure? *Animal Production Science*. 51: 1045-1066.

- Roelofs, J., F. López-Gatius, R.H.F. Hunter, F.J.C.M. Van Eerdenburg, and C. Hanzen. 2010. When is a cow in estrus? Clinical and practical aspects. *Theriogenology*. 74: 327-44.
- Sá Filho, M.F., A.M. Crespilho, J.E. Santos, G.A. Perry, and P.S. Baruselli. 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: 23-30.
- Salvetti, N.R., M.L. Stangaferro., M.M. Palomar., N.S. Alfaro., F. Rey., E.J. Gimeno, and H.H. Ortega. 2010. Cell proliferation and survival mechanisms underlying the abnormal persistence of follicular cysts in bovines with cystic ovarian disease induced by ACTH. *Animal Reproduction Science*.122: 98-110.
- Sartori, R, and C.M. Barros. 2011. Reproductive cycles in *Bos indicus* cattle. *Animal Reproduction Science*. 124: 244-50.
- SAS. 2001. SAS User's Guide (Release 8.2). Statistics SAS Inst. Inc., Cary. North Caroline, USA.
- Saumande, H. 2005. Estrus to the LH surge. *Animal Reproduction Science*. 85: 171 -182.
- Savio, J.D., W.W. Thatcher, G.R. Morris, K. Entwistle, M. Drost, and M.R. Mattiacci. 1993. Effects of induction of low plasma progesterone concentrations with a progesterone-releasing intravaginal device on follicular turnover and fertility in cattle. *Journal Reproduction Fertility*. 98: 77-84.
- Seguin, B. 1987. Control of the reproductive cycle in dairy cattle. *Proceedings of*

- the Annual Meeting of the Society for Theriogenology. pp. 300-308.
- Sharma, R.K. 2000. Follicular atresia in goat: A review. *Indian Journal Animal Science*. 70: 1035-1046.
- Short, R.E., and D.C. Adams. 1988. Nutritional and hormonal interrelationships in beef cattle reproduction. *Canadian Journal of Animal Science*. 68: 29-39.
- Souto, L.A., M. Maquivar, M.L. Mussard, G.A. Bridges, D.E. Grum, and M.L. Day. 2009. Fertility and luteal regression with 5-d CIDR synchronization programs in postpartum beef cows using differing luteolytic treatments. *Journal of Animal Science*. 87(Suppl 2): 372 (abstract).
- Spencer, T.E., R.C. Burghardt., G.A. Johnson, and F.W. Bazer. 2004. Conceptus signals for establishment and maintenance of pregnancy. *Animal Reproduction Science*. 82-83: 537-550.
- Stevenson, J.S., K.E. Thompson, W.L. Forbes, G.C. Lamb, D.M. Grieger, and L.R. Corah. 2000. Synchronizing estrus and (or) ovulation in beef cows after combinations of GnRH, norgestomet, and prostaglandin F₂ α with or without timed insemination. *Journal of Animal Science*. 78: 1747-1758.
- Stevenson, J.S., J.R. Pursley, H.A. Garverick, P.M. Fricke, D.J. Kesler, J.S. Ottobre, and M.C. Wiltbank. 2006. Treatment of cycling and noncycling lactating dairy cows with progesterone during Ovsynch. *Journal of Dairy Science*. 89: 2567–2578.
- Stevenson, J.S., J.C. Dalton, J.E.P. Santos, R. Sartori, A. Ahmadzadeh, and R.C. Chebel. 2008. Effect of synchronization protocols on follicular development and estradiol and progesterone concentrations of dairy heifers. *Journal of Dairy Science*. 91: 3045-3056.

- Stevenson, J.S., S.L. Hill, G.A. Bridges, and G.C. Lamb. 2015. Progesterone status, parity, body condition, and days postpartum before estrus or ovulation synchronization in suckled beef cattle influence artificial insemination pregnancy outcomes. *Journal of Animal Science*. 93: 2111-2123.
- Svechnikov, K, and O. Söder. 2008. Ontogeny of gonadal sex steroids. *Best Practice & Research Clinical Endocrinology & Metabolism*. 22: 95-106.
- Thatcher, W.W., F. Moreira, and J.E.P. Santos. 2000. Strategies to improve reproductive management of dairy cows. *Advances in Dairy Technology*. 12: 177-193.
- Tovío, N., A. Duica, and H. Grajales. 2008. Desarrollo embrionario y estrategias antiluteolíticas hormonales en programas de trasplante de embriones bovinos. *Revista MVZ Córdoba*. 13: 1240-1251.
- Uribe-Velásquez, L.F., M.I.L. Souza, and A. Correa-Orozco. 2011. Efecto de las altas concentraciones de progesterona durante la fase lútea temprana sobre la secreción de LH y estradiol en ovejas. *Revista Veterinaria Zootecnista. Veterinaria e Zootecnia*. 5: 44-54.
- Valle, G.R, G.D. Cassali, J.C. Nogueira, A.C.S. Castro, A.M. Reis, F.M. Cardoso, C.B.O. Figueiredo, and E.F. Nascimento. 2007. Nuclear estrogen and progesterone receptors in the oviduct of heifers under natural and superovulated estrous cycles. *Animal Reproduction Science*. 101: 28-37.
- Watson, P. 1990. Artificial insemination and preservation of semen. In: Marshall's *Physiology of Reproduction*. Edinburgh Churchill Livingstone. pp. 747-869.
- Webb, R, and D.G. Armstrong. 1998. Control of ovarian function; effect of local interactions and environmental influences on follicular turnover in cattle: a review. *Livestock Production Science*. 53: 95-112.

- Wells, P. L., D.H. Holness, C.T. McCabe, and A.W. Lishman. 1986. Fertility in the Africander cow. 3. Once a day suckling and its effect on the pattern of resumption of ovarian activity and conception rate in early lactation. *Animal Reproduction Science*. 12: 1-12.
- Wettemann, R.P., C.A. Lents, N.H. Ciccioli, F.J. White, and I. Rubio. 2003. Nutritional and suckling- mediates anovulation in beef cows. *Journal of Animal Science*. 81 (E. Suppl.2): E48-E59.
- Whittier, D.W. 1998. Optimizing fertility in the beef herd. *Proceedings of the Annual Meeting of the Society for Theriogenology*, pp. 429-441.
- Whittier, W.D., J.F. Currin, H. Schramm, S. Holland, and R.K. Kasimanickam. 2013. Fertility in Angus cross beef cows following 5-day CO-Synch þ CIDR or 7-day CO-Synch þ CIDR estrus synchronization and timed artificial insemination. *Theriogenology*. 80: 963-969.
- Wiltbank, M.C. 1997. How information of hormonal regulation of the ovary has improved understanding of timed breeding programs. *Proceedings of the Annual Meeting of the Society for Theriogenology*. pp. 83-97.
- Xu, Z.Z., L.J. Burton, and K.L. Macmillan. 1997. Reproductive performance of lactating dairy cows following estrus synchronization regimens with PGF₂ α and progesterone. *Theriogenology*. 47: 687-701.
- Yavas, Y., and J.S. Walton. 2000. Postpartum aciclicity in suckled beef cows: a review. *Theriogenology*. 54: 25-55.
- Young, J.M, and A.S. McNeilly. 2010. Theca: the forgotten cell of the ovarian follicle. *Reproduction*; 140: 489- 504.
- Zarazaga, L.A., M.C. Gatica, I. Celi, J.L. Guzmán, and B. Malpaux. 2011. Artificial

long days and daily contact with bucks induce ovarian but not oestrous activity during the non-breeding season in Mediterranean goat females. *Animal Reproduction Science*. 125: 81-87.