



UNIVERSIDAD DEL MAR

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

RESPUESTA REPRODUCTIVA A LA PRESINCRONIZACIÓN Y RESINCRONIZACIÓN
EN GANADO BOVINO DOBLE PROPÓSITO SINCRONIZADO CON PROGESTÁGENOS

TESIS

QUE COMO PARTE DE LOS REQUISITOS PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN Y SANIDAD ANIMAL

PRESENTA

M.V.Z. Héctor Abraham Santos Díaz

DIRECTOR

Dr. Narciso Ysac Ávila Serrano

CO-DIRECTOR

Dr. Jaime Arroyo Ledezma

Puerto Escondido, Oaxaca, México

Septiembre, 2021

DEDICATORIA

A mis padres:

Catalina Díaz Gómez

Héctor Santos Páez

Por el apoyo incondicional, los consejos y motivaciones para mi formación como persona, también por enseñarme a no rendirme por más difícil que sea el camino.

A mis hermanas:

Perla Santos Díaz

Martha Santos Díaz

Selene Santos Díaz

Nelly Santos Díaz

Por los consejos y el apoyo que me brindaron.

A mi novia Ernestina Vidaurri Cajina por apoyarme en todo momento y darme el aliento para seguir siempre con la actitud positiva.

¡Gracias por todo!

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a Dios y CONACYT por haberme permitido llegar a una de tantas metas profesionales, a mis padres quienes con sacrificio y esfuerzo siempre me ayudan en cada uno de los proyectos que quiero empezar. También a mi director, codirector y asesor de tesis:

Dr. Narciso Ysac Ávila Serrano, Director de Tesis

Dr. Jaime Arroyo Ledezma, Codirector de Tesis

Dr. Marco Antonio Camacho Escobar, Asesor de Tesis que con su tiempo, paciencia y trabajo ayudaron a realizar este trabajo.

Al igual que a mi coordinador del programa de posgrado el Dr. José Guadalupe Gamboa Alvarado quien incondicionalmente me brindó su ayuda en todo momento.

El MC. MVZ. Mario Moncada Hernández quién fue pieza fundamental en la elaboración de la investigación, proporcionando las unidades experimentales y colaborando en las actividades de campo.

A mis maestros y amigos quienes influyeron en mi formación académica:

Dr. Serafín Jacobo López Garrido y Dra. Mónica Marcela Galicia Jiménez.

RESUMEN

El objetivo del estudio fue evaluar la presincronización y el tiempo de permanencia del CIDR en la resincronización utilizando Inseminación Artificial (IA) sobre la tasa de estros y de preñez en vacas doble propósito. Se utilizaron 47 vacas doble propósito (*Bos indicus* x *Bos taurus*), clínicamente sanas, en lactancia y no gestantes; y 13 vaquillas no gestantes. Se utilizó un modelo completamente al azar, teniendo como fuente de variación presincronización y tiempo de permanencia de CIDR en la resincronización. Los animales experimentales de la presincronización se distribuyeron de forma equitativa en tres tratamientos; T1: 25 mg de PGF2 α el día -10, CIDR + 2 mg de CP en el día 0, retiro CIDR + 25 mg de PGF2 α + 1 mg de CP en el día 10. T2: 25 mg de PGF2 α el día -8, CIDR + 2 mg de CP en el día 0, retiro CIDR + 25 mg de PGF2 α + 1 mg de CP en el día 10. T3: CIDR + 2 mg de CP en el día 0, retiro CIDR + 25 mg de PGF2 α + 1 mg de CP en el día 10; todas las vacas se inseminaron 10 horas después de haber presentado celo con una aplicación de 2 mL de GnRH y las que no presentaron celo se inseminaron a tiempo fijo (IATF) a 48 h después del retiro de CIDR. A 24 h del retiro del CIDR se realizó un muestreo sanguíneo vía vena coccígea cada 3.16 ± 0.03 h, se realizaron 9 muestreos para la determinación de concentraciones Hormona Luteinizante en sangre. En la segunda parte del experimento para la resincronización se utilizaron dos tratamientos que consistieron en el tiempo de permanencia del CIDR; T1: 7 d posteriores a la IA con una permanencia de 14 d, T2: 14 d posteriores a la IA con una permanencia de 7 d. El análisis estadístico de las variables tiempo de retiro a estro mostrado, tiempo de retiro de dispositivo a pico de LH, tiempo de pico de LH a IA, tiempo de inicio de celo a pico de LH y concentración de LH en sangre se realizaron a través de un análisis de varianza por medio del comando PROC GLM con comparación de medias a través de TUKEY. Las variables tasa de estro, tasa de gestación y tasa de parición se analizaron a través de ji-cuadrada, mediante el programa SAS (SAS 2003). El porcentaje de preñez a primer servicio fue de 35%, 45% y 45 % respectivamente ($P>0.5$) y una preñez acumulada de 80%, 70% y 80% para los tres tratamientos por efecto de la resincronización. Para los grupos 14 d de permanencia y 7 d de permanencia se obtuvo una gestación acumulada de 80.0% y 73.3 %. La tasa de gestación a primer servicio no fue como se esperaba; sin embargo, al utilizar la resincronización, la preñez

acumulada se aumentó 45%, 25% y 35%, por lo que se recomienda el uso de la resincronización para los programas de IA. Para el tiempo de permanencia del CIDR no hubo diferencia estadística por lo que se puede utilizar tanto el día 7 ó 14 post-inseminación artificial.

Palabras clave: Inseminación Artificial, CIDR, resincronización, presincronización, LH.

ABSTRAC

The objective of the study was to evaluate the presynchronization and the time of permanence of the CIDR in the resynchronization using Artificial Insemination (AI) on the estrus rate and pregnancy rate in double purpose cows. We used 47 double purpose cows (*Bos indicus* x *Bos taurus*), clinically healthy, lactating and non-pregnant; and 13 non-pregnant heifers. In both parts of the experiment a completely randomized model was used, having as a source of variation the presynchronization and the time of permanence of CIDR in the resynchronization. The experimental animals of the presynchronization are equitably in three treatments; T1: 25 mg of PGF2 α on day -10, CIDR + 2 mg of CP on day 0, withdrawal CIDR + 25 mg of PGF2 α + 1 mg of CP on day 10. T2: 25 mg of PGF2 α on day -8, CIDR + 2 mg of CP on day 0, withdrawal CIDR + 25 mg of PGF2 α + 1 mg of CP on day 10. T3: CIDR + 2 mg of CP on day 0, withdrawal CIDR + 25 mg of PGF2 α + 1 mg of CP on day 10, all cows were inseminated 10 hours after submitting heat with a 2 ml application of GnRH and those that did not show estrus were inseminated at fixed time (IATF) at 48 hours after removal of CIDR. Twenty-four hours after the withdrawal of the CIDR, blood samples were taken from the coccygeal vein every 3.16 ± 0.03 hours, and 9 samples were taken for the determination of Luteinizing Hormone concentrations in the blood. In the second part of the experiment for resynchronization, two treatments were used, which consisted of the time of permanence of the CIDR; T1: 7 days after the AI with a stay of 14 days, T2: 14 days after the AI with a stay of 7 days. Statistical analysis of the variables withdrawal time to estrus shown, device withdrawal time to peak LH, peak time from LH to IA, estrus onset time to peak LH and blood LH concentration were performed through of an analysis of variance by means of the PROC GLM command with comparison of means through TUKEY. The variables estrus rate, gestation rate and calving rate were analyzed through chi-square, through the SAS program (SAS 2003). The percentage of pregnancy at first service was 35, 45 and 45% respectively ($P > 0.5$) and an accumulated pregnancy of 80, 70 and 80% for the three treatments due to resynchronization. For the groups 14 days of permanence and 7 days of permanence, an accumulated gestation of 80 and 73.33% was obtained. The gestation rate at first service was not as expected, however when using resynchronization, the accumulated pregnancy was increased 45, 25 and 35 percentage points, so it is recommended

the use of resynchronization for Artificial Insemination programs (IA). For the duration of the CIDR, there was no significant statistical difference, so it is possible to use either day 7 or 14 post-artificial insemination.

Key words: Artificial Insemination, CIDR, resincronization, presincronization, LH.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Ciclo estral.....	3
2.2 Fases del ciclo estral	3
2.2.1 Fase folicular	3
2.2.2 Fase lútea	4
2.3 Desarrollo folicular en la vaca.....	5
2.4 Sincronización de estros en ganado bovino	6
2.5 Métodos para la sincronización de estros en bovinos	6
2.6 Sincronización de estros con prostaglandinas.....	7
2.6.1 Protocolos con GnRH.....	8
2.6.2 Sincronización de estros con progesterona y progestágenos.....	9
2.6.3 Empleo de estrógenos.....	11
2.6.4 Tratamientos con dispositivos de liberación de progesterona, estradiol y Ecg	13
2.7 Detección de estros	13
2.8 Inseminación artificial	14
2.9 Inseminación artificial después de celo detectado	14
2.10 Presincronización de estros en ganado bovino.....	16
2.11 Resincronización del celo y la ovulación.....	17
2.12 Reutilización del CIDR en la sincronización de estros en bovinos.....	18
III. HIPÓTESIS	20
IV.OBJETIVOS.....	21
4.1 Objetivo general.....	21
4.2 Objetivos particulares.....	21
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
5.1 Área de estudio	22
5.2 Manejo general del ganado bovino.....	22
5.3 Animales experimentales	22
5.4 Diseño experimental	22
5.5 Muestreo y análisis de LH	27
5.6 Variables	30
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
VII. CONCLUSIONES.....	41
VIII. REFERENCIAS	42

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tiempo de retiro a estro, tasa de estro y gestación a primer servicio en ganado bovino doble propósito sincronizado con progestágenos.....	36
Tabla 2. Efecto de presincronización en la tasa de estro y tasa de gestación acumulada en ganado bovino doble propósito sincronizado con progestágenos.....	37
Tabla 3. Tasa de estro y gestación de repetidoras por efecto de la resincronización en ganado bovino doble propósito sincronizado con progestágenos.....	38
Tabla 4. Tiempo de retiro de CIDR y estro a pico de LH, retiro de CIDR y pico de LH a IA para la presincronización en ganado bovino doble propósito sincronizado con progestágenos.....	39
Tabla 5. Concentración de LH, tiempo de retiro de CIDR y estro a pico de LH, retiro de CIDR y pico de LH a IA para vacas gestantes y no gestantes doble propósito sincronizadas con progestágenos.....	39
Tabla 6. Concentración de LH para los tratamientos en la presincronización en ganado bovino doble propósito sincronizado con progestágenos.....	40

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Protocolo de sincronización de Tratamiento 1 con presincronización a 10 días.....	24
Figura 2. Protocolo de sincronización de Tratamiento 2 con presincronización a 8 días	25
Figura 3. Protocolo de sincronización de Tratamiento 3 sin presincronización	26
Figura 4. Protocolo de resincronización de Tratamiento 1 con 14 d de permanencia de CIDR....	28
Figura 5. Protocolo de resincronización de Tratamiento 2 con 7 d de permanencia de CIDR.....	29

I. INTRODUCCIÓN

Se ha pronosticado a nivel mundial que, durante los primeros 25 años de este siglo, habrá una alta demanda de productos de origen animal y servicios como resultado del aumento de la población demográfica, la urbanización y la globalización económica (Magaña *et al.* 2006, Blake & Nicholson 2002, Tewolde *et al.* 2002).

En las zonas urbanas de América Latina los consumos de carne y leche de bovinos significa un incremento entre 70% y 90% con respecto a lo consumido en el año 2000 (Delgado *et al.* 1999).

Por otro lado, en las regiones tropicales secas y húmedas de México, tienen un gran potencial de desarrollo para la producción de carne y leche de bovino para satisfacer el mercado nacional e inclusive el internacional (Magaña *et al.* 2006).

En la actualidad, los programas de tecnología reproductiva como es la inseminación artificial (IA) en el trópico no son eficientes, por lo tanto, se busca simular un comportamiento de sincronización de estros y ovulación en bovinos doble propósito, así como conocer el momento óptimo para realizar la IA; todo esto para tener mayores porcentajes de preñez, y por ende, tener control de la emergencia de las ondas foliculares y la inducción de la ovulación en un tiempo predeterminado para facilitar la aplicación de tales biotecnologías a gran escala, aumentando la eficiencia reproductiva y productiva (Nasser *et al.* 2011). La importancia del conocimiento de las ondas foliculares (Adams 1994) y los mecanismos para la sincronización de la emergencia de la onda folicular (Bó *et al.* 1995; 2002) han simplificado de gran manera la aplicación de protocolos de sincronización de celo para inseminación artificial y transferencia de embriones.

En el protocolo tradicional el BE (define primero estas siglas) se aplica al final del tratamiento, 24 h de retirado el dispositivo intravaginal para sincronizar la ovulación (Baruselli *et al.* 2001, Bo *et al.* 2002) y las vacas son inseminadas 52 a 56 h posteriores al retiro del dispositivo sin afectar las tasas de concepción.

Diversos estudios han demostrado que la utilización de Cipionato de Estradiol (CPE) presenta resultados similares que el BE para la sincronización de la ovulación, con la diferencia de que el CPE se aplica en el mismo momento

en que se inserta y retira el dispositivo, facilitando el manejo, ya que se evita un encierre en los animales (Colazo *et al.* 2003, Márquez *et al.* 2004, Penteado *et al.* 2005, Ayres *et al.* 2006). En consecuencia, surge el interés de evaluar el uso la PGF2 α antes de iniciar un protocolo de sincronización para mejorar la tasa de estros en los bovinos doble propósito, para así mejorar la tasa de gestación en un primer servicio; además, en la segunda parte del experimento se reutilizarán los dispositivos para dos resincronizaciones con periodos de 7 d y 14 d de permanencia para identificar qué tratamiento es mejor en cuanto a tasa de gestación.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Ciclo estral

El ciclo estral en la hembra es el intervalo comprendido entre los estros y consiste en una serie de cambios morfológicos, endocrinos y secretorios; rítmicos y predecibles en los tejidos ováricos, uterinos y hormonales (Hafez & Hafez 2002). Se caracteriza por la disposición de la hembra para el apareamiento y la negativa a dejarse cubrir, varía de 18 d a 24 d (21 d promedio), consta de una fase lútea (14 d -18 d) y una fase folicular (4 d -6 d) y se subdivide en cuatro etapas: proestro, estro, metaestro y diestro. (Twagiramungu *et al.* 1995, Hafez 2002, Mihm & Bleach 2003, Youngquist & Threlfall 2007, Forde *et al.* 2011).

El ciclo estral involucra la secreción y liberación interrelacionada de hormonas tales como la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH), la hormona folículo estimulante (FSH), hormona luteinizante (LH), progesterona (P4), estradiol (E2), oxitocina (OT) y prostaglandina F2 α (PGF2 α) secretadas por el ovario, hipotálamo y la hipófisis anterior. El mecanismo primario de regulación del ciclo estral está dado por la regresión del cuerpo lúteo alrededor del día 17-18 del ciclo estral (Youngquist & Threlfall 2007, Forde *et al.* 2011).

2.2 Fases del ciclo estral

El ciclo estral se divide en una fase lútea y una fase folicular, esta última inicia con el proestro la cual precede al estro; y la fase lútea incluye al metaestro seguido por el diestro (Mc Donald 1991, Youngquist & Threlfall 2007, Forde *et al.* 2011).

2.2.1 Fase folicular

Esta fase incluye las etapas proestro y estro. Durante ella ocurre, el desarrollo de los folículos que va produciendo un incremento en los niveles séricos de E2, y éste a su vez, es responsable de la conducta característica de la vaca durante el estro. Además, el ovulo y el folículo alcanzan los estadios finales de maduración, ocurriendo la ovulación aproximadamente 12 h después del final del estro. El ovulo es expulsado hacia el interior del oviducto y las células que permanecen en el ovario comienzan a formar el cuerpo lúteo (Hafez & Hafez 2002, Forde *et al.* 2011).

Durante la etapa del proestro ocurre el desarrollo del folículo ovulatorio. Sucede también incremento de la frecuencia de los pulsos secretorios de FSH y LH que favorecen el desarrollo del folículo ovulatorio aumentando la concentración de E2 y desencadenando el pico preovulatorio de LH (Hafez & Hafez 2002, Forde *et al.* 2011).

Floyd *et al.* (2009), mencionan que los eventos que desencadenan la ovulación son iniciados por el pico de E2 al inicio del estro (hora 0 del celo). El E2 induce la conducta y signos del celo (monta, receptividad al macho, así como cambios importantes en el tracto reproductivo) (Hafez & Hafez 2002). El E2 es liberado por el folículo dominante mientras los niveles de P4 son bajos cerca del día 21 del ciclo estral. El pico de E2 marca el inicio de cambios en la conducta de la vaca dejándose montar por otras vacas, lo cual dura en promedio $7.2 \text{ h} \pm 7.0 \text{ h}$ dependiendo del estado de la lactancia, nivel de producción y el tipo de instalaciones.

2.2.2 Fase lútea

Incluye las etapas metaestro y diestro del ciclo estral. En esta fase ocurre la formación y maduración del cuerpo lúteo (CL). El CL secreta altas concentraciones de P4, lo cual, previene el crecimiento completo de los folículos en crecimiento provocando la atrofia de estos (Youngquist & Threlfall 2007). La secreción de P4 también es necesaria para mantener la gestación, y si no ocurre la misma, el cuerpo lúteo sufrirá una regresión y ocurrirá un nuevo ciclo estral (Hafez & Hafez 2002, Forde *et al.* 2011).

En la fase del metaestro ocurre la ovulación, y a partir de esta se inicia la organización celular y el desarrollo del CL (Youngquist & Threlfall 2007). En esta etapa, el perfil hormonal de la hembra cambia de las altas concentraciones de E2 a altas concentraciones de P4, el aparato reproductor de la hembra se descongestiona poco a poca y sus secreciones se tornan viscosas y son menos. En esta etapa ocurre la fecundación (Hafez & Hafez 2002, Youngquist & Threlfall 2007).

La etapa del diestro o de silencio sexual, es la etapa de mayor duración del ciclo estral, hay presencia de CL activo en el ovario, y altas concentraciones

de P4 plasmática circulante (mayores de 1 ng/mL) (Hafez 2002, Youngquist & Threlfall 2007).

2.3 Desarrollo folicular en la vaca

La hembra bovina nace con aproximadamente 200 mil folículos, de los cuales muy pocos se activan e inician su crecimiento, y la mayor parte de ellos se degeneran, proceso conocido como atresia, en diferentes etapas del desarrollo (Lucy 2007). Al nacimiento, los folículos están en la fase más elemental y se conocen como folículos primordiales.

Posteriormente, estos folículos se activan y se transforman en folículos primarios y luego en secundarios; hasta este momento los folículos no tienen antro (etapa preantral) y su desarrollo es independiente de las gonadotropinas (LH y FSH). Cuando los folículos forman el antro se conocen como folículos terciarios y su desarrollo es dependiente de las gonadotropinas (etapa antral) (Hyttel *et al.* 1997).

El crecimiento folicular en la etapa antral ocurre en forma de oleadas y cada oleada comienza con un aumento en las concentraciones séricas de FSH, lo cual promueve el crecimiento de un grupo de cinco a ocho folículos de ~4 mm de diámetro; este proceso se conoce como reclutamiento (Ahmad *et al.* 1997). Posteriormente, un solo folículo continúa creciendo (folículo dominante), con ello, las concentraciones de estradiol 17β e inhibina se incrementan, suprimiendo las concentraciones séricas de FSH. La disminución de las concentraciones de FSH provoca atresia de los folículos subordinados, pues ellos también dependen totalmente de esta hormona, mientras que el folículo dominante continúa su desarrollo debido a que en esta fase es estimulado por la LH (Lucy 2007).

El folículo dominante que está presente cuando el cuerpo lúteo sufre regresión, continúa su desarrollo, madura y ovula, en respuesta al incremento de la frecuencia de secreción de la LH y al pico preovulatorio de esta hormona. Durante el ciclo estral se presentan de dos a tres oleadas foliculares (Ahmad *et al.* 1997, Jaiswal *et al.* 2004).

El folículo dominante subsiste de 4– 6 d y si no llega a ovular, sufre atresia. Después de la atresia del folículo dominante bajan los niveles de estrógenos e

inhibina, se observa un incremento de las concentraciones de FSH y se inicia una nueva oleada folicular (Lucy 2007).

2.4 Sincronización de estros en ganado bovino

Se han desarrollado tratamientos que promueven la homogeneización de la población folicular entre las vacas. Después de la ovulación, en un ciclo estral, bajan las concentraciones de las hormonas inhibidoras de la secreción de la FSH (inhibina y estradiol) y se observa un incremento post ovulatorio de FSH, el cual provoca el reclutamiento folicular y con ello, el inicio de la primera oleada folicular. Entre los días 6 y 7 después del pico preovulatorio de LH, se observa en todas las vacas un folículo dominante de características muy similares. En condiciones de campo, la inducción de la ovulación de los folículos dominantes con la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH) provoca el inicio sincronizado de una nueva oleada folicular, tal y como ocurre después de la ovulación en el ciclo estral normal (Pursley *et al.* 1995).

Entre 36 h y 48 h después de la inyección de GnRH, se ocasiona secreción de LH parecida a preovulatoria, la cual provoca ovulación y luteinización del folículo dominante (Diskin *et al.* 2002). También se puede provocar la atresia del folículo dominante, mediante la administración de estradiol o progesterona, hormonas que disminuyen la frecuencia de los pulsos de LH, condición que induce el inicio de una nueva oleada folicular (Anderson *et al.* 1994, Bo *et al.* 1995, Diskin *et al.* 2002).

2.5 Métodos para la sincronización de estros en bovinos

Los principios básicos para el control del estro en vacas consisten en: el efecto luteolítico de las PGF2 α (Lucy *et al.* 2001), efecto lúteo de los progestágenos que inhiben la conducta estral (Macmillan & Paterson 1993, Macmillan *et al.* 2003) y, el control folicular y lúteo de la GnRH en combinación con PGF2 α (Barros *et al.* 2000, Rivera *et al.* 2005).

Así en el ganado bovino, el ciclo estral puede ser manipulado de tres formas:

- Mediante el uso de PGF2 α y análogos para inducir a una regresión precoz del cuerpo lúteo.
- Mediante el uso secuencial de PGF2 α y de análogos de la GnRH para obtener un desarrollo folicular sincronizado tras una luteólisis inducida.
- Mediante el uso de Progesterona y Progestágenos que actúan como un cuerpo lúteo artificial.

2.6 Sincronización de estros con prostaglandinas

La PGF2 α y sus análogos siguen siendo los agentes farmacológicos más utilizados en protocolos de sincronización de estros en ganado bovino (Kastelic *et al.* 1990, Laverdiere *et al.* 1995, Pursley *et al.* 1997, Bo *et al.* 2002, Jordan *et al.* 2002).

La PGF2 α es una hormona que regula la duración del CL induciendo la lisis del mismo, frenando la secreción de Progesterona al final de un ciclo estral no fértil y produciendo subsecuentemente un incremento en los niveles de Estradiol y LH, lo que marca el fin de un ciclo estral, el inicio del siguiente y la ovulación (Lauderdale *et al.* 1974, Roche 1974).

La administración exógena de PGF2 α o sus análogos sintéticos entre los días 5 y 16 del ciclo estral en vacas provoca la lisis del CL, por la unión específica a sus receptores en las células lúteas (Roche 1974, Macmillan & Henderson 1984).

La administración exógena durante la fase temprana o media del ciclo estral, provoca disminución en la concentración sérica de progesterona por debajo de 1ng/mL de sangre durante las primeras 24 h posteriores a la aplicación. La respuesta a la aplicación de esta hormona será variable dependiendo del momento del ciclo estral en que se encuentre el animal. Cuando se administra PGF2 α durante los primeros 5 d del ciclo estral no sincroniza el estro, del mismo modo, no tiene efecto sobre un cuerpo lúteo de más de 16 d. La etapa del ciclo estral y la dosis de PGF2 α afectan la respuesta del tratamiento (Lauderdale 1972, Macmillan & Henderson 1984).

Salverson *et al.* (2002) mencionan que vacas tratadas con PGF2 α que se encuentran en la fase lútea temprana del ciclo estral (5 d - 9 d) presentan menos respuesta al tratamiento que vacas tratadas en la fase lútea tardía (13 d - 17 d), mientras que animales en la fase lútea intermedia (10 d - 12 d) del ciclo estral presentan una respuesta intermedia.

Fernandez *et al.* (1993), reportaron menor porcentaje (60%) de respuesta a estro en vaquillas tratadas entre los días 6 - 10 del ciclo estral que en las tratadas entre los días 11 - 16 (100%), además los mismos autores reportaron que el intervalo a inicio del estro fue de 14 h más corto en vaquillas tratadas en el día 6 que en las tratadas en el día 11.

Debido a que el mecanismo de acción de la PGF2 α requiere que los animales sometidos bajo tratamiento estén ciclando, se considera un tratamiento sencillo y aplicable para vaquillas y vacas sin cría al pie (Kastelic *et al.* 1990, Laverdiere *et al.* 1995, Pursley *et al.* 1997, Murugavel 2003).

King *et al.* (1976), sincronizaron vaquillas ciclando utilizando dos inyecciones de PGF2 α con intervalo entre aplicaciones de 13 d e inseminadas 48 h después de la segunda inyección de PGF2 α , reportando una repuesta a estro de 82% y de 61% de preñez.

Romero (2006), sincronizó vacas y vaquillas de la razas Angus y Salers con 2 inyecciones de PGF2 α con intervalo de 11 d, evaluando dos productos comerciales (T1: 30 mg de dinoprost trometamina; T2: 0.52 mg de cloprostenol), donde obtuvo porcentaje de animales en estro de 92% y 88% para el T1 y T2 respectivamente, con intervalo desde la segunda aplicación de PGF2 α a estro de 60.48 ± 5.31 y 61.80 ± 4.39 h para el T1 y T2, y porcentaje de preñez de 52% y 44% para T1 y T2.

2.6.1 Protocolos con GnRH

Los protocolos de tratamiento con GnRH han sido utilizados en gran medida durante los últimos años para la Inseminación Artificial a Tiempo Fijo (IATF) de bovinos de carne y leche en los Estados Unidos (Pursley *et al.* 1997, Geary *et al.* 2001).

Estos protocolos de tratamiento consisten de una inyección de GnRH seguida de PGF2 α 7 d más tarde y una segunda inyección de GnRH 48 h después del tratamiento con PGF2 α . En los protocolos Co-Synch, las vacas son inseminadas a tiempo fijo al momento de la segunda GnRH (Geary *et al.* 2001).

En los protocolos Ovsynch, las vacas son inseminadas a tiempo fijo 16 h después de la segunda GnRH (Pursley *et al.* 1995).

Varios reportes demostraron que los protocolos Ovsynch producen tasas de preñez similares a las que se obtienen en las vacas que fueron sincronizadas con PGF2 α e inseminadas 12 h después de detectado el celo (Burke *et al.* 1996, De la Sota 1996, Pursley *et al.* 1997, Stevenson *et al.* 1999, Thatcher *et al.* 2006).

Por lo tanto, esta técnica se utiliza en gran medida para inseminar vacas de leche (Caravielo *et al.* 2006).

2.6.2 Sincronización de estros con progesterona y progestágenos

La progesterona es una hormona esteroide producida por el cuerpo lúteo, suprime la secreción de GnRH a nivel del hipotálamo y es necesaria para mantener la gestación. Para obtener una función lútea normal después de la maduración folicular y ovulación, luego de la aplicación de gonadotropinas o GnRH, se requiere un tratamiento previo con progesterona para favorecer el adecuado desarrollo de los receptores de LH en los folículos preovulatorios (Hafez & Hafez 2002).

Cuando es usada para inducir y sincronizar el estro, ayuda a retardar la maduración folicular que pudo haberse iniciado durante el periodo de tratamiento; y así asegurar el comportamiento estral, la función lútea posterior a la maduración folicular y ovulación después del tratamiento (Odde 1990).

La progesterona exógena suprime la frecuencia en los pulsos de LH, lo que provoca atresia del folículo dominante o persistente, evitando así la presentación de estro y ovulación. La regresión del CL depende de la fase del ciclo estral en la que se encuentre la hembra al momento de iniciar el tratamiento, la cual puede ocurrir en forma natural o por la administración de PGF2 α (Hafez & Hafez 2002).

Los protocolos de sincronización de estros con base a progesterona, consisten en imitar la función del CL, ya que los niveles séricos de progesterona aumentan durante el tratamiento, y disminuyen al momento del retiro, lo que provoca una nueva oleada en el desarrollo folicular y la presentación del estro (Stevenson *et al.* 2003).

La administración de progesterona o progestágenos para la sincronización de estro es a través del alimento (Acetato de melengestrol), inyecciones intra musculares de implantes subcutáneos (Norgestomet), o dispositivos intravaginales como PRID, CIDR-B, DIB, TRIU-B, CUE-MATE y esponjas impregnadas con acetato de medroxiprogesterona (Odde 1990).

Las fuentes disponibles de progesterona natural exógena, el dispositivo interno de liberación de progesterona (PRID) y el dispositivo de liberación interna controlada de droga (CIDR), inducen patrones similares de progesterona plasmática y mantienen durante 7 d - 8 d concentraciones similares a las de la fase lútea (6-8 ng/mL), disminuyendo estas a 12 d -14 d a 2 ó 4 ng/mL (Macmillan & Paterson 1993).

Las concentraciones sanguíneas de progesterona resultante de diversos tratamientos, se ven afectadas por la tasa de desaparición, dosis, método de aplicación, madurez sexual y exposición previa de la hembra a estradiol y progestágenos. Con CIDR los niveles séricos adecuados de progesterona se alcanzan 6 h después de la inserción del dispositivo y permanecen constantes durante el tratamiento (Macmillan & Paterson 1993).

Fike *et al.* (1997) reportaron que tratamientos por 7 d incrementa la proporción de estros en vacas sincronizadas, además de la formación de un CL con periodo de vida normal, incrementa la respuesta a estro sincronizado.

Los progestágenos son sustancias con funciones similares a la progesterona, tienen una vida mayor que la progesterona y pueden ser activos al administrarse por vía oral, como el acetato de melengestrol (MGA), subcutánea, como implantes, e intramuscular como el norgestomet, y por vía vaginal, como las esponjas impregnadas con progestágenos se ha observado que en animales sin un CL al comienzo del tratamiento, los folículos dominantes presentes al inicio del mismo persisten durante todo el tratamiento y llegan a

ovular, resultando en una disminución en la fertilidad debido a que los ovocitos provenientes de dichos folículos se encuentran degenerados (Fike *et al.* 1997).

Odde (1990) menciona que al utilizar norgestomet por 9 d, 77% - 100% de las hembras tratadas presentan estro 36 a 60 h después del retiro del implante, con tasas de concepción a primer servicio desde 33 a 68%.

2.6.3 Empleo de estrógenos

Actúan en el sistema nervioso central en forma sinérgica con la progesterona para inducir el estro. Los estrógenos son hormonas esteroidales y son producidos por el ovario a partir de precursores androgénicos, poseen retroalimentación positiva y negativa sobre el hipotálamo. El efecto negativo consiste en la liberación de LH y FSH en el centro tónico del hipotálamo, el efecto positivo consiste en el centro de secreción preovulatoria. La administración de estrógenos mediante un efecto de retroalimentación positiva incrementa la frecuencia de los pulsos de GnRH en el hipotálamo y este a su vez los pulsos de LH aumentando la intensidad del pico preovulatorio. Lo anterior es importante en la maduración y ovulación del folículo dominante, además, promueve la coincidencia entre la expresión del estro y la ovulación (Pancarci *et al.* 2002).

Por otro lado, Yelich *et al.* (1997), reportaron que los folículos ováricos persistentes que ocurren en protocolos de sincronización de estros a base de progestágenos, sufren regresión con la administración de estradiol, seguido de la ovulación del folículo dominante de la siguiente onda folicular.

Evans *et al.* (2003), en un protocolo de sincronización de estros a base de PGF₂α, observaron que la administración de 0.5 mg de Benzoato de Estradiol 24 h después de la última aplicación de PGF₂α facilitaba la detección del estro, del pico de LH, además, de predecir el momento de la ovulación.

Lane *et al.* (2001), reportaron el potencial de estradiol para disminuir la variación al inicio del estro, además, del incremento en los parámetros reproductivos después de su administración en el periodo folicular al momento del retiro del CIDR.

Combinación de progesterona o progestágenos con prostaglandinas y estrógenos en la mayoría de los métodos de sincronización de estros se emplea una inyección de PGF₂α que cause la regresión del CL. La lisis del CL es seguida

por el desarrollo de un folículo preovulatorio, el estro y ovulación (Lauderdale *et al.* 1974, Roche 1974).

La PGF2 α no provoca la luteólisis del CL en desarrollo presente en el ovario durante los primeros 5 d de ciclo estral (Lauderdale 1972).

Un método para incrementar la sincronización del estro con una sola inyección de PGF2 α es el tratamiento con un progestágeno por 7 d antes de la aplicación de PGF2 α (Macmillan & Peterson 1993).

Lucy *et al.* (2001), evaluaron la eficacia de la combinación de un CIDR por 7 d más una inyección de PGF2 α en el día 6 para la sincronización de estros en vaquillas y vacas para carne en periodo postparto y vaquillas lecheras; reportando una mayor incidencia de estro durante los primeros 3 d del periodo de empadre en vacas tratadas con CIDR + PGF2 α (15%, 33% y 59% para vacas control, PGF2 α , y CIDR + PGF2 α , respectivamente). Una mejora en la tasa de estro y preñez también se observó en vaquillas para carne tratadas con CIDR + PGF2 α , pero no mejoró la tasa de preñez en vaquillas lecheras.

En cuanto a la combinación de progesterona y progestágenos con estradiol, Yelich *et al.* (1995) evaluaron la eficiencia de la combinación de MGA-PGF2 α (0.5mg MGA/cabeza/día, durante 14 d más una inyección de 25 mg de PGF2 α 17 d después del retiro del MGA) para la sincronización de estro postparto en vacas para carne amamantando, encontrando que el uso de MGA-PGF2 α para sincronización de estros, favorece la preñez temprana en el periodo postparto en vacas para carne, aunque su efectividad es limitada por la condición corporal.

Leitman *et al.* (2009), sincronizaron vaquillas cíclicas y pre púberes con CIDR durante 14 d y PGF2 α (25 mg IM) en el día 30 e inseminadas 12 h de iniciado el estro, reportando una respuesta a estro sincronizado de 98 %, con un intervalo de PGF2 α a estro de 54.4 ± 1.7 h y una tasa de preñez de 66%.

Por otro lado, en un protocolo de sincronización de estros a base de progesterona o progestágenos cuando se suspende el uso del CIDR el crecimiento folicular, el estro y la ovulación ocurren entre 1 d - 5 d posteriores al retiro del dispositivo (Macmillan & Peterson 1993).

El uso de estradiol induce la regresión del CL y potencializa la respuesta al tratamiento con progesterona o progestágeno, de tal forma que la manifestación del estro es casi predecible de 12 h a 24 h después de la aplicación de Benzoato de Estradiol (Hafez & Hafez 2002, Sá Fiho *et al.* 2009).

2.6.4 Tratamientos con dispositivos de liberación de progesterona, estradiol y Ecg

Bajo condiciones normales, una vaca posee el potencial de ovular poco tiempo después del parto (Wiltbank *et al.* 2002).

El ganado bovino lechero bajo condiciones de pastoreo con frecuencia posee una alta incidencia de anestro posparto que extiende el intervalo desde el parto hasta la concepción y como consecuencia, afecta de manera negativa su desempeño reproductivo (Lucy *et al.* 2004, Cavalieri *et al.* 2006).

Al utilizar 400 UI de eCG al momento de retirar el dispositivo de liberación de progesterona dio como resultado un aumento en la concentración de progesterona en plasma y en las tasas de preñez en vacas amamantadas tratadas durante el anestro posparto (Baruselli *et al.* 2004, Bó *et al.* 2008).

2.7 Detección de estros

La eficiencia en la detección de estros es un factor que influye directamente sobre el desempeño reproductivo del ganado bovino (Senger 1994, Galina & Orihuela 2007, Lima da Costa *et al.* 2011). Para la mayoría de las explotaciones bovinas donde se lleva a cabo IA, el factor que limita la obtención de un eficiente comportamiento reproductivo, es la falla en la detección de estros de manera precisa y oportuna (Senger 1994, Nebel *et al.* 2000, Rorie *et al.* 2002, Galina & Orihuela 2007, Roelofs *et al.* 2010, Lima da Costa *et al.* 2011).

Por lo que el objetivo de un programa de detección de estros debe ser la identificación de manera clara y precisa del estro en todos los animales ciclando y consecuentemente la identificación de animales no ciclando (Senger 1994, Nebel *et al.* 2000, Galina & Orihuela 2007, Roelofs *et al.* 2010).

2.8 Inseminación artificial

La IA es una de las técnicas reproductivas de mayor importancia que ha demostrado ser eficaz para mejorar los parámetros reproductivos y productivos en los sistemas de explotación bovina (Ramírez & Miller 2004, Romero 2006), aumentando la ganancia en la mejora genética y eficiencia reproductiva y económica en sistemas de producción para carne y leche (Lima da Costa *et al.* 2011).

El problema asociado es la detección oportuna del estro, sobre todo durante el periodo posparto, lo que limita el uso de la IA en las explotaciones ganaderas (Senger 1994, Nebel *et al.* 2000, Galina & Orihuela 2007, Roelofs *et al.* 2010, Rorie *et al.* 2002, Lima da Costa *et al.* 2011).

La eficiente y precisa detección del estro junto con el momento de IA son claves para mejorar la eficiencia reproductiva y económica en las explotaciones bovinas (Senger 1994, Dransfield *et al.* 1998, Nebel *et al.* 2000).

2.9 Inseminación artificial después de celo detectado

Desde que la IA fue desarrollada y validada, muchos estudios son los que se han realizado para determinar el momento óptimo en relación al estro (Trimberger & Davis 1943; Barrett & Casida 1946, Trimberger 1948, Aschbacher *et al.* 1956, Pursley *et al.* 1997, Pursley *et al.* 1998).

Se ha demostrado que las tasas óptimas de preñez, se obtienen cuando las vacas son inseminadas desde la mitad de estro hasta pocas horas después del final del mismo. Desde entonces, la práctica recomendada ha sido inseminar 12 h después de la primera observación del estro. Lo que llevó al establecimiento de la regla am-pm para IA a celo detectado; así, una vaca observada en estro durante la mañana debe ser inseminada durante la tarde y aquella observada en estro durante la tarde debe ser inseminada a la mañana siguiente. Sin embargo, por la variación del intervalo entre el inicio del estro y la observación del mismo, es difícil definir el momento ideal de la inseminación en relación a la ovulación (Trimberger 1948, Foote 1979, Gwazdauskas *et al.* 1986).

Los eventos biológicos que afectan el momento de la IA y la fertilización son la duración de la viabilidad de los gametos, el tiempo de transporte de los espermatozoides viables desde el sitio de la inseminación hasta la fertilización del ovulo, y el momento de la ovulación en relación con la IA (Dranfield *et al.* 1998).

A través de estudios de ultrasonografía para detectar el momento de la ovulación, se ha determinado que ésta ocurre alrededor de 30 h después del inicio del estro. Walker *et al.* (1996) reportaron que la duración del intervalo desde el primer evento de calor verdadero hasta la ovulación fue de 27.6 ± 5.4 h

El transporte de espermatozoides viables a los oviductos requiere mínimo de 6 h para obtener una población capaz de fertilizar el ovulo, y el número de espermatozoides aumenta progresivamente sobre las 8 h a 18 h (Trimberger & Davis 1943, Trimberger 1948, Hawk 1987).

La vida funcional del espermatozoide en el tracto reproductivo se ha estimado de 24 h - 30 h, y aunque el tiempo máximo que el ovulo puede conservar su capacidad para ser fertilizado es de 20 h - 24 h, el periodo óptimo es transitorio y se estima en 6 h - 10 h (Trimberger & Davis 1943, Trimberger 1948).

Aunque la ovulación ocurre al final del estro, se ha contemplado la importancia del momento del inicio del estro para la IA en relación con la regla am-pm. No se han encontrado diferencias en la tasa de no retorno a estro entre la IA realizada una vez al día o siguiendo la regla am-pm (Nebel *et al.* 1994). Por otro lado, en un estudio con vacas y vaquillas cruzadas con *Bos Taurus* y *Bos indicus*, la IA resultó ser eficiente cuando se realizó 8 h -12 h después que fueron detectadas en estro (Carvajal 2009).

Rodríguez-Hernández *et al.* (1995), quienes en un estudio con animales de diversos tipos raciales (*Bos indicus*, *Bos Taurus* y *Bos indicus* x *Bos taurus*), luego de cada celo intenso inseminaron a los animales de acuerdo a los siguientes momentos de inseminación: (1: 0-2 h; 2: 6-8 h; y 3: 12 h), encontrando la mayor preñez en el momento 3 (55.17%) frente a los momentos 1 (49.96%) y 2 (47.12%), aunque sin diferencias significativas.

Puesto que la tasa de gestación es producto del porcentaje de detección de estros y de la tasa de concepción, con el propósito de mejorar la detección de celo existen protocolos de sincronización del estro que se enfocan en controlar la vida media del CL (Lucy *et al.* 1986).

Se ha desarrollado un sistema que sincroniza el desarrollo folicular y la regresión del CL (Thatcher *et al.* 1989, Macmillan & Thatcher 1991). Se basa en una aplicación de una inyección de GnRH, luego de 7 d después de una inyección de PGF2a (Badinga *et al.* 1994, Wolfenson *et al.* 1994, Schmitt *et al.* 1996) e IA después del estro detectado (Burke *et al.* 1996).

La GnRH causa lisis u ovulación del folículo dominante, e inicia el reclutamiento y selección de uno nuevo 7 d después (Macmillan & Thatcher 1991; Wolfenson *et al.* 1994) y la PGF2a causa lisis del CL espontáneo o de un CL potencial inducido por la GnRH, o ambos (Burke *et al.* 1996).

2.10 Presincronización de estros en ganado bovino

En los programas de sincronización en inseminación a tiempo fijo (Ovsynch o IATF) las vacas se sincronizan con PGF2 α (presincronización) cada 14 d, a partir del día 30 o 35 posparto, con el propósito de que al momento de iniciar la sincronización de la ovulación estén en el diestro temprano (Gümen *et al.* 2012).

La sincronización de la ovulación inicia 12 d después de la última inyección de PGF2 α ; comienza con la inyección de GnRH (día 0), seguida de la inyección de PGF2 α (día 7); posteriormente se administra la segunda dosis de GnRH (día 9) y se insemina 16 h después (Pursley *et al.* 1995).

La primera inyección de GnRH induce la ovulación o la luteinización de los folículos >8 mm de diámetro, iniciándose una nueva oleada folicular, condición similar a la observada después de la ovulación espontánea. Dado que la primera inyección de GnRH se realiza en el diestro temprano, al momento de la inyección de PGF2 α , las vacas continúan en diestro y la mayoría de ellas tiene un folículo con un grado de desarrollo similar. La segunda inyección de GnRH induce la ovulación del folículo dominante, la cual está sincronizada con el

momento de la inseminación. Se han desarrollado diversas variantes del programa original.

La presincronización con inyecciones sistemáticas de PGF2 α antes de la primera inyección de GnRH es necesaria para alcanzar resultados óptimos. Si las vacas no entran al programa de pre sincronización, y reciben la primera inyección de GnRH en cualquier día del diestro; es probable que algunas muestren estro antes de la segunda inyección de GnRH (Gümen *et al.* 2012).

Cuando se presincroniza el ciclo estral de las vacas lecheras con dos inyecciones de PGF2 α o una combinación de GnRH y PGF2 α , aumenta la proporción de vacas que inician el protocolo de IA en la etapa del diestro. Las vacas que están en esa etapa tienen mayor probabilidad de responder mejor al uso de GnRH.

Moreira *et al.* (2001), sugirieron que los bovinos responderán de manera más consistente a los protocolos con GnRH si éstos se inician entre los días 5 y 12 del ciclo; esto se puede lograr con la pre sincronización antes de la primera inyección de GnRH.

Se ha demostrado que la presincronización con una o con dos dosis de PGF2 α (con una diferencia de 14 d) mejora las tasas de preñez en los protocolos de IATF con GnRH. Sin embargo, es poco probable que los tratamientos con PGF2 α mejoren la reproducción en vacas de leche no cíclicas (Moreira *et al.* 2001).

2.11 Resincronización del celo y la ovulación

Se han utilizado exitosamente dos enfoques para volver a inseminar a las vacas que están abiertas después de la primera IA. Uno de los enfoques aplicados frecuentemente en América del Norte consiste en la utilizar la ultrasonografía para el diagnóstico temprano de la preñez y utilizar tratamientos del tipo Ovsynch que comienzan en ese momento o 7 d antes del diagnóstico con ultrasonografía (es decir, a todas las vacas se les administra GnRH 26 d - 33 d después de la primera IA y a las vacas no preñadas se les aplica PGF2 α 7 d después del diagnóstico de preñez, seguido de GnRH 48 h más tarde y IATF

12 a 16 h más tarde). El otro enfoque consiste en utilizar un dispositivo de liberación de progesterona que se reinserta en todas las vacas 13 ± 1 d después de la primera IA y se retira 7 d - 8 d más tarde (Macmillan *et al.* 1999).

Las vacas no preñadas muestran signos de celo dentro de las 48 h - 72 h después de la remoción del dispositivo y se las insemina 12 h más tarde (Bó *et al.* 2008).

2.12 Reutilización del CIDR en la sincronización de estros en bovinos

El CIDR es un dispositivo que contiene 1.9 g de progesterona natural, que se libera de manera constante y uniforme mientras permanece insertado en la vagina.

Los protocolos de sincronización con CIDR comprenden periodos de inserción que pueden durar de 7 d - 10 d (Macmillan & Paterson 1993). Cuando es retirado de la vagina aun contiene progesterona, la cantidad residual va a depender del tiempo que dura insertado. Macmillan *et al.* (1990) y Peterson & Handerson (1990), reportaron que cuando el CIDR permaneció insertado por 9 d, retuvo alrededor de 1.1 g de progesterona y cuando fue insertado por 15 d retuvo aproximadamente 0.9 g de progesterona. Se ha estudiado también la cantidad total de progesterona liberada por un CIDR mantenido en la vagina por 7 d. Considerando las características de liberación y retención de progesterona del CIDR, la cantidad hormonal en ellos está dada por gramos y la cantidad que las vacas necesitan para poder entrar en celo es en ng (Macmillan & Paterson 1993). Se ha estudiado la posibilidad de reutilización del dispositivo para inducir una sincronización de estro con similar porcentaje de gestación cuando se utiliza por segunda o más ocasiones (Martínez-Priego 2009). Varios autores reportan resultados exitosos en la reutilización cuando ha sido por una sola vez (Rathbone *et al.* 2002, Richardson *et al.* 2003, Stevenson *et al.* 2003).

Solórzano *et al.* (2008), evaluaron dispositivos CIDR reutilizados una y dos veces, sobre el porcentaje de estros. No encontraron diferencias entre tratamientos en los porcentajes de vacas en estro por día post-retiro de dispositivo ($P > 0.05$): 90.9%, 88.4%, 88.1% para los grupos CIDRn (nuevo), CIDR1 (primera reutilización) y CIDR2 (segunda reutilización) respectivamente.

Martínez-Priego (2009) en un estudio con vacas Brahman cíclicas reportó mayores porcentajes de gestación cuando reutilizó CIDR por segunda vez (82%) en relación cuando reutilizó CIDR por primera vez (64.5%), CIDR nuevos (61.7%) y CIDR reutilizados por tercera ocasión (48.9%).

Mantovany *et al.* (2004), en novillonas *Bos indicus* sincronizadas con CIDR nuevos y reutilizados, reportaron que el uso del CIDR reutilizado permite tener un alto porcentaje de ovulación debido a la menor cantidad de progesterona circulante en plasma al usar los implantes reciclados.

Bo *et al.* (2002), mencionan que la disminución de progesterona a cantidades subluteales (< 1 ng/mL) incrementa la frecuencia de los pulsos de LH, el crecimiento y la persistencia del folículo dominante con concentraciones altas de estradiol que provocan el estro a nivel endocrino inducen el pico de LH seguido por la ovulación.

Por lo que con reutilizar el CIDR, es posible mejorar la eficiencia reproductiva en vacas (Mantovany *et al.* 2004), además hace atractiva la estrategia en términos económicos ya que el ahorro en programas de sincronización de estros para IA o en transferencia de embriones sería de al menos 60% (Solórzano *et al.* 2008), ya que la progesterona residual después de mantenerlo en la vagina es de 0.9 g (Macmillan *et al.* 1990, Peterson & Handerson 1990), lo que hace posible reutilizarlo.

III. HIPÓTESIS

La presincronización a 8 d y 10 d respectivamente mejora la tasa de estros y tasa de preñez a primer servicio con inseminación artificial en bovinos doble propósito, por otra parte, el uso de la resincronización en 7 d y 14 d incrementa la tasa de celo y tasa de preñez a segundo y tercer servicio con inseminación artificial

IV.OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Evaluar la presincronización y resincronización en la respuesta reproductiva en ganado bovino doble propósito sincronizado con progestágenos.

4.2 Objetivos particulares

- Evaluar el efecto de la presincronización en el retiro del dispositivo a estro y tasa de preñez a primer servicio en vacas y vaquillas sincronizadas con progestágenos.
- Evaluar el efecto de la resincronización 7 ó 14 días post-IA en la tasa de estros (repetidoras) y tasa de preñez acumulada al 2 ° y 3er servicio.
- Determinar concentraciones de LH para indicar el pico preovulatorio post-retiro de CIDR y realizar la inseminación artificial en tiempo adecuado por efecto de la presincronización en vacas y vaquillas sincronizadas con progestágenos.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Área de estudio

El trabajo experimental se realizó durante los meses de noviembre de 2017 a marzo 2018, en la explotación de ganado bovino doble propósito “Rancho la Aurora”, localizado en Rio Grande, municipio de San Pedro Tututepec, Oaxaca, México; a 37 msnm. Dicho municipio está situado en las coordenadas 16°08' latitud norte y 97°36' longitud oeste. Limita al norte con Tataltepec de Valdés y San Miguel Panixtlahuaca, al sur con el Océano Pacífico, al este con San Pedro Mixtepec y al Oeste con Santiago Jamiltepec. El clima de la región es cálido húmedo (Awo AWI), con una temperatura promedio anual de 27°C y con un régimen de lluvias en verano (García 1987).

5.2 Manejo general del ganado bovino

Las vacas en lactancia están sometidas a un sistema de una ordeña al día (mañana), de tipo manual. La alimentación es bajo condiciones de pastoreo en praderas establecidas con pasto estrella de África (*Cynodon plectostachyus*) y pasto nativo Zacate Bramilla (*Cynodon dactylum*). Las vaquillas se mantienen bajo condiciones de pastoreo todo el día. Todos los animales recibieron suplemento mineral y vitamínico para cubrir los requerimientos nutricionales (NRC 1989; NRC 1996). Además, se desparasitan internamente cada 6 meses, vacunas contra Derriengue anualmente y Clostridium cada 6 meses.

5.3 Animales experimentales

Se utilizaron 47 vacas doble propósito (*Bos indicus* x *Bos taurus*), clínicamente sanas, en lactancia y no gestantes; y 13 vaquillas no gestantes, con fenotipo similar al de las vacas.

5.4 Diseño experimental

En las dos partes del experimento se utilizó un diseño completamente al azar, cada unidad experimental es representada por una vaca o vaquilla. Los

animales fueron asignados de forma equitativa y aleatoria en 3 tratamientos, considerando la fuente de variación presincronización.

Los tratamientos son:

- Tratamiento 1: (n= 20, 16 vacas y 4 vaquillas) con una aplicación IM de dinoprost trometamina (25 mg) 10 d antes del protocolo de sincronización.
- Tratamiento 2: (n=20, 16 vacas y 4 vaquillas) con una aplicación IM de dinoprost trometamina (25 mg) 8 d antes del protocolo de sincronización.
- Tratamiento 3: (n=20, 15 vacas y 5 vaquillas) no tiene aplicación de dinoprost trometamina antes del protocolo de sincronización.

Los protocolos de presincronización se muestran en las Figuras 1, 2 y 3.



Figura 1. Protocolo de sincronización del tratamiento 1 con presincronización a 10 días.

Día -10: Aplicación IM de 25 mg de dinoprost trometamina.

Día 0: Inserción del dispositivo intravaginal (CIDR; 1.9 g de P₄ + 2 mg de CP IM).

Día 10: Retiro del CIDR + 25 mg de dinoprost trometamina + 1 mg de CP IM.

Día 11 y 12: Detección de estro e inseminación artificial 10 hrs. después del celo detectado + 200 mg de acetato de gonadorelina IM.



Figura 2. Protocolo de sincronización del tratamiento 2 con presincronización a 8 días.

Día -10: Aplicación IM de 25 mg de dinoprost trometamina.

Día 0: Inserción del dispositivo intravaginal (CIDR; 1.9 g de P₄ + 2 mg de CP IM).

Día 10: Retiro del CIDR + 25 mg de dinoprost trometamina + 1 mg de CP IM.

Día 11 y 12: Detección de estro e inseminación artificial 10 hrs. después del celo detectado + 200 mg de acetato de gonadorelina IM.

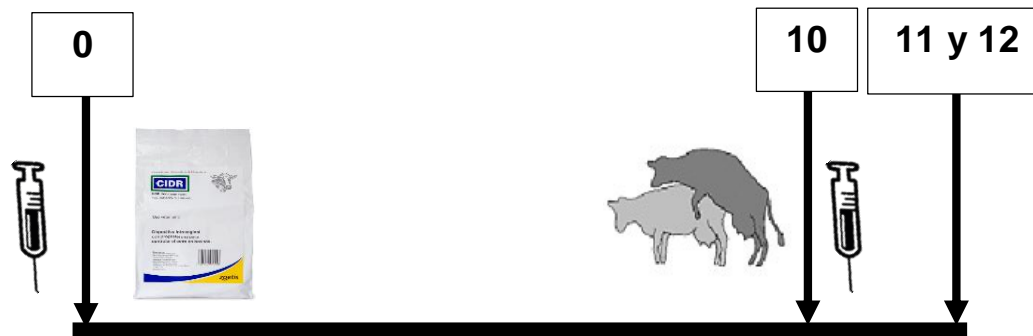


Figura 3. Protocolo de sincronización del tratamiento 3 sin presincronización.

Día 0: Inserción del dispositivo intravaginal (CIDR; 1.9 g de P₄ + 2 mg de CP IM).

Día 10: Retiro del CIDR + 25 mg de dinoprost trometamina + 1 mg de CP IM.

Día 11 y 12: Detección de celo e inseminación artificial 10 hrs. después del celo detectado + 200 mg de acetato de gonadorelina IM.

5.5 Muestreo y análisis de LH

Se hizo un muestreo sanguíneo en 8 animales por tratamiento para medir la LH, 24 h después del retiro de CIDR haciendo 9 muestreos con intervalo de 3.16 ± 0.03 h.

En la segunda parte del experimento posterior de la IA, los animales provenientes de los tres tratamientos considerando proporcionalmente si mostraron o no estro en la primera parte se reagruparon en 2 tratamientos de resincronización 7 d ó 14 d post inseminación artificial, consistió en la permanencia del CIDR 14 d ó 7 d respectivamente, siendo la fuente de variación el tiempo de permanencia del CIDR.

- Tratamiento 1: (n=30, 23 vacas y 7 vaquillas) 14 d de permanencia de CIDR.
- Tratamiento 2: (n=30, 24 vacas y 6 vaquillas) 7 d de permanencia de CIDR.

Los protocolos de resincronización se muestran en las Figuras 4 y 5.



Figura 4. Protocolo de resincronización de tratamiento 1 con 14 días de permanencia del CIDR.

Día 7: Inserción del dispositivo intravaginal (CIDR; 1.9 g de P₄).

Día 21: Retiro del CIDR.

Día 22 y 23: Detección de estro e inseminación artificial 10 hrs. después del celo detectado + 200 mg de acetato de gonadorelina IM.



Figura 5. Protocolo de resincronización del tratamiento 2 con 7 días de permanencia del CIDR.

Día 14: Inserción del dispositivo intravaginal (CIDR; 1.9 g de P₄).

Día 21: Retiro del CIDR.

Día 22 y 23: Detección de estro e inseminación artificial 10 hrs. después del celo detectado + 200 mg de acetato de gonadorelina IM.

5.6 Variables

Las variables a medir en la primera parte fueron: tiempo de retiro a estro mostrado, tiempo de retiro a IA, tasa de estro, tasa de gestación a primer servicio, tiempo de retiro de dispositivo a pico de LH, tiempo de pico de LH a IA, tiempo de inicio de celo a pico de LH, amplitud del pico de LH, concentración de LH en sangre.

En la segunda parte las variables a medir fueron: tasa de estros en repetidoras (primera y segunda resincronización), tiempo de retiro a estro mostrado (primera y segunda resincronización), tasa de gestación (primera y segunda resincronización).

5.7 Análisis estadístico

El análisis estadístico de las variables: tiempo de retiro a estro mostrado, tiempo de retiro de dispositivo a pico de LH, tiempo de pico de LH a IA, tiempo de inicio de celo a pico de LH y concentración de LH en sangre; se realizaron a través del análisis de varianza por medio del comando PROC GLM con comparación de medias a través de TUKEY.

Las variables tasa de estro, tasa de gestación se analizaron a través de ji-cuadrada, mediante el programa SAS (SAS 2003).

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 1 presenta los resultados obtenidos en las variables tasa de estro por la sincronización y tasa de gestación a primer servicio las cuales no fueron significativas entre tratamientos ($P>0.05$); sin embargo, numéricamente hablando responden de mejor manera cuando la presincronización es de 10 d, teniendo así 80% de respuesta en los bovinos trabajados, los datos coinciden con Bello *et al.* (2010), observaron un índice de celo manifiesto de 94% con protocolo CIDR. Sin embargo, Rojas (2012), obtuvo 70% de celo manifiesto con el protocolo CIDR.

Flores *et al.* (2015) obtuvieron 77% y 78% de tasa de estro mediante la aplicación de PGF2 α 14 d antes de la sincronización en vacas Holstein en el estado de Aguascalientes.

Dentro de la variable tiempo de retiro de CIDR a estro mostrado, en la Tabla 1 no se muestra diferencia estadística entre tratamientos; empero los valores obtenidos coinciden con Rojas (2012), quien obtuvo resultados de tiempo de celo de 30 h, con protocolo CIDR, 56 h con Crestar y con el protocolo Ovsynch un tiempo de 20 h en vacas lecheras del Ecuador; por otro lado Argandoña (2005) en Bolivia encontró que el tiempo de retiro a estro es de 40 h – 50 h en vacas con un parto y 51 h – 60 h en vacas con más de dos partos.

Para la variable tasa de gestación a primer servicio, en la Tabla 1 no hay diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos; sin embargo, en los Tratamientos 2 y 3, hay 10 puntos porcentuales a favor del Tratamiento 1, lo que indica que hay dos gestaciones más en los Tratamientos 2 y 3. Los resultados obtenidos son similares que los de Bó *et al.* (2006) con vacas Holstein que tenían 61.7 ± 13.6 d en lactancia, con una producción de 30.7 ± 6.8 kg de leche en Argentina con un protocolo a base de estradiol, progesterona y prostaglandina, en este trabajo se obtuvo 30% de gestación con ese protocolo.

Los resultados de Peñalba & Guerra (2013) quienes utilizando PGF2 α y DIV-B[®] retirado al octavo día obtuvieron preñeces entre 47.6% y 57.9%. Sin embargo, estos valores son superiores a los de Menjivar & Barahona (2009) quienes utilizando

DIV-B® nuevos y usados una vez y retirados al octavo día, obtuvieron preñeces entre 37% - 40 %.

En otro trabajo realizado por Souza *et al.* (2007a) en Nueva Zelanda, con vacas Holstein con una producción de 36.2 ± 0.4 kg/d, con 151.6 ± 3.5 d en lactancia y utilizando un protocolo a base de estradiol + progesterona + prostaglandina teniendo así porcentaje de 30.9%.

Por su parte Pérez *et al.* (2015) realizaron un estudio comparando dos protocolos de IATF en vacas, donde utilizaron BE y ECP como agentes inductores de la ovulación, obteniendo tasa de gestación de 33.33% en el protocolo donde utilizaron ECP.

De igual manera, Hincapié & Campo (2002) consideran que si este valor se encuentra por debajo de 45% puede significar trastornos reproductivos en las hembras y requieren de la intervención técnica.

Los datos obtenidos en la tasa de estro y tasa de gestación en la resincronización en los tres tratamientos no presenta diferencias significativas; sin embargo, hay un incremento de 45, 25 y 35 puntos porcentuales, por lo que se justifica la resincronización.

Para las variables tasa de estros en la primera y segunda resincronización de la Tabla 2 el efecto de la presincronización ya no cuenta; sin embargo, dentro de la tasa de gestación a primer servicio se acumula con el segundo y tercer servicio, no se encuentra diferencia estadística entre los tratamientos, pero la tasa de gestación final se incrementa hasta 114%, 78% y 89% respectivamente. Por ello se justifica realizar el trabajo de resincronización para posteriormente aplicar un segundo y tercer servicio con IA en bovinos doble propósito en el trópico.

Estos resultados son similares a los obtenidos por Pacheco & Rajo (2012) quienes aplicando PGF2 α al día 5 del protocolo de sincronización obtuvieron preñeces de 33.33% mientras al día 8 obtuvieron 50% de preñeces.

Estos resultados son similares a los reportados por Ayala & Castillo (2010) quienes obtuvieron resultados de 69.2% de preñez acumulada en vacas lecheras

implantadas con dispositivos intravaginal y la aplicación de GnRH al momento del servicio. Sin embargo, estos resultados son inferiores a los de Martínez (2007), quien utilizando CIDR® en ganado cebuino obtuvo 85% de preñez acumulada.

En rodeos de leche pastoriles en Argentina, Capitaine *et al.* (2007), con una tasa general de preñez de 30% por ciclo y se obtuvo una preñez de 80% a 100 días en lactancia. En un estudio posterior, las vacas fueron resincronizadas por 3 ciclos consecutivos después de la primera IA con una tasa de preñez acumulativa de 84% después del cuarto servicio, la que fue significativamente superior que la de las vacas que fueron servidas nuevamente durante el mismo periodo, pero con base a observaciones de celo en forma natural después de la primera IA (Feresin *et al.* 2006).

Al utilizar estos protocolos en Australia, Cavalieri *et al.* (2006) reportaron tasas de preñez del 41.6%; 63,3% y 71,5%, respectivamente después del primer, segundo y tercer servicio en 3,717 vacas lecheras.

En la Tabla 3 no se muestra diferencia significativa entre la tasa de estro y tasa de gestación por efecto de permanencia de dispositivos, por lo que se puede dejar el dispositivo CIDR durante 14 d o 7 d sin presentar alguna diferencia.

Investigaciones publicadas mencionan que el tratamiento de vacas con dispositivo CIDR da como resultado un retorno al celo más preciso y a la sincronización de estro más alto, que en las vacas que se detectan celos a 21 d después de la IA, Cavalieri *et al.* (2006). Estos resultados están de acuerdo con los de Macmillan *et al.* (1999) y Chenault *et al.* (2003) que encontraron mayores tasas de retorno al celo en vacas lecheras tratadas con CIDR. Por el contrario, los resultados obtenidos en el presente estudio contrastaron con los de El-Zarkouny & Stevenson (2004) quienes informaron que el tratamiento de vacas lecheras con dispositivo CIDR no aumentó las tasas de retorno general al estro de las vacas no preñadas. No coinciden con los obtenidos por Cedeño & Espinal (2009), y Guevara (2008) quienes utilizando el Dispositivo Intravaginal Bovino (DIV-B), obtuvieron porcentajes de inducción de celo de 100%.

Para las variables de la Tabla 4, en tiempo de retiro de CIDR a pico de LH no se encontró diferencia estadística entre los tres tratamientos, siendo 34.10 ± 1.85 h para pre sincronización a 10 d, 38.14 ± 1.73 h para pre sincronización a 8 d y 37.48 ± 1.85 h para el tratamiento sin pre sincronización. Los datos coinciden con los obtenidos por Xavier *et al.* (2018) los cuales a 36 h después del retiro del CIDR encontraron el pico máximo de LH en los tres tratamientos que utilizaron, con un protocolo que consistió en la administración de 2 mg de Benzoato de Estradiol + CIDR en el día 0, retiro de CIDR el día 9 + PGf2a y luego se dividen en becerros destetados durante 72 h con visualización, olfato y contacto, becerros destetados durante 72 h sin contacto con sus madres y becerros que no fueron destetados; en ganado cebú dentro en México. Dentro de la variable tiempo que transcurre de inicio de estro a pico máximo de LH, no hubo diferencia estadística entre tratamientos, siendo 4.57 ± 0.75 h para el Tratamiento 1, 6.85 ± 1.98 h para el Tratamiento 2 y 4.14 ± 1.04 h para el Tratamiento 3, los datos coinciden con los obtenidos por Ledezma *et al.* (1986) en el trópico de Veracruz, los cuales con vacas Holstein, Holstein x Cebú y vacas Cebú obtuvieron 3.7 h, 3.5 h y 3.9 h no habiendo diferencia estadística entre tratamientos respectivamente.

Para la variable tiempo de retiro de CIDR a IA no se encontró diferencia estadística significativa en los tres tratamientos, siendo 40.57 ± 1.09 h en el Tratamiento 1, 44.65 ± 1.41 h en el Tratamiento 2 y 42.20 ± 2.60 h en el Tratamiento 3.

Dentro de la variable tiempo de pico de LH a IA tampoco se encuentran diferencia estadística significativa entre los tratamientos, siendo el valor 7.34 ± 1.44 h para el Tratamiento 1, 7.75 ± 1.42 para el Tratamiento 2 y 5.82 ± 1.21 para el Tratamiento 3.

Para la variable amplitud de pico de LH no hubo diferencia estadística significativa entre los tratamientos, siendo los valores; 10.53 ± 1.40 para el Tratamiento 1, 9.36 ± 1.00 para el Tratamiento 2 y 8.27 ± 0.93 para el Tratamiento 3.

En la Tabla 5 las variables concentración de LH (ng/mL) siendo el valor 4.92 ± 0.32 para gestantes y 5.39 ± 0.47 para no gestantes, retiro de CIDR a pico de

LH (h) siendo el valor de 37.42 ± 1.04 en la condición de gestantes y 35.54 ± 2.22 en la condición de no gestantes, inicio de estro a pico de LH (h) cuyo valor fue de 5.44 ± 1.07 para las vacas gestantes y 4.44 ± 0.82 para las no gestantes, retiro de CIDR a IA (h) donde se encontraron valores de 43.12 ± 1.01 en las vacas gestantes y 41.41 ± 2.34 en las no gestantes, pico de LH a IA (h) y amplitud de LH (h); en todas las anteriores variables no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre la condición gestantes y no gestantes.

La variable concentración de LH (ng/mL) no fue estadísticamente significativa para los tratamientos pre sincronización 10 d, pre sincronización 8 d y sin pre sincronización respectivamente (Tabla 6).

Tabla 1. Tiempo de retiro a estro, tasa de estro y gestación a primer servicio en ganado bovino doble propósito sincronizado con progestágenos.

Fuente de variación	N	Tiempo de retiro a estro (h)	Coefficiente de variación (%)	Estro en la sincronización (%)	Gestación al primer servicio (%)
10 d antes de la sincronización	20	31.71±1.11	14.03	80 ^a	35 ^a
8 d antes de la sincronización	20	32.05±1.15	13.00	65 ^a	45 ^a
Sin presincronización	20	32.14±0.98	10.52	60 ^a	45 ^a

^a= medias en la misma columna e igual literal no difieren estadísticamente (P>0.05).

Tabla 2. Efecto de pre sincronización en la tasa de estro y tasa de gestación acumulada en ganado bovino doble propósito sincronizado con progestágenos.

Fuente de variación	N	Estro en la resincronización (%)	Estro en la segunda resincronización (%)	Gestación al segundo servicio (%)	Gestación al tercer servicio (%)
10 d antes de la sincronización	20	45 ^a	15 ^a	70 ^a	80 ^a
8 d antes de la sincronización	20	15 ^a	20 ^a	60 ^a	70 ^a
Sin pre sincronización	20	25 ^a	30 ^a	60 ^a	80 ^a

^a= medias en la misma columna e igual literal no difieren estadísticamente (P>0.05)

Tabla 3. Tasa de estro y gestación de repetidoras por efecto de la resincronización en ganado bovino doble propósito sincronizado con progestágenos.

Fuente de variación	N	Tasa de estro en la primera resincronización (%)	Estro en la segunda resincronización (%)	Gestación a segundo servicio (%)	Gestación a tercer servicio (%)
14 d de permanencia de CIDR	30	23.33 ^a	26.67 ^a	63.33 ^a	80 ^a
7 d de permanencia de CIDR	30	33.33 ^a	16.67 ^a	63.33 ^a	73.33 ^a

^a= medias en la misma columna e igual literal no difieren estadísticamente (P>0.05)

Tabla 4. Tiempo de retiro de CIDR y estro a pico de LH, retiro de CIDR y pico de LH a IA para la presincronización en ganado bovino doble propósito sincronizado con progestágenos.

Fuente de variación	n	Retiro CIDR a pico LH (h)	Estro a pico LH (h)	Retiro de CIDR a IA (h)	Pico de LH a IA (h)	Amplitud de LH (h)
Pre sincronización a 10 d	8	34.10±1.85 ^a	4.57±0.75 ^a	40.57±1.09 ^a	7.34±1.44 ^a	10.53±1.40 ^a
Pre sincronización a 8 d	8	38.14±1.73 ^a	6.85±1.98 ^a	44.65±1.41 ^a	7.75±1.42 ^a	9.36±1.00 ^a
Sin pre sincronización	8	37.48±1.85 ^a	4.14±1.04 ^a	42.20±2.60 ^a	5.82±1.21 ^a	8.27±0.93 ^a

^a= medias en la misma columna e igual literal no difieren estadísticamente (P>0.05), n= Número de observaciones

Tabla 5. Concentración de LH, tiempo de retiro de CIDR y estro a pico de LH, retiro de CIDR y pico de LH a IA para vacas gestantes y no gestantes doble propósito sincronizadas con progestágenos.

Fuente de variación	N	Concentración de LH (ng/mL)	Retiro CIDR a pico LH (h)	Inicio de estro a pico LH (h)	Retiro de CIDR a IA (h)	Pico LH a IA (h)	Amplitud de LH (h)
Gestantes	15	4.92±0.32 ^a	37.42±1.04 ^a	5.44±1.07 ^a	43.12±1.01 ^a	6.94±0.92 ^a	9.70±0.93 ^a
No gestantes	9	5.39±0.47 ^a	35.54±2.22 ^a	4.44±0.82 ^a	41.41±2.34 ^a	6.98±1.40 ^a	9.05±0.91 ^a

^a= medias en la misma columna e igual literal no difieren estadísticamente (P>0.05)

Tabla 6. Concentración de LH para los tratamientos en la presincronización en ganado bovino doble propósito sincronizado con progestágenos.

Muestreo	n	Pre sincronización 10 d	Pre sincronización 8 d	Sin pre sincronización
Muestra 1	24	3.70±1.02 ^a	4.98±1.12 ^a	5.19±1.21 ^a
Muestra 2	24	3.52±0.96 ^a	5.00±1.08 ^a	4.57±1.25 ^a
Muestra 3	24	3.45±1.10 ^a	4.74±0.84 ^a	5.91±2.38 ^a
Muestra 4	24	4.66±1.36 ^a	6.23±1.30 ^a	5.14±1.84 ^a
Muestra 5	24	7.43±2.56 ^a	7.77±1.79 ^a	5.70±1.33 ^a
Muestra 6	24	5.96±1.99 ^a	5.29±0.96 ^a	6.71±1.79 ^a
Muestra 7	24	4.22±1.33 ^a	4.28±0.83 ^a	5.48±1.57 ^a
Muestra 8	24	3.40±1.13 ^a	6.09±1.23 ^a	4.80±1.18 ^a
Muestra 9	24	3.52±1.05 ^a	4.42±1.00 ^a	5.48±1.33 ^a

^a= medias en la misma columna e igual literal no difieren estadísticamente (P>0.05)

VII. CONCLUSIONES

La IA en un primer servicio de vacas y vaquillas, utilizando presincronización con PGF2 α induce porcentajes de estro de 80% y 65%; no presenta diferencia estadísticamente significativa cuando no se usa pre sincronización (60%); al igual que cuando se miden los porcentajes de preñez que presentan 35%, 45% en pre sincronización y 45% sin uso de pre sincronización, no habiendo diferencia estadística entre tratamientos.

La permanencia del CIDR en la resincronización no presenta diferencia estadística significativa entre tratamientos logrando tener una gestación acumulada de 70 para 14 d de permanencia y 63.33% para 7 d de permanencia de CIDR, se concluye que utilizar la resincronización aumenta 45, 25 y 35 puntos porcentuales para la variable tasa de gestación acumulada, lo cual a la hora de mostrar los resultados a los productores se obtienen mayor cantidad de crías, por lo tanto al momento de venderlas el beneficio económico es mayor.

VIII. REFERENCIAS

- Adams, G. P. 1994. Control of ovarian follicular wave dynamics in cattle; Implications for synchronization and superstimulation. *Theriogenology* 4:19-24.
- Ahmad, N., Townsend, E. C., Dailey, R. A. and Inskeep, E. K. 1997. Relationships of hormonal patterns and fertility to occurrence of two or three waves of ovarian follicles, before and after breeding, in beef cows and heifers. *Animal Reproduction Science* 49:13-28.
- Anderson, M. L., Graham, T. W., Thurmond, M. C., Mohr, F. C., Holmberg, C. A. and Keen, C. L. 1994. Relationships between maternal and fetal liver copper, iron manganese, and zinc concentrations and fetal development in California Holstein dairy cows. *Journal. Veterinarian Diagnostic Investigation.* 6:77-87.
- Aschbacher, P. W., Smith, V. R., Stone, W. H. 1956. Observations on fertility following insemination at three stages of the same estrus. *Journal. Animal. Science.* 51:952-958.
- Ayres, H., Penteadó, L., Torres-Júnior, J., Souza, A. and Baruselli, P. S. 2006. Taxa de concepcao de vacas nelore lactantes sincronizadas com implante auricular de progestágeno asociado ao benzoato ou ao cipionato de estradiol. *Acta Scientiae Veterinariae* 34:410.
- Badinga, L., Thatcher, W. W., Wilcox, C. J., Morris, G., Entewistle, K., Wolfenson, D. 1994. Effect of season on follicular dynamics and plasma concentrations of estradiol-17 β , progesterone and luteinizing hormone in lactating holsterring cows. *Theriogenology* 42:1263-1274.
- Barrett, G. R., Casida, L. E. 1946. Time of insemination and conception rates in artificial breeding [Abstract]. *Journal. Dairy Science* 29:556.
- Barros, C. M., Moreira, B. P., Figueiredo, R. A., Teixeira, A. B., Trinca, L. A. 2000. Synchronization of Ovulation in Beef Cows (*Bos indicus*) Using GnRH, PGF2 α and Estradiol Benzoate. *Theriogenology* 53:1121-1134.
- Baruselli, P. S., Madureira, E. H. and Marques, M. O. 2001. Programas de IA a tiempo fijo en *Bos Indicus*. En: IV Simposio Internacional de Reproducción Animal. Instituto de Reproducción Animal Córdoba (IRAC). Huerta Grande, Córdoba (Argentina), Pp. 95-116.
- Baruselli, P. S., Reis, E. L., Marques, M. O., Nasser, L. F. and Bó, G. A. 2004. The use of hormonal treatments to improve reproductive performance of anestrous beef cattle in tropical climates. *Animal Reproduction Science* 82-83:479-486.
- Blake, R. W. and C. Nicholson. 2002. Livestock, land usage and environmental outcomes in the developing world. In: Eds: Owen, E., T. Smith, M. A. Steele, S.

- Anderson, A.J. Duncan, M. Herrero, J. D. Leaver, C. K. Reynolds, J. I. Richards, and J. C. Kú-Vera. Responding to the livestock revolution: the role for globalization and implication for poverty alleviation. BSAS Publication 33. Nottingham University Press. Pp.133-153.
- Bó, A. G., Baruselli, P. S., Moreno, D., Cutaia, L., Caccia, M., Triburo, R., Tributo, H., Mapletoft, R. J. 2002. The control of follicular wave Development for self-appointed embryo transfer programs in cattle. *Theriogenology* 57:23-72.
- Bó, G. A., Adams, G. P., Caccia, M., Martinez, M., Pierson, R. A. and Mapletoft, R. J. 1995. Ovarian follicular wave emergence after treatment with progestogen and estradiol in cattle. *Animal Reproduction Science* 39:193-204.
- Bó, G. A., Guerrero, D. C. and Adams, G. P. 2008. Alternative approaches to setting up donor cows for superstimulation. *Theriogenology* 69:81-87.
- Burke, J. M., De la Sota, R. L., Risco, C. A., Staples, C. R., Schmitt, E. J., Thatcher, W. W. 1996. Evaluation of timed insemination using a gonadotropin-releasing hormone agonist in lactating dairy cows. *Journal Dairy Science* 79:1385-1393.
- Caraviello, D. Z., Weigel, K. A., Fricke, P. M., Wiltbank, M. C., Florent, M. J., Cook, N. B., Nordlund, K. V., Zwald, N. R. and Rawson, C. L. 2006. Survey of management practices on reproductive performance of dairy cattle on large US commercial farms. *Journal Dairy Science* 89:4723-4735.
- Carvajal, H. R. 2009. Efecto de la aplicación de ECP o GnRH sobre la fertilidad de bovinos doble propósito. Tesis de licenciatura. Universidad del Papaloapan. Campus Loma Bonita. Loma Bonita, Oaxaca. 41 pp.
- Cavaleri, J., Hepworth, G., Fitzpatrick, L. A., Shephard, R. W. and Macmillan, D. L. 2006. Manipulation and control of the estrous cycle in pasture-based dairy cows. *Theriogenology* 65:45-64.
- Colazo, M. G., Kastelic, J. P. and Mapletoft, R. J. 2003. Estradiol cypionate (CPE) on ovarian follicular dynamics, synchrony of ovulation, and fertility in CIDR-B-based, fixed-time AI programs in beef heifers. *Theriogenology* 60:855-865.
- De la Sota, R. L., Burke, J. M., Risco, C. A., Staples, C. R., Schmitt, J. P. and Thatcher, W. W. 1996. Evaluation of timed insemination using a gonadotropin-releasing hormone agonist in lactating dairy cows. *Journal Dairy Science* 79:1385-1393.
- Delgado, C., M. Rosegrant., H. Steinfield., S. Ehui and C. Curbois. 1999. Livestock to 2020: The next food revolution. Food, Agriculture and Environmental Discussion Paper 28. IFPRI, Washington, D.C. USA.
- Diskin, M. G., Silke, V., Boland, M. P., Dillon, P., Mee, J. F. and Sreenan, J. M. 2002. Extent, pattern and factors associated with late embryonic loss in dairy cows. *Animal Reproduction Science* 71:1-12.

- Dransfield, M. B., Nebel, R. L., Pearson, R. E., Warnick, L. D. 1998. Timing of insemination for dairy cows identified in estrus by a radiotelemetric estrus detection system. *Journal Dairy Science* 81:1874-1882.
- Evans, A. C. O., O'Keeffe, P., Mihn, M., Roche, J. F., Macmillan, D. L., Boland, M. P. 2003. Effect of Estradiol Benzoate given alter prostaglandin at two staes of follicle wave development on Oestrus synchronization, the LH surge and ovualtion in heifers. *Animal Reproduction Science* 76:13-23.
- Fernández, C. B. L. 1993. Reproducción aplicada en el ganado bovino lechero. México, Trillas. 137 pp.
- Fike, K. E., Day, M. L., Inskeep, E. K., Lewis, P. E., Short, R. E., Hafs, H. D. 1997. Estrus and luteal function in suckled beef cows that were anestrous when treated with an intravaginal device containing progesterone with or without a subsequent injection of estadiol benzoate. *Journal Animal Science* 75:2009-2015.
- Floyd, L. N., Lents, C. A., White, F. J., Wettemann, R. P. 2009. Effect of number of cows in estrus and confinement área on estrous behavior of beef cows. *Journal Animal Science* 87:1998-2004.
- Foote, R. H. 1979. Time of artificial insemination and fertility in dairy cattle. *Journal Dairy Science* 62:355-358.
- Forde, N. M., Beltman, M. E., Lonergan, P., Diskin, M., Roche, J. F., Crowe, M. A. 2011. Reproductive cycles of Animals: Oestrous cycles in *Bos Taurus* cattle. *Animal Reproduction Science* 124:163-169.
- Galina, C. S., Orihuela, A. 2007. The detection of estrus in cattle raised under tropical conditions: What we know and what we need to know. *Hormones and Behavior. Journal Animal Science* 52:32-38.
- Geary, T. W., Salverson, R. R. and Whittler, J. C. 2001. Synchronization of ovulation using GnRH or hCG with the CO-Synch protocol in suckled beef cows. *Journal Animal Science* 79:2536-2541.
- Gumen, A., Keskin, A., Yilmazbas-Mecitoglu, G., Karakaya, E., Alkan, A., Okut, H. and Wiltbank, M. C. 2012. Effect of presynchronization strategy before Ovsynch on fertility at first service in lactating dairy cows. *Theriogenology* 78:1830-1838.
- Gwazdauskas, W. M., Whittier, W. D., Vinson, W. E., Pearson, R. E. 1986. Evaluation of reproductive efficiency of dairy cattle with emphasis on timing of breeding. *Journal Dairy Science* 69:290-297.
- Hafez, E. S., Hafez, E. B. 2002. Reproducción e inseminación artificial en animales domesticos. Séptima edición. Interamericana McGraw-Hill. México. 519 pp.

- Hawk, H. W. 1987. Transport fate of spermatozoa after insemination of cattle. *Journal Dairy Science* 70:1487-1503.
- Hyttel, P., Callesen, H. and Greve, T. 1997. Oocyte growth, capacitation and final maturation in cattle. *Theriogenology* 47:23-32.
- Jaiswal, R., Adams, G. P., Singh, J. and Malhi, P. 2004. Progress in understanding ovarian follicular dynamics in cattle. *Theriogenology* 69:72-80.
- Jordan, E. R., Schouten, M. J., Quast, J. W., Belschner, A. P., Tomaszewski, M. A. 2002. Comparison of two timed artificial insemination (TAI) protocols for management of first insemination postpartum. [Abstract]. *Journal Dairy Science* 85:1002.
- Kastelic, J. P., Knopf, L., Ginther, O. J. 1990. Effect of day of PGF 2α treatment on selection and development of the ovulatory follicle in heifers. *Animal Reproduction Science* 23:169-180.
- King, G. J., Hurnik, J. F., Robertson, H. A. 1976. Ovarian function and estrus dairy cows during early lactation. *Journal Animal Science* 47:688-692.
- Lane, E. A., Austin, E. J., Roche, J. F., Crowe, M. A. 2001. The effect of estradiol benzoate or a synthetic gonadotropin-releasing hormone used at the start of a progesterone treatment on estrous response in cattle. *Theriogenology* 56:79-90.
- Lauderdale, J. W., Seguin, B. E., Stellflug, J. N., Chenault, J. R., Thatcher, W. W., Vicent, C. K., Loyancano, A. F. 1974. Fertility of cattle following PGF 2α injection. *Journal Animal Science* 38:964-967.
- Lauderdale, J.W. 1972. Effects of PGF 2α injection on pregnancy and estrous cycle of cattle [Abstract]. *Journal Animal Science* 35(Suppl.):246.
- Laverdiere, G., Roy, G. L., Proulx, J., Lavoie, D., Dufour, J. J. 1995. Estrus synchronization efficiency of PGF 2α injection in Shorthorn-Hereford and crossbred Charolais cattle not having exhibited estrus at 4 or 7 days prior to treatment. *Theriogenology* 43:899-911.
- Leitman, N. R., Bushm D. C., Wilson, D. J., Mallory, D. A., Ellersieck, R. R., Smith, M. F., Patterson, D. J. 2009. Comparison of controlled internal drug release insert-based protocols to synchronize estrus in prepubertal and estrous cycling beef heifers. *Journal Animal Science* 87:3976-3982.
- Lima da Costa, A. N., Alencar de Araujo, A., Feitosa, J. V. 2011. Particularities of bovine Artificial Insemination, Capitulo 10, en: *Artificial Insemination in Farm Animals*. Milad Manafi. India. 312 pp.

- Lucy, M. C. and Stevenson, J. S. 1986. Gonadotropin-Releasing hormone at estrus: luteinizing hormone, estradiol, and progesterone during the peri-estrus and postinsemination periods in dairy cattle. *Biology of Reproduction* 35:300-311.
- Lucy, M. C., Bass, J. J., Blache, D., Burke, C. R., Kay, J. K., Lindsay, D. R., Martin, G. B., Meier, S., Rhodes, F. M., Roche, J. R., Thatcher, W. W. and Webb, R. 2007. New perspectives on the roles of nutrition and metabolic priorities in the subfertility of high-producing dairy cows. *Journal Dairy Science* 90:4022-4032.
- Lucy, M. C., Billings, Y. J., Butler, W. R., Ehnis, L. R., Fields, M. J., Kesler, D. J., Kinder, J. E., Mattos, R. C., Short, R. E., Thatcher, W. W., Wettemann, R. P., Yelich, J. V., Hafs, H. D. 2001. Efficacy of an intravaginal progesterone insert and an injection of PGF2 α for synchronizing estrus and shortening the interval to pregnancy in postpartum beef cows, peripubertal beef heifers, and dairy heifers. *Journal Animal Science* 79:982-995.
- Lucy, M. C., McDougall, S. and Nation, D. P. 2004. The use of hormonal treatments to improve the reproductive performance of lactating dairy cows in feedlot or pasture-based management systems. *Animal Reproduction Science* 82-83:495-512.
- Macmillan, K. L., Henderson, H. V. 1984. Analyses of the variation in the interval from an injection of PGF2 α to oestrus as a method of studying patterns of follicle development during dioestrus in dairy cows. *Animal Reproduction Science* 6:245-254.
- Macmillan, K. L., Paterson, A. J. 1993. A new intravaginal progesterone releasing device for cattle (CIDR-B) for oestrus synchronization, increasing pregnancy rates and the treatment of post-partum anoestrus. *Animal Reproduction Science* 33:1-25.
- Macmillan, K. L., Rhodes, F. M., Clark, B. A. and McDougall, S. 1999. Insemination at the second of two induced oestrous periods in anoestrous dairy cows increases conception rates to first service. *New Zealand Veterinary Journal* 47:39-43.
- Macmillan, K. L., Segwagve, V. E., Pino, C. S. 2003. Associations between the manipulation of patterns of follicular Development and fertility in cattle. *Animal Reproduction Science* 78:327-344.
- Magaña, M. J. G., A. G. Ríos & J. C. Martínez. 2006. Los Sistemas de Doble Propósito y los Desafíos en los Climas Tropicales de México. *Archivo Latinoamericano Producción Animal* 14 (3):105-114.
- Mantovani, A. P., Nichi, M., Sá Filho, M. F., Ayres, H., Vettorato, L. F., Bó, G. A. and Baruselli, P. S. 2004. Follicular growth and plasma progesterone patterns in *Bos indicus* x *Bos Taurus* heifers submitted to different PGF2 α /progesterone-based synchronization protocols. *Animal Reproduction Science* 7:91-96.

- Marquez, M. O., Ayres, H., Reis, E. L., Mapletoft, R. J. and Baruselli, P. S. 2004. Efeito do Cipionato e do Benzoato de estradiol na taxa de prenhez de vacas nelore inseminadas em tempo fixo. *Acta Scientiae Veterinariae* 32:222.
- Martinez, P. E., Chung, Y. H., Brown, N. E., Cassidy, T. W. and Varga, G. A. 2009. Effects of rumen-protected choline and dry propylene glycol on feed intake and blood parameters for Holstein dairy cows in early lactation. *Journal Dairy Science* 92:2729-2736.
- Martinez, P. E., Koch, R. M., Cundiff, L. V., Gregory, K. E. and Dale Van Vleck, L. 2004. Number of calves born, number of calves weaned, and cumulative weaning weight as measures of lifetime production for Hereford cows. *Journal Animal Science* 82:1903-1911.
- McDonald, L. E. 1991. *Endocrinología veterinaria y reproducción*. Cuarta edición. Ed. Interamericana McGraw-Hill. México, D.F. 416 pp.
- Mihm, M., Bleach, E. C. L. 2003. Endocrine regulation of ovarian antral follicle development in cattle. *Animal Reproduction Science* 78:217-237.
- Moreira F., Orlandi, C., Risco, C. A., Mattos, R., Lopes, R. and Thatcher, W. W. 2001. Effects of Presynchronization and bovine somatotropin on pregnancy rates to a timed artificial insemination protocol in lactating dairy cows. *Journal Dairy Science* 84:1646-1659.
- Murugavel, K. 2003. Reproductive performance of dairy cows following different estrous synchronization protocols. Ph. Dissertation. Universidad Autónoma de Barcelona. Barcelona, España. 137 pp.
- Nasser L.F., Penteado L., Rezende C.R., Sá Filho M., Baruselli P.S. 2011. Fixed time Artificial Insemination and Embryo Transfer Programs in Brasil. *Acta Scientiae Veterinariae* 39:15-22.
- Nebel, R. L., Dransfield, M. G., Jobst, S. M., Bame, J. H. 2000. Automated electronic systems for the detections of estrus and timing of AI in cattle [Abstract]. *Animal Reproduction Science* 60-61:713-723.
- Nebel, R. L., Walker, W. L., McGilliard, M. L., Allen, C. H., Feckman, G. S. 1994. Timing of insemination of dairy cows: fixed time once daily versus morning and afternoon. *Journal Dairy Science* 77:3181-3191.
- Odde, K. G. 1990. A review of synchronization of estrus in postpartum cattle. *Journal Animal Science* 68:817-830.
- Pancarci, S. M., Jordan, E. R., Risco, C. A., Schouten, M. J., Lopes, F. L., Moreira, F., Thatcher, W. W. 2002. Use of Estradiol Cypionate in a presynchronized timed artificial insemination program for lactating dairy cattle. *Journal Dairy Science* 85:122-131.

- Penteado, L., Sá Filho, M., Martins, C., Gimenes, L., Ayres, H. and Baruselli, P. 2005. Variacao na taxa de concepcao de vacas nelore lactantes sincronizadas com dispositivo intravaginal de progesterona asociado ao Benzoato ou ao Cipionato de estradiol. *Acta Scientiae Veterinariae* 33:260.
- Pursley, J. R., Mee, M. O. and Wiltbank, M. C. 1995. Synchronization of ovulation in dairy cows using PGF₂ α and GnRH. *Theriogenology* 44: 915-923.
- Pursley, J. R., Silcox, R. W. and Wiltbank, M. C. 1998. Effect of time of artificial insemination on pregnancy rates, calving rates, pregnancy loss, and gender ratio after synchronization of ovulation in lactating dairy cows. *Journal Dairy Science* 81:2139-2144.
- Pursley, J. R., Wiltbank, M. C., Stevenson, J. S., Ottobre, J. S., Garverick, H. A. and Anderson, L. L. 1997. Pregnancy rates per artificial insemination for cows and heifers inseminated at a synchronized ovulation or synchronized estrus. *Journal Dairy Science* 80:295-300.
- Ramírez, G. J. A., Miller, G. B. 2004. Adelantos biotecnológicos en reproducción animal aplicada a bovinos de carne. Colección: Textos Universitarios. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, Chih. México. 171 pp.
- Rathbone, M. J., Bunt, C. R., Ogle, C. R., Burggraaf, S., Macmillan, K. L. and Pickering, K. 2002. Development of an injection molded poly (caprolactone) intravaginal insert for the delivery of progesterone to cattle. *Journal of Controlled Release* 85:61-71.
- Richardson, A. M., Stevenson, J. S., Johnson, S. K., Medina-Britos, M. A. and Lamb, G. C. 2003. Resynchronization of estrus in cattle of unknown pregnancy status using estrogen, progesterone, or both. *Journal Animal Science* 81:1681-1692.
- Rivera, H., López, H., Fricke, P. M. 2005. Use of intravaginal Progesterone-Releasing Inserts in a Synchronization Protocol before Timed AI and for Synchronizing Return to Estrus in Holstein Heifers. *Journal Dairy Science* 88:957-968.
- Roche, J. F. 1974. Synchronization of oestrus and fertility following artificial insemination in heifers given PGF₂ α . *Journal Reproduction Fertility* 37:135-138.
- Rodríguez-Hernández, T. J., Espinoza, J., Verde, O. 1995. Efecto del momento de inseminación artificial, masaje clitórico, temperatura rectal y otros factores sobre la preñez en bovinos. *Zootecnia Tropical* 13:129-149.
- Roelofs, J., López-Gatius, F., Hunter, R. H. F., Van Eerdenburg, F. J. C. M., Hanzen, Ch. 2010. When is a cow in estrus? Clinical and practical aspects. *Theriogenology* 74:327-344.

- Romero, M. E. S. 2006. Dos fuentes de PGF2 α en respuesta al estro y fertilidad en bovinos de carne. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Zootecnia. Chihuahua, Chih., México. 73 pp.
- Rorie, R. W., Bilby, T. R., Lester, T. D. 2002. Application of electronic estrus detection technologies to reproductive management of cattle. *Theriogenology* 57:137-148.
- Sá Filho, O. G., Patterson, D. J., Vasconcelos, J. L. M. 2009. Development of estrous synchronization protocols using melengestrol acetate in *Bos indicus* cattle. *Journal Animal Science* 87:1981-1990.
- Salverson, R. R., De Jarnette, J. M., Marshall, C. E., Wallace, R. A. 2002. Synchronization of estrus in virgin beef heifers using melengestrol acetate and PGF2 α : and efficacy comparison of cloprostenol and dinoprost tromethamine. *Theriogenology* 57:853-858.
- Schmitt, E. J. P., Burke, J. M., De la Sota, R. L., Risco, C. A., Staples, C. R. and Thatcher, W. W. 1996. Evaluation of timed insemination using a Gonadotropin-Releasing hormone agonist in lactating dairy cows. *Journal Dairy Science* 79:1385-1393.
- Senger, P. L. 1994. The estrus detection problema: new concepts, technologies, and possibilities. *Journal Dairy Science* 77:2745-2753.
- Stevenson, J. S., Call, E. P. 1983. Influence of early estrus, ovulation, and insemination postpartum Holstein cows. *Theriogenology* 19:367-375.
- Stevenson, J. S., Johson, S. K., Medina-Britos, M. A., Richardson-Adams, A. M., Lamb, G. C. 2003. Resynchronization of estrus in cattle of unknown pregnancy status using estrogen, progesterone, or both. *Journal Animal Science* 81:1681-1692.
- Stevenson, J. S., Kobayashi, Y. and Thompson, K. E. 1999. Reproductive performance of dairy cows in various programmed breeding systems including ovsynch and combinations of Gonadotropin-Releasing hormone and PGF2 α . *Journal Dairy Science* 82:506-515.
- Tewolde, A., J. C. Martínez G., E. Gutiérrez O. y J.G. Magaña. 2002. Utilización estratégica de los recursos genéticos para la intensificación de los sistemas de producción bovina de doble propósito. Memorias. IX Curso Internacional de Reproducción Bovina.
- Thatcher, W. W., Bilby, T. R., Block, J., do Amaral, B. C., Sa Filho, O., Silvestre, F. T., Hansen, P. J. and Staples, C. R. 2006. Effects of dietary unsaturated fatty acids on Oocyte quality and follicular development in lactating dairy cows in summer. *Journal Dairy Science* 89:3891-3903.

- Thatcher, W. W., Mcmillan, K L., Hansen, P. J., Drost, M. 1989. Concepts for regulation of corpus luteum function by the conceptus and ovarian follicles to improve fertility. *Theriogenology* 31:149-164.
- Trimberger, G. W. 1948. Conception rate in dairy cattle by artificial insemination at various intervals before and after ovulation. *Journal Dairy Science* 27:659-660.
- Trimberger, G. W., Davis, H. P. 1943. Breeding efficiency in dairy cattle bred at various stages of estrus by artificial insemination. *Journal Dairy Science* 26:757-759.
- Twagiramungu, H., Guilbault, L. A., Proulx, J. G., Dufour, J. J. 1995. Norgestomet and gonadotropin-releasing hormone enhance corpus luteum function and fertility of postpartum suckled beef cows. *Journal Animal Science* 71:2579-2585.
- Walker, W. L., Nebel, R. L., McGilliard, M. L. 1996. Time of ovulation relative to mounting activity in dairy cattle. *Journal Dairy Science* 79:1555-1561.
- Wiltbank, M. C., Sartori, R., Bergfelt, R. S., Mertens, S. A., Guenther, J. N. and Parrish, J. J. 2002. Fertilization and early embryonic development in heifers and lactating cows in summer and lactating and dry cows in winter. *Journal Dairy Science* 85:2803-2812.
- Yelich, J. V., Geisert, R. D., Schmitt, R. A. M., Morgan, G. L., McCann, J. P. 1997. Persistence of the dominant follicle during megestrol acetate administration and its regression by exogenous estrogen treatment in beef cattle. *Journal Animal Science* 75:745-757.
- Yelich, J. V., Mauck, H. S., Holland, M. D., Odde, K. G. 1995. Synchronization of estrus in suckled postpartum beef cow with melengestrol acetate and PGF₂α [Abstract]. *Theriogenology* 43:389-400.
- Youngquist, R. S., Threlfall, W. R. 2007. Current therapy in large animal. *Theriogenology*. Saunders Elsevier. United States of America. 1088 pp.