

CAPÍTULO XIX

PROTOCOLOS PARA LA SINCRONIZACIÓN DEL CELO Y LA OVULACIÓN EN BOVINOS

- I. INTRODUCCIÓN
- II. DINÁMICA FOLICULAR OVÁRICA Y LA SINCRONIZACIÓN DEL CELO Y DE LA OVULACIÓN
- III. EVALUACIÓN DE LOS PROTOCOLOS DE SINCRONIZACIÓN Y OVULACIÓN
- IV. PROTOCOLOS PARA LA SINCRONIZACIÓN DEL CELO Y LA OVULACIÓN
- V. FACTORES DE MANEJO QUE AFECTAN LA SINCRONIZACIÓN DEL CELO
- VI. CONCLUSIONES
- VII. LITERATURA CITADA

I. INTRODUCCIÓN

La sincronización del celo a través del uso de fármacos, ha sido usada para mejorar la eficiencia reproductiva en el ganado. Los protocolos para sincronización del celo estuvieron originalmente orientados hacia la disminución del tiempo empleado en la detección del estro. Uno de los factores que causa mayores limitaciones en el rendimiento reproductivo del ganado bovino, es la falla en la detección de celo en una forma eficiente y precisa que permita una inseminación a tiempo para lograr una buena eficiencia reproductiva en el rebaño [30]. Se ha reportado una alta correlación (0.92) entre un largo intervalo entre partos y la falla en la detección del estro, mientras que la correlación entre éste parámetro y la tasa de concepción es sólo de 0.32; esto indica que la detección de celo juega un papel primordial cuando se usa inseminación artificial. Es evidente que la búsqueda para la solución de este problema de manejo llevó a idear mejores protocolos para la sincronización del celo y la ovulación, que al ser más eficientes durante el servicio permiten mantener índices de fertilidad adecuados. Idealmente, un protocolo de sincronización del estro debe producir un estro fértil y una alta respuesta de sincronización, cuando es utilizado en un grupo de hembras [31].

La regulación del ciclo estral es una alternativa para obviar la detección del estro. El propósito es controlar el momento del celo y por lo tanto el momento de la ovulación [20]. Esto haría posible incrementar el porcentaje de hembras inseminadas en el rebaño durante el período deseado de servicios. Si no se puede eliminar la detección de celo, al menos el trabajo requerido para tener una observación diaria de hembras para la detección del celo, podría reducirse agrupando a los animales y concentrando los esfuerzos de detección durante períodos previamente predeterminados.

Asimismo, la regulación del ciclo estral debe ser una estrategia económicamente factible. La inversión en productos utilizados para la sincronización del celo y ovulación, así como el trabajo requerido para la detección del celo, deben ser menores que la ganancia obtenida a través del aumento del número de vacas que conciben durante el período de sincronización. La inversión debe incluir (i) el costo del tratamiento, (ii) el número de veces que el animal necesita ser manejado y (iii) los cambios favorables en la tasa de concepción. Algunos aspectos deseables que debe reunir un buen protocolo de sincronización, incluyen: (i) alta tasa de respuesta al tratamiento cuando este se inicia en cualquier fase del ciclo estral; (ii) alta sincronía del momento del estro y de la ovulación; (iii) fertilidad normal y retorno normal al celo con elevada fertilidad en los servicios siguientes [20].

II. DINÁMICA FOLICULAR OVÁRICA Y LA SINCRONIZACIÓN DEL CELO Y DE LA OVULACIÓN

Una precisa sincronización del celo depende del control del cuerpo lúteo (CL) y del desarrollo folicular ovárico [13]. Esto se confirma por diversas observaciones que demostraron que la sincronía de la onda de LH en respuesta a la luteólisis inducida por prostaglandina $F_{2\alpha}$ ($PGF_{2\alpha}$), depende de la homogeneidad existente al mo-

mento del tratamiento en la población de folículos grandes entre las hembras [45]. Con base a estudios morfológicos e histológicos de los ovarios en bovinos, se concluyó que la actividad folicular durante el ciclo estral ocurre en ondas [35]. El uso del ultrasonido reveló que ocurren dos [15, 16] o tres [39, 44] ondas de crecimiento folicular durante el ciclo estral en bovinos. El inicio de la primera onda de crecimiento folicular durante el ciclo estral se detecta en los ovarios como una cohorte de folículos de 4 mm de diámetro que aparece en el ovario el día antes de la ovulación. Durante los próximos días, uno de esos folículos se hace dominante y los otros se hacen folículos subordinados. Una segunda onda emerge alrededor de 10 días después de la ovulación, y si el ciclo es de tres ondas, entonces una tercera onda folicular aparece el día 16 del ciclo estral. El folículo ovulatorio se origina de la última onda [17]. Existen numerosos reportes en la literatura [8, 12, 14-16, 25, 37] sobre la dinámica folicular durante el ciclo estral en el bovino, debido al interés que representa como información básica para el diseño de protocolos para la sincronización del celo y la ovulación y para los programas de superovulación.

III. EVALUACIÓN DE LOS PROTOCOLOS DE SINCRONIZACIÓN Y OVULACIÓN

Diferentes parámetros han sido usados para evaluar los protocolos de sincronización [23]; entre ellos se indican: (i) *Tasa de sincronización*: definida como el número de animales que presentan celo durante los cinco a siete días siguientes a la aplicación del tratamiento, dividido por el número de animales que recibieron el tratamiento; (ii) *Tasa de preñez*: se define como el número de hembras que conciben, después de la inseminación artificial, en los cinco o siete días siguientes al tratamiento, dividido por el número de hembras inseminadas y, (iii) *Tasa de concepción*: definida como el número de hembras que conciben en los cinco a siete días siguientes al tratamiento, después de la inseminación artificial, dividido por el número de hembras en celo durante los cinco a siete días siguientes al tratamiento.

IV. PROTOCOLOS PARA LA SINCRONIZACIÓN DEL CELO Y LA OVULACIÓN

La sincronización del estro implica la manipulación del ciclo estral o la inducción del celo, de manera tal de provocar que un gran número de un grupo de hembras, entren en celo en un tiempo predeterminado [31]. El desarrollo de los sistemas de regulación del celo y la ovulación en el bovino, se ha dividido en cuatro fases. Durante la *primera fase*, que se inicia en 1960, se utilizaron numerosos compuestos progestacionales a través de diferentes métodos, tales como la alimentación, adición al agua de bebida, implantes subcutáneos, aplicaciones tópicas y dispositivos intravaginales. En estos casos el celo ocurría en 80 a 90% de los animales tratados, en un período de 4 días después del retiro del progestágeno; sin embargo, la tasa de concepción no era mayor a 10 ó 15%, comparada con la tasa de concepción de hembras no tratadas. La *segunda fase* se caracterizó por intentos para combinar progestágenos y estrógenos o gonadotrofinas, con el objetivo de te-

ner un mayor control del celo y la ovulación. Aunque estos protocolos resultaron en mejores tasas de concepción y sincronización del celo, en algunos casos no fueron muy exitosos. La *tercera fase* se inició alrededor de 1972, luego del advenimiento y demostración de los efectos luteolíticos de la $\text{PGF}_{2\alpha}$ en vacas [38]. En la *cuarta fase* se combinó el uso de progestágenos y $\text{PGF}_{2\alpha}$.

En la década del '90, se desarrollaron protocolos que sincronizan el desarrollo de ondas foliculares ováricas para mejorar la precisión del celo después de la inducción del mismo y sincronizar la ovulación con el objetivo de permitir la IA en un tiempo predeterminado. Estos protocolos incluyen el uso de un agonista de la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH) y de un agente luteolítico [49].

Una gran variedad de compuestos hormonales han sido utilizados para sincronizar el celo. Muchos de los protocolos de sincronización disponibles utilizan agentes luteolíticos o progestágenos [31]. El celo es la consecuencia del crecimiento coordinado de un folículo ovárico y del aumento en la secreción de estradiol acoplada con la lisis del CL [9, 10]. Por esa razón la regulación del crecimiento folicular y la secreción de estradiol combinada con la regulación de la actividad luteal pueden proveer un medio para aumentar la precisión de la sincronización del celo y para optimizar la fertilidad [13, 18, 26, 27, 40].

1. Sincronización del Estro a través del Uso de Progesterona (P₄) o Progestágenos

Progesterona y progestágenos han sido usados para sincronizar el celo, desde 1951 [50] por su efecto de supresión del estro [31]. Dichos compuestos han sido administrados a través de diferentes vías, desde inyecciones diarias, dispositivos intravaginales liberadores del compuesto, y a través del alimento. Uno de los compuestos usados por vía oral (administración con el alimento) es el progestágeno sintético acetato de melengestrol (MGA). Una revisión de 24 estudios demostró la efectividad del MGA como agente sincronizante, administrado en el alimento por 10-18 días; la tasa de hembras tratadas con MGA que presentaron celo en un período de 6 días después del retiro del compuesto, fue similar al porcentaje de las hembras del grupo control que presentaron celo durante un período de 20 días. Sin embargo, la tasa de concepción fue 14% mas baja que en el grupo control. Recientemente, se ha demostrado que el tratamiento de ganado bovino con progestágenos durante la fase folicular del ciclo estral causa el desarrollo de folículos persistentes que promueven una baja fertilidad [41, 46]. El folículo se mantiene, ya que en ausencia de un CL, y bajo la administración del progestágeno, la frecuencia de pulsos de secreción de LH aumenta, presentando el patrón típico que se observa durante la fase folicular del ciclo estral, lo que ocasiona que se mantenga el crecimiento del folículo y resulte en bajas tasas de concepción.

Otra forma de administrar los progestágenos es a través de dispositivos intravaginales, que permiten la liberación continua de progesterona y eliminan la necesidad de inyecciones diarias o el suministro en el alimento. Al igual que la administración de MGA con el alimento, la introducción de un dispositivo intravaginal liberador de P₄, por 14 ó 21 días, resulta en excelentes tasas de sincronización aunque con bajas tasas de concepción [27, 36]. Sin embargo, el tratamiento con P₄ por períodos mas cortos sin el uso de un agente luteolítico, no resulta en tasas de

sincronización aceptables debido a que la P_4 liberada por el dispositivo tiene efectos variables sobre el CL [27], disminuyendo la síntesis luteal de P_4 y aumentando su sensibilidad a la $PGF_{2\alpha}$. Esto no ocurre si el tratamiento se lleva a cabo hacia la mitad del ciclo (días 9 a 11) [6, 27]. Por esas razones, los protocolos de sincronización del estro que incorporan dispositivos liberadores de P_4 por un período corto, deben involucrar también el uso de agentes luteolíticos, ya sea estrógenos o $PGF_{2\alpha}$.

a. Combinación de progesterona/progestágenos con estrógenos

Se ha señalado que los estrógenos son agentes luteolíticos cuando se administran en la etapa inicial del ciclo estral [52], como sucede al inicio de un tratamiento con progestágenos durante nueve días [54]. La función de los estrógenos es la de servir como un agente luteolítico y la del progestágeno fue inhibir el desarrollo del CL en animales que hubiesen ovulado recientemente o prevenir la ovulación si el tratamiento se inició en la última fase del ciclo. El tratamiento con un implante que contiene 6 mg de norgestomet (progestágeno) por 9 días y una inyección de 5 mg de valerato de estradiol más 3 mg de norgestomet, administrados en el momento de inserción del implante, logró sincronizar el estro en forma exitosa [51].

Este tratamiento está disponible comercialmente bajo la forma de Synchro-Mate B. Las tasas de sincronización después de un tratamiento con Synchro-Mate B son altas, entre 77 y 100%; sin embargo, la tasa de concepción está influenciada por el día del ciclo en que se inicia el tratamiento [31]. Un aspecto importante es la observación que la inyección de valerato de estradiol afecta la dinámica folicular [2, 4], disminuyendo el tamaño de los folículos de mayor desarrollo en el ovario, cuando el inicio del tratamiento con norgestomet se efectuó dos días después del celo, trayendo como consecuencia que se reclutara una nueva cohorte de folículos [4]. Sin embargo, son variados los resultados obtenidos usando este esquema de sincronización, debido al efecto del valerato de estradiol sobre el folículo dominante que puede atribuirse a la larga vida media del valerato de estradiol [4], lo que pudiera ser mejorado usando benzoato de estradiol. Una reducida fertilidad después del tratamiento con Synchro-Mate B ha sido atribuida a la presencia de estros anovulatorios o a un desfase entre el momento del servicio y la maduración del folículo preovulatorio y la ovulación [5].

b. Combinación de progesterona/progestágenos con $PGF_{2\alpha}$

Se ha propuesto el uso de dispositivos liberadores de progesterona y el uso de $PGF_{2\alpha}$, en el momento de retirar el implante, o 24 a 48 h antes de la remoción del mismo; el implante o el dispositivo liberador de P_4 se deja por 7 a 9 días, y la inyección de $PGF_{2\alpha}$ se realiza 24 ó 48 h después de la remoción del implante, con el objeto de aumentar la precisión del celo y permitir una inseminación a tiempo pre-determinado [27, 47]. Es posible que la administración de $PGF_{2\alpha}$ y la remoción del implante conlleven a un aumento en la frecuencia de liberación de pulsos de LH, lo que permite un desarrollo más homogéneo del folículo pre-ovulatorio y un aumento en la precisión del celo.

2. Sincronización del Estro Usando PGF_{2α}

La PGF_{2α} y sus análogos sintéticos (cloprostenol, fenprostalene y alfaprostol) son los compuestos más usados para el control del ciclo estral en bovinos. La PGF_{2α} induce la regresión del CL, seguido por un aumento en la frecuencia de pulsos de LH induciendo la maduración y la ovulación del folículo dominante. Durante los cinco días siguientes al estro la PGF_{2α} no es efectiva para inducir la luteólisis [21]. Receptores con alta afinidad para PGF_{2α} están presentes en las células luteales desde dos días después de la ovulación, aparentemente esta falta de respuesta es probablemente debido a un defecto en la unión de los receptores de PGF_{2α} a segundos mensajeros intracelulares, o a una incompleta diferenciación de los mecanismos degenerativos en las células luteales recientemente diferenciadas [53]. Son muchos los sistemas de sincronización del estro basados en el uso de PGF_{2α} [31].

a. Sistema usando dos inyecciones de PGF_{2α}

Uno de los métodos utilizando únicamente PGF_{2α} es administrando dos inyecciones con 10 a 12 días de intervalo. Si un rebaño de hembras bovinas se distribuye equitativamente a través de los días del ciclo estral, aproximadamente 70% de las hembras mostrará celo después de la primera inyección. Estas hembras más aquellas que no presentaron celo con la primera inyección, deberían responder a la segunda inyección. Una evaluación del sistema de dos inyecciones en 24 rebaños de vacas de carne lactantes y 22 rebaños de novillas de carne permitió observar que la tasa de preñez, después de 5 días del tratamiento, en hembras inseminadas al ser observadas en celo, fue similar a la tasa de preñez en hembras inseminadas 80 h después de la segunda inyección, y fue superior en ambos grupos que en el grupo de hembras que no recibieron el tratamiento [22]. El intervalo desde la inyección al inicio del celo es mayor en vacas que en novillas [19].

Se ha demostrado que el estadio del ciclo estral, dentro de la fase luteal, en que se administra la PGF_{2α}, y el intervalo desde la inyección de PGF_{2α}, hasta el inicio del celo afecta la proporción de hembras que muestran celo [19]. Es mayor el porcentaje de hembras que muestran celo después del tratamiento, cuando la inyección se administra entre los días 10 y 15 del ciclo, pero el celo aparece más tarde que hembras inyectadas entre el día 5 y 9 del ciclo estral. Esta respuesta es posiblemente atribuida a la presencia de un folículo dominante entre los días 5 y 9 del ciclo, que es capaz de ovular si se le suministra el ambiente hormonal adecuado.

b. Sistema usando una inyección de PGF_{2α}

Las prostaglandinas también han sido usadas en programas de una sola inyección. Uno de los métodos más populares ha sido detectar el estro e inseminar durante un período de 4 días, e inyectar con PGF_{2α} el día 5, a todas aquellas hembras que no mostraron celo en los cuatro días anteriores, continuar la observación y detección del estro y entonces inseminar desde el día 5 al 9 [31]. Este sistema requiere de mayor mano de obra para la detección del celo y la inseminación pero utiliza menos PGF_{2α} que el sistema de dos inyecciones. Este sistema aumenta la tasa de preñez de vacas o novillas [24]. Otro sistema descrito es el que utiliza una

sola inyección de $\text{PGF}_{2\alpha}$ y se detecta celo durante 5 días, inseminando todas aquellas hembras que aparezcan en celo.

3. Sincronización del Crecimiento de Ondas Foliculares

El estro es una combinación de la pérdida de la funcionalidad del cuerpo lúteo y el crecimiento coordinado de un folículo productor de estrógenos [9, 10] que ovulará bajo la influencia de un ambiente hormonal adecuado. Por lo tanto, es necesario que exista un sistema que coordine tanto el crecimiento folicular como la regresión del CL, de manera que se obtenga un celo mas preciso y de buena fertilidad. El crecimiento folicular puede ser sincronizado de diferentes formas, ya sea mediante el uso de progesterona, estradiol o la combinación de ambos, como a través de la ablación folicular o del uso de hormona de liberación de las gonadotropinas (GnRH) o sus agonistas [49]. El objetivo de los progestágenos o los agentes luteolíticos principalmente está enfocado a disminuir la duración de la fase luteal del ciclo estral. El uso de progesterona/progestágenos, en altas dosis, puede suprimir la secreción de LH por lo que el folículo dominante no continúa creciendo y ocurre un recambio folicular [1]. Los tratamientos con estradiol, administrados conjuntamente con progestágenos o no, pueden inducir el recambio folicular [2, 4]. La ablación del folículo dominante, ya sea por electrocauterización o por aspiración por colpotomía, también resulta en el reclutamiento de una nueva onda folicular [1, 55]. Sin embargo, el uso de ambas técnicas no resulta práctico para un programa de sincronización a gran escala. Una forma de eliminar el folículo dominante es promoviendo la ovulación o la luteinización del folículo dominante a través del uso de GnRH o sus agonistas, para iniciar el reclutamiento de una nueva onda de crecimiento folicular [28, 48]. La administración de GnRH o sus agonistas induce una onda de LH y FSH [11]. La LH induce la ovulación y la luteinización de los folículos grandes que puedan estar presentes en los ovarios al momento del tratamiento [28, 49]. La eliminación del folículo dominante permite una onda endógena de FSH, que conjuntamente con la onda inducida por GnRH, inicia el reclutamiento de una nueva onda folicular.

La sincronización del celo usando GnRH, seguida 7 días mas tarde por una inyección de $\text{PGF}_{2\alpha}$ se ha comparado con el sistema de sincronización usando una inyección de $\text{PGF}_{2\alpha}$ [28]. Los resultados indicaron que hubo un incremento en la tasa de detección del celo y que también aumentó la sincronía de los estros, presentándose, los mismos en un período de 2 a 3 días después de la inyección de $\text{PGF}_{2\alpha}$.

a. Sincronización de crecimiento folicular con progestágenos

La sincronización del estro usando progesterona/progestágenos por un período de 18 a 21 días, realmente sincroniza el desarrollo folicular. Durante este período el cuerpo lúteo sufre regresión y el folículo dominante es mantenido en ese ambiente de bajas concentraciones de progesterona, lo que permite que los pulsos de liberación de LH sean mas frecuentes, permitiendo que el folículo sea estimulado a crecer y aumente la precisión en la sincronización del celo [27]; sin embargo, como se mencionó previamente, la fertilidad obtenida fue baja. Asimismo, se ha reportado que la administración de progesterona o de progestágenos suprime la secreción de LH que sirve de soporte al folículo dominante y entonces se induce

atresia folicular [1]. Esta pérdida de la capacidad dominante del folículo es seguida por un aumento en la secreción de FSH y por lo tanto del reclutamiento de una nueva onda folicular. En resumen, a través de la inducción de la regresión del folículo dominante, la progesterona puede inducir el reclutamiento de una onda folicular.

b. Sincronización de ondas foliculares con estradiol/estrógenos

Igualmente, como se describió anteriormente, el valerato de estradiol, administrado en combinación con un progestágeno, puede alterar el patrón de crecimiento folicular e inducir el reclutamiento de una onda folicular [2, 4]. Este es posiblemente el efecto que causa el estrógeno utilizado en los tratamientos de sincronización que involucran el uso de Syncro-Mate B, CIDR o PRID. Posiblemente el efecto luteolítico propuesto por el tratamiento, es de menor importancia, mientras que el efecto sobre el reclutamiento de una nueva onda parece ser más importante.

c. Sincronización de crecimiento folicular por ablación folicular

Un método directo de eliminar el efecto supresor del folículo dominante sobre el reclutamiento de una nueva onda folicular, es la ablación del folículo dominante [1, 55] mediante electrocauterización o aspiración por colpotomía. La eliminación del folículo permite que se produzca una onda de FSH que recluta una nueva onda folicular; sin embargo, este método es muy complicado para ser utilizado como procedimiento de rutina.

4. Sincronización de la ovulación e inseminación a tiempo pre-determinado

Después del desarrollo de los diferentes protocolos de sincronización del celo, surgió la pregunta de que si la aparición del celo y/o la ovulación pudiesen controlarse en forma muy precisa sería posible programar la inseminación artificial en un tiempo pre-determinado, lo que permitiría eliminar la mano de obra y dificultades que involucra el proceso de detección de celo. Para contestar la pregunta se ha desarrollado un sistema que por vez primera fue presentado en la 86^a reunión de la Sociedad de Ciencia Animal de los Estados Unidos [32, 42]. Este protocolo fue denominado Ovsynch/TAI y se basa en la administración de una dosis de GnRH, seguida de una dosis de $\text{PGF}_{2\alpha}$ 7 días mas tarde, más una última dosis de GnRH 48 h posterior a la inyección de $\text{PGF}_{2\alpha}$, llevándose a cabo la inseminación 16 a 24 horas mas tarde. Este protocolo persigue lo siguiente: a) la primera inyección de GnRH induce la ovulación de cualquier folículo grande que esté presente en los ovarios, además de sincronizar el desarrollo de una nueva onda folicular; b) la inyección de $\text{PGF}_{2\alpha}$ causa la regresión de cuerpo lúteo y por lo tanto la disminución de los niveles de progesterona en sangre y, c) la segunda inyección de GnRH busca sincronizar la ovulación del folículo reclutado 9 días antes con la primera inyección de GnRH.

De acuerdo a reportes de la literatura [43] existe variación en la efectividad de este protocolo en vacas y en novillas de leche y en vacas de aptitud cárnica. En vacas lecheras el uso del protocolo Ovsynch/TAI ha producido resultados satisfactorios (55% de tasa de preñez), resultados similares a los obtenidos en rebaños

comerciales; sin embargo, los resultados en novillas lecheras no han sido efectivos (11% de tasa de preñez) debido al bajo porcentaje de novillas que ovularon luego de la primera inyección de GnRH. La diferencia entre vacas y novillas de ganado de leche puede ser consecuencia de la diferencia en el desarrollo folicular. Algunos estudios han demostrado que en novillas es más frecuente los ciclos estrales con tres ondas de crecimiento folicular [39, 44]. La implementación de un programa Ovsynch/TAI en hembras con tres ondas de crecimiento folicular podría resultar en un intervalo mas largo de desarrollo folicular inducido en aquellas novillas tratadas durante la emergencia de la tercera onda (por ejemplo, el día 15 del ciclo). Esto posiblemente sea la causa de la asincronía en la respuesta a la segunda inyección de GnRH [29]. Asimismo, en novillas hay una mayor incidencia de intervalos inter-estrais (15%) más cortos [43] debidos a una corta vida del cuerpo lúteo o falla de la ovulación después de la segunda inyección de GnRH. Este problema no ha sido reportado en vacas lecheras [6, 33, 34].

V. FACTORES DE MANEJO QUE AFECTAN LA SINCRONIZACIÓN DEL CELO

Los criterios usados por el ganadero para evaluar programas de sincronización del celo incluyen además de los resultados reproductivos, el costo y la facilidad de aplicación del tratamiento. Los resultados reproductivos en aquellos programas que no utilicen la inseminación a tiempo pre-determinado, dependerán del protocolo de sincronización, la ciclicidad y fertilidad del rebaño, estado nutricional, genotipo, docilidad del rebaño, semen a utilizar, técnico inseminador y de la habilidad en la detección del celo [31].

El costo del programa dependerá de los productos a utilizar, las facilidades para el manejo del rebaño y la docilidad del mismo. En vacas o en novillas, el factor mas limitante para el éxito del programa de sincronización es el porcentaje de hembras ciclando. El estado nutricional está muy relacionado con la ciclicidad de las hembras tratadas, de manera tal que manteniendo un buen aporte nutricional, se garantiza un mayor número de hembras ciclando. Un factor que se debe tener en cuenta en vacas de carne, es el amamantamiento, ya que las vacas amamantando tienen su ciclicidad comprometida. Todos estos factores deben tomarse en cuenta antes de iniciar el programa, pues la mayoría de las veces el fracaso de un programa de sincronización de celo y/o la ovulación es consecuencia de alguno de los factores anteriormente mencionados.

VI. CONCLUSIONES

Los protocolos de sincronización de celo y, en los últimos años, de la ovulación han adquirido gran importancia. Los productores buscan aumentar su productividad, y una vía para ello es haciendo el proceso de reproducción más eficiente. Esto puede lograrse a través del uso de protocolos de sincronización del celo y/o la ovulación que ofrezcan las mejores ventajas y mayores beneficios al productor. Actualmente ya no se habla solamente de sincronización del celo, aho-

ra también se habla de sincronización de la ovulación, lo cual significa que el celo y la ovulación se sincronizan con el objeto de aumentar las posibilidades de éxito del servicio. Son muchos los protocolos disponibles, sin embargo, solo algunos tratan de imitar la fisiología del animal y posiblemente son estos los que den mejores resultados. La selección del protocolo a utilizar depende de las condiciones del establecimiento y del fin que se persiga. No debe olvidarse que si el rebaño no tiene un buen estado nutricional que asegure la ciclicidad de las hembras que lo componen, ningún protocolo de sincronización funcionará. Este aspecto es de suma importancia y debe ser tenido en cuenta tanto por el productor como por el médico veterinario que recomienda algún protocolo de sincronización.

VII. LITERATURA CITADA

- [1] Adams, G. P., Matteri, R. L., and Ginther, O. J. 1992. Effect of progesterone on ovarian follicles, emergence of follicular waves and circulating follicle-stimulating hormone in heifers. *J. Reprod. Fertil.* 95:627.
- [2] Adams, G. P. 1994. Control of ovarian follicular wave dynamics in cattle: implications for synchronization and superstimulation. *Theriogenology* 41:19.
- [3] Barr, H. L. 1974. Influence of estrus detection on days open in dairy herds. *J. Dairy Sci.* 58:246.
- [4] Bo, G. A., Adams, G. P., Pierson, R. A. and Mapletoft, R. J. 1995. Exogenous control of follicular wave emergence in cattle. *Theriogenology* 43:31.
- [5] Brink, J. T. and Kiracofe, G. H. 1988. Effect of estrous cycle stage at Syncro-mate B treatment on conception and time to estrus in cattle. *Theriogenology* 29:513.
- [6] Burke, C. R., Mihm, M., Macmillan, K. L. and Roche, J. F. 1994. Some effects of prematurely elevated concentrations of progesterone on luteal and follicular characteristics during the oestrous cycle in heifers. *Anim. Reprod. Sci.* 35:27.
- [7] Burke, J. M., Staples, C. R., Risco, C. A., de la Sota, R. L. and Thatcher, W. W. 1997. Effect of ruminant grade menhaden fish meal on reproductive and productive performance of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 80:3386.
- [8] Campbell, B. K., Scaramuzzi, R. J. and Webb, R. 1995. Control of antral development and selection in sheep and cattle. *J. Reprod. Fertil.* 49 (Suppl.):335.
- [9] Chenault, J. R., Thatcher, W. W., Kalra, P. S., Abrams, R. M. and Wilcox, C. J. 1975. Transitory changes in plasma progestins, estradiol, and luteinizing hormone approaching ovulation in the bovine. *J. Dairy Sci.* 58:709.
- [10] Chenault, J. R., Thatcher, W.W., Kalra, P. S., Abrams, R. M. and Wilcox, C. J. 1976. Plasma progestins, estradiol, and luteinizing hormone following prostaglandin F2 alpha injection. *J. Dairy Sci.* 59:1342.
- [11] Chenault, J. R., Kratzer, D. D., Rzepkowski, R. A. and Goodwin, M. C. 1990. LH and FSH response of Holstein heifers to fertirelin acetate, gonadorelin and buserelein. *Theriogenology* 34:81.
- [12] Driancourt, M. A. 1991. Follicular dynamics in sheep and cattle. *Theriogenology* 35:55.

- [13] Fogwell, R. L., Kanyima, B. M., Villa-Godoy, A., Enright, W. J. and Ireland, J. J. 1986. Enhanced precision of estrus and luteinizing hormone after progesterone and prostaglandin in heifers. *J. Dairy Sci.* 69:2179.
- [14] Fortune, J. E. 1994. Ovarian follicular growth and development in mammals. *Biol. Reprod.* 50:225.
- [15] Ginther, O. J., Kastelic, J. P. and Knopf, L. 1989a. Composition and characteristics of follicular waves during the bovine estrous cycle. *Anim. Reprod. Sci.* 20:187.
- [16] Ginther, O. J., Knopf, L. and Kastelic, J. P. 1989b. Temporal associations among ovarian events in cattle during estrous cycle with two and three follicular waves. *J. Reprod. Fertil.* 87:223.
- [17] Ginther, O. J., Wiltbank, M. C., Fricke, P. M., Gibbons, J. R. and Kot, K. 1996. Selection of the dominant follicle in cattle. *Biol. Reprod.* 55:1187.
- [18] Kastelic, J. P., Knopf, L. and Ginther, O. J. 1990. Effect of day prostaglandin F2 treatment on selection and development of ovulatory follicles in heifers. *Anim. Reprod. Sci.* 23:169.
- [19] King, M. E., Kiracofe, G. H., Stevenson, J. S. and Schalles, R. R. 1982. Effect of stage of the estrous cycle on interval to estrus after PGF₂ in beef cattle. *Theriogenology* 18:191.
- [20] Larson, L. L. and Ball, P. J. H. 1992. Regulation of estrous cycles in dairy cattle. *Theriogenology* 38:255.
- [21] Lauderdale, J. W. 1972. Effects of PGF_{2α} on pregnancy and estrous cycle in cattle. *J. Anim. Sci.* 35:246. (Abstr.).
- [22] Lauderdale, J. W. 1979. Efficacy of Lutalyse sterile solution. En: J. W. Lauderdale and J. H. Sokolowski (Ed.). *Proceedings of the Lutalyse Symposium.* pp 17-32. Upjohn Co., Kalamazoo, MI.
- [23] Lauderdale, J. W., MacAllister, J. F., Kratzer, D. D and Moody, L. E. 1981. Use of prostaglandin F2 (PGF₂) in cattle breeding. *Acta Vet. Scand.* 77:181.
- [24] Lauderdale, J. W., McAllister, J. F., Moody, E. L. and Kratzer, D. D. 1980. Pregnancy rate in beef cattle injected once with PGF₂. *J. Anim. Sci.* 51(Suppl. 1):296. (Abstr.).
- [25] Lucy, M. C., Savio, J. D., Badinga, L., de La Sota, R. L. and Thatcher, W. W. 1992. Factors that affect ovarian follicular dynamics in cattle. *J. Anim. Sci.* 70:3615.
- [26] Macmillan, K. L. and Henderson, H. V. 1984. Analyses of the variation in the interval from an injection of prostaglandin F2 to estrus as a method of studying patterns of follicle development during diestrus in dairy cows. *Anim. Reprod. Sci.* 6:245.
- [27] Macmillan, K. L. and Peterson, A. J. 1993. A new intravaginal progesterone releasing device for cattle (CIDR-B) for oestrous synchronization, increasing pregnancy rates and the treatment of post-partum anestrus. *Anim. Reprod. Sci.* 33:1.
- [28] Macmillan, K. L. and Thatcher, W. W. 1991. Effect of an agonist of gonadotropin-releasing hormone on ovarian follicles in cattle. *Biol. Reprod.* 45:883.
- [29] Moreira, F. 1998. Factors influencing pregnancy rates to a timed insemination protocol in dairy cattle. Master Thesis. University of Florida. pp. 318.
- [30] Nebel, R. L. and Jobst, S. M. 1998. Evaluation of systematic breeding programs for lactating dairy cows: a review. *J. Dairy Sci.* 81:1169-1174.
- [31] Odde, K. G. 1990. A review of synchronization of estrus in postpartum cattle. *J. Anim. Sci.* 68:817.

- [32] Pursley, J. R., Kosorok, M. R. and Wiltbank, M.C. 1994. Reproductive management of lactating dairy cows using synchronization of ovulation. *J. Dairy Sci.* 77 (Suppl. 1):69. (Abstr.).
- [33] Pursley, J. R., Wiltbank, M. C., Stevenson, J. S., Ottobre, J. S., Garverick, H. A. and Anderson, L. L. 1997a. Pregnancy rates per artificial insemination for cows and heifers inseminated at a synchronized estrus. *J. Dairy Sci.* 80:295.
- [34] Pursley, J. R., Kosorok, M. R. and Wiltbank, M. C. 1997b. Reproductive management of lactating dairy cows using synchronization of ovulation. *J. Dairy Sci.* 80:301.
- [35] Rajakoski, E. 1960. The ovarian follicular system in sexually mature heifers with special reference to seasonal, cyclical, and left-right variations. *Acta Endocrinologica.* 52:7-68.
- [36] Roche, J. F. 1974. Effect of short-term progesterone treatment on oestrous response and fertility in heifers. *J. Reprod. Fertil.* 40:433.
- [37] Roche, J. F. and Boland, M. P. 1991. Turnover of dominant follicles in cattle of different reproductive states. *Theriogenology* 35:81.
- [38] Rowson, L. E., Tervit, R. and Brand, A. 1972. The use of prostaglandins for synchronization of oestrus in cattle. *J. Reprod. Fertil.* 29:145.
- [39] Savio, J. D., Keenan, L., Boland, M. P. and Roche, J. F. 1988. Pattern of growth of dominant follicles during the oestrous cycle in heifers. *J. Reprod. Fertil.* 83:663.
- [40] Savio, J. D., Thatcher, W. W., Badinga, L. and de la Sota, R.L. 1990. Turnover of dominant follicles is regulated by progestin and dynamics of LH secretion in cattle. *J. Reprod. Fertil.* 6:37 (Abstr.).
- [41] Savio, J. D., Thatcher, W. W., Morris, G. R., Entwistle, K., Drost, M. and Mattiacci, M. R. 1993. Effects of induction of low plasma progesterone concentrations with a progesterone-releasing intravaginal device on follicular turnover and fertility in cattle. *J. Reprod. Fertil.* 98:77.
- [42] Schmitt, E. J-P., Díaz, T., Drost, M. and Thatcher, W. W. 1994. Use of a GnRH-agonist for timed-insemination protocol in cattle. *J. Anim. Sci.* 72(Suppl. 1)/*J. Dairy Sci.* 77 (Suppl. 1): 292. (Abstr.).
- [43] Schmitt, E. J-P., Díaz, T., Drost, M. and Thatcher, W. W. 1996. Use of a gonadotropin releasing hormone agonist or human chorionic gonadotropin for timed insemination in cattle. *J. Anim. Sci.* 74:1084.
- [44] Sirois, J. and Fortune, J. E. 1988. Ovarian follicular dynamics during the estrous cycle in heifers monitored by real-time ultrasonography. *Biol. Reprod.* 39:308.
- [45] Sirois, J. and Fortune, J. E. 1990. Lengthening the bovine estrous cycle with low levels of progesterone: a model for studying follicular dominance. *Endocrinology* 127:916.
- [46] Smith, M. W. and Stevenson, J. S. 1995. Fate of the dominant follicle, embryonal survival, and pregnancy rates in dairy cattle treated with prostaglandin F2 alpha and progestins in the absence or presence of a functional corpus luteum. *J. Anim. Sci.* 73:3743.
- [47] Smith, R. D., Pomeranz, A. J., Beal, W. E., McCann, J. P., Pilbeam, T. E. and Hansel, W. 1984. Insemination of Holstein heifers at a preset time after estrous cycle synchronization using progesterone and prostaglandin. *J. Anim. Sci.* 58:792.

- [48] Thatcher, W. W., Macmillan, K. L., Hansen, P. J. and Drost, M. 1989. Concepts for regulation of corpus luteum function by the conceptus and ovarian follicles to improve fertility. *Theriogenology* 31:149.
- [49] Twagiramungu, H., Guilbault, L. A. and Dufour, J. J. 1995. Synchronization of ovarian follicular waves with Gonadotropin-Releasing hormone agonist to increase the precision of estrus in cattle: a review. *J. Anim. Sci.* 73:3141.
- [50] Ulberg, L. C., Christian, R. E. and Casida, L. E. 1951. Ovarian responses in heifers to progesterone injections. *J. Anim. Sci.* 10:752.
- [51] Wiltbank, J. N. and Gonzalez-Padilla, E. 1975. Synchronization and induction of estrus in heifers with a progestagen and estrogen. *Ann. Biol. Anim. Biochem. Biophys.* 15:255.
- [52] Wiltbank, J. N., Ingalls, J. E. and Rowden, W. W. 1961. Effect of various forms and levels of estrogens alone or in combination with gonadotropins on the estrous cycle in beef heifers. *J. Anim. Sci.* 20:341.
- [53] Wiltbank, M. C., Shiao, T. F., Bergfeldt, D. R. and Ginther, O. J. 1995. Prostaglandin F₂ receptors in the early bovine corpus luteum. *Biol. Reprod.* 52:74.
- [54] Wishart, D. F. and Young, I. M. 1974. Artificial insemination of cattle at a predetermined time following treatment with a potent progestin (SC-21009). *Vet. Rec.* 95:503.
- [55] Wolfsdorf, K. E., Diaz, T., Schmitt, E. J-P., Thatcher, M. J., Drost, M. and Thatcher, W. W. 1997. The dominant follicle exerts an interovarian inhibition on FSH induced follicular development. *Theriogenology* 48:435.
- [56] Zimbelman, R. G., Lauderdale, J. W., Solowski, J. H. and Schalk, T. G. 1970. Safety and pharmacological evaluations of melengestrol acetate in cattle and other animals: a review. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 157:1528.