



Función ovárica y respuesta a la sincronización del estro en ganado Criollo en México. Revisión



Elizabeth Pérez-Ruiz ^a

Andrés Quezada- Casasola ^b

José María Carrera-Chávez ^b

Alan Álvarez-Holguín ^a

Jesús Manuel Ochoa-Rivero ^a

Manuel Gustavo Chávez-Ruiz ^a

Sergio Iván Román-Ponce ^{a*}

^a INIFAP. Centro de Investigación Regional Norte-Centro. CE La Campana. Km 33.5 Carr. Chihuahua – Ojinaga. 32910. Aldama, Chihuahua, México.

^b Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Departamento de Ciencias Veterinarias. Ciudad Juárez, Chihuahua, México.

* Autor de correspondencia: roman.sergio@inifap.gob.mx

Resumen:

Hoy en día, las biotecnologías reproductivas han hecho posible conservar y aprovechar los recursos zoogenéticos. Una de estas tecnologías son los programas de sincronización de estros, mismos que permiten programar la época para el empareamiento acorde a la disponibilidad de forraje o el nacimiento de los becerros por fines comerciales. Otra aplicación es la reducción del intervalo parto primera ovulación, mediante protocolos que facilitan el uso de inseminación artificial. Los bovinos criollos son un recurso genético valioso, debido a su rusticidad y adaptabilidad a condiciones ambientales difíciles; son resistentes a parásitos, aprovechan los recursos forrajeros disponibles y se reproducen en sistemas con poca o nula

suplementación. En México, los primeros estudios de sincronización de bovinos criollos sugieren que las vacas criollas no responden adecuadamente a los protocolos hormonales y se obtienen porcentajes de gestación inferiores a los obtenidos en otras razas. Lo anterior, dio origen a una serie de investigaciones en fisiología reproductiva y uso de biotecnologías en ganado criollo. El objetivo de esta revisión es recabar la información existente sobre el uso de protocolos de sincronización de estros y ovulación en bovinos criollos de México; con la finalidad de poder identificar las líneas de investigación necesarias para el desarrollo de protocolos de sincronización de estros y ovulación adecuados para el ganado criollo.

Palabras clave: Bovinos carne, Recursos zoogenéticos, Inseminación artificial, Ovulación.

Recibido: 11/08/2021

Aceptado: 03/01/2022

Introducción

Los bovinos criollos son los descendientes del ganado ibérico transportado al continente americano, durante la colonización de estos países por parte de españoles y portugueses⁽¹⁾. Uno de los rasgos más importantes de los bovinos criollos es su adaptabilidad a condiciones ambientales difíciles; se reproducen en sistemas con fluctuaciones extremas de temperatura ambiente^(2,3), son resistentes a parásitos⁽⁴⁾ y aprovechan una variedad de plantas herbáceas, además de alternar entre pastoreo y ramoneo⁽¹⁾. La capacidad de adaptabilidad de una raza a ambientes variables, llamada plasticidad fenotípica, y es una cualidad de los bovinos criollos, que puede ser aprovechada en los sistemas de selección y reproducción actuales⁽¹⁾. Por lo cual estos bovinos son un recurso genético que podría contribuir a mejorar la productividad en un entorno desafiante^(1,5). Respecto a los recursos genéticos animales, en marzo de 2018, 7,745 razas de las 8,803 razas registradas por la FAO se clasificaron como razas locales (es decir, se informó que están presentes en un solo país) y se extinguieron un total de 594 razas locales. Entre las razas locales existentes, el 26 % se clasificó como en riesgo de extinción, el 7 % no están en riesgo y el 67 % como desconocido⁽⁶⁾. Una de las posibles causas de la disminución de la población de razas locales es porque son consideradas poco productivas, en comparación con razas especializadas (europeas y cebuinas). En general, los bovinos criollos son animales de talla pequeña y difícilmente pueden competir con otras razas de ganado especializado en la producción de carne o leche, por lo que muchos ganaderos han optado por realizar cruzamientos con estos, o sustituir a los criollos con otras razas de ganado^(7,8).

Las biotecnologías reproductivas son herramientas útiles para abrir la posibilidad de conservar y aprovechar los recursos zoogenéticos⁽⁹⁾. Con la aplicación de programas de sincronización de estros, se tiene posibilidad de elegir la mejor época para el empadre (acorde a la disponibilidad de forraje), reducir el intervalo del parto a la primera ovulación (PPO), facilitar el uso de inseminación artificial (IA) e implementar programas de mejoramiento genético⁽¹⁰⁾. La manipulación del ciclo estral y la inducción de la ovulación mediante los diferentes protocolos de sincronización en conjunto con IA presentan numerosas ventajas adicionales, como lo son la producción de becerros en lotes homogéneos y la posibilidad de incrementar el precio de venta, así como facilitar el manejo nutricional y sanitario del hato⁽¹¹⁾. Sin embargo, el uso de biotecnologías reproductivas, como la sincronización del estro y la ovulación es poco utilizada en bovinos criollos, y con resultados variables^(12,13). En México, los primeros estudios relacionados con la sincronización de bovinos criollos se realizaron en la década de 1990, y en ellos se mencionó que las vacas criollas no responden adecuadamente a los protocolos hormonales⁽¹²⁾. Por lo anterior, el objetivo de la presente revisión es recabar la información existente del uso de protocolos de sincronización de estros en bovinos criollos de México y de esta manera, poder identificar las líneas de investigación necesarias para el desarrollo de protocolos de sincronización de estros y ovulación adecuados para el ganado criollo, lo que permitirá direccionar los esfuerzos de investigación y desarrollo.

Inseminación artificial a tiempo fijo en bovinos

Con el uso de hormonas exógenas y sus análogos se busca controlar el desarrollo folicular, la regresión del cuerpo lúteo (CL) y la ovulación, para posteriormente realizar IA a estro detectado o IA a tiempo fijo (IATF). Con los protocolos hormonales para IATF se logra: 1) reducir el número y frecuencia de manejo del ganado, y 2) eliminar la necesidad de detección de estros para realizar la IA, por lo que son los más usados en ganado de carne⁽¹⁴⁾.

Los tratamientos de sincronización de estros se basan principalmente en el uso de dos tipos de hormonas, progestágenos (principalmente progesterona, P₄) y análogos de prostaglandina F_{2α} (PGF_{2α}). En los protocolos de sincronización de la ovulación, adicionalmente se utilizan análogos de estradiol (E₂) y hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH)⁽¹⁵⁾. La preferencia en el uso de estos tratamientos para IATF puede estar limitado en los países en los que existen restricciones del uso de E₂⁽¹⁶⁾ tales como Estados Unidos de América, Australia, Reino Unido, entre otros. El porcentaje de gestación que se puede obtener con estos protocolos de IATF varía en un rango de 40 a 60 %⁽¹⁵⁾. El establecimiento de la gestación depende en gran medida de la correcta función del CL, la adecuada señalización del embrión para el reconocimiento materno de la gestación y del ambiente oviductual y uterino que favorezca el desarrollo del embrión. Estos factores se ven modificados en parte por las condiciones preovulatorias, es decir, existe un efecto de la capacidad esteroideogénica del folículo, y la consiguiente competencia del ovocito⁽¹⁷⁾. Otros factores críticos para el éxito

de los protocolos de sincronización son el estado fisiológico de los animales (vaquillas prepúberes, vacas cíclicas o anéstricas), condición corporal (CC)⁽¹⁸⁾, nutrición, calidad del semen, destreza del inseminador⁽¹¹⁾ y tiempo de inseminación posterior al tratamiento hormonal⁽¹⁹⁾.

Por ejemplo, las hembras con CC baja (usualmente ≤ 4 en escala 1 a 9)⁽¹¹⁾, tienden a estar en anestro y, por lo tanto, presentan porcentajes de gestación bajos en comparación con hembras con mejor CC⁽¹⁸⁾. Adicionalmente, las vaquillas de primer parto son más sensibles a la pérdida de peso y a una baja CC, en comparación con las vacas multíparas⁽¹⁸⁾. La ingesta de nutrientes y el balance energético, antes y después del parto, afectan la duración del anestro postparto y el intervalo del parto a la concepción, así como el porcentaje de gestación⁽¹¹⁾. Cuando se realiza la IA, la eficiencia del inseminador se ve influenciada por la calidad y manejo del semen, así como por su habilidad técnica para depositar el semen en el lugar correcto⁽¹¹⁾. Además, el manejo correcto y evaluación de las pajillas de semen es fundamental para asegurar la calidad del material utilizado, pues influye directamente en la tasa de fertilización y, por ende, en la tasa de gestación. Previo a la IA, se recomienda hacer la evaluación del semen que será utilizado, según las características seminales más importantes⁽¹¹⁾. Por lo anterior, es imperativo que los técnicos inseminadores sean lo suficientemente capacitados para guiar la pistola de IA a través del cuello uterino, para depositar el semen completamente en la entrada del cuerpo uterino⁽¹¹⁾.

Protocolos convencionales para IATF basados en estradiol y progesterona en bovinos

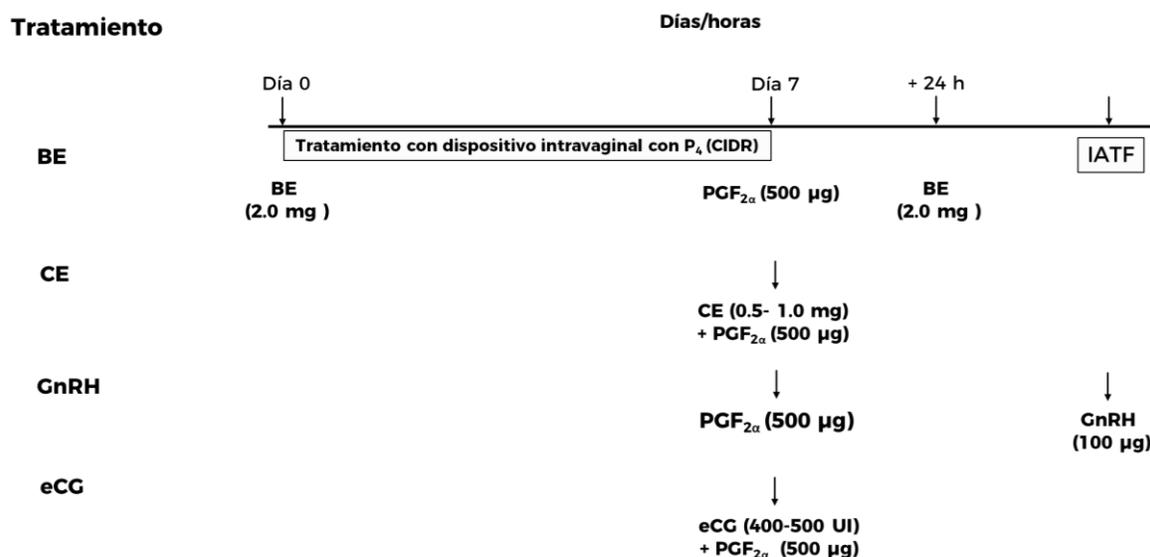
El protocolo basado en el uso de P₄ y E₂ es conocido como convencional. La P₄ simula la función del CL, inhibiendo la liberación de pulsos de GnRH/LH. El E₂, aplicado al inicio del tratamiento con P₄, provoca la ovulación del posible folículo dominante existente y la atresia del resto de los folículos subordinados. Con el surgimiento de una nueva oleada folicular, entre tres y cinco días después, se busca la presencia de un folículo dominante nuevo y un ovocito viable al finalizar el tratamiento con P₄⁽²⁰⁾. La administración de E₂ al final del tratamiento con P₄ induce, de igual forma que la primera aplicación, una retroalimentación positiva sobre el hipotálamo para la liberación de GnRH y el consiguiente incremento en la frecuencia de pulsos de LH, con lo cual se sincroniza y se reduce el tiempo en que se presenta la ovulación, para realizar la IATF⁽²⁰⁾.

El protocolo convencional, consiste en la inserción de un CIDR y de la administración de BE (a dosis total de 2 mg, vía IM) el día de inicio del tratamiento con P₄ (día 0)⁽¹⁶⁾. El 17 β estradiol (E-17 β) tiene una vida media menor que el BE, por lo que este último ha mostrado ser más eficiente en los protocolos de IATF⁽²⁰⁾. Adicionalmente, se administra PGF_{2 α} al momento del retiro del CIDR, para asegurar la regresión del CL que se haya formado después

de la ovulación posterior a la primera aplicación de E₂ (día 7, 8 o 9, en caso de existencia de un CL)⁽²¹⁾. Para sincronizar la ovulación se puede aplicar una dosis total de 1 mg de BE, 24 h después de terminado el tratamiento con P₄, y realizar la IATF 30 a 34 h después de aplicar la segunda dosis de BE⁽²²⁾. Una modificación a este protocolo consiste en administrar una dosis total de 0.5 o 1 mg de CE, al momento de retirar el dispositivo con P₄, con lo cual se simplifica el manejo del ganado, con IATF 48 a 56 h después^(15,23). El CE tiene una vida media mayor que el BE, por lo cual su uso permite disminuir la cantidad de manejos realizados al ganado⁽²³⁾. Otra opción es aplicar una dosis de 100 µg de GnRH, 54 h después del retiro del CIDR (al momento de realizar la IATF), con lo cual se induce la ovulación del nuevo folículo dominante, en caso de que no haya ovulado en forma espontánea⁽¹⁴⁾. Una alternativa más a este protocolo es la administración de gonadotropina coriónica equina (eCG) al momento de terminar el tratamiento con P₄⁽²⁴⁾ (Figura 1). La eCG se une a los receptores de FSH y LH, provocando el incremento de la tasa de crecimiento del folículo dominante, estimula la expresión de enzimas esteroideogénicas, principalmente de E₂ folicular, con la consiguiente presentación del pico preovulatorio de LH. Adicionalmente, la eCG, produce un aumento en el diámetro del CL e incrementa la producción de P₄ posterior a la IA⁽²⁵⁾. Este efecto de la eCG es más marcado en hembras con baja CC (y que ganan peso durante la época de empadre) y en anestro postparto (PP)⁽²⁴⁾.

En ganado de carne, se usan dosis de 300-400 UI de eCG, estas dosis son las más usadas tanto en protocolos convencionales⁽²¹⁾ como en protocolos basados en GnRH^(26,27). La eCG puede promover el crecimiento de uno o varios folículos en la misma oleada, por lo que no solo se logra un mayor diámetro folicular, sino también el incremento de la tasa de ovulación en vacas tratadas con esta hormona, cuando se usan dosis altas (400-600 UI)⁽²⁸⁾. La presentación de partos múltiples en ganado de carne se considera indeseable, por lo que el incremento de la tasa de ovulación por efecto de la eCG, es controversial⁽²⁷⁾. Estos efectos de la eCG son más evidentes durante el anestro PP, en vacas amamantando y con baja CC⁽²⁴⁾, debido a que la secreción de GnRH/LH se encuentra disminuida durante esta etapa⁽²⁸⁾. Sin embargo, en vacas con buena CC, no se observa un efecto benéfico⁽²⁶⁾.

Figura 1: Representación esquemática de protocolos de sincronización basados en progesterona (P_4) y esteroides de estradiol (BE: benzoato de estradiol; CE: cipionato de estradiol) ($PGF_{2\alpha}$: prostaglandina $F_{2\alpha}$; GnRH: hormona liberadora de gonadotropinas; eCG: gonadotropina coriónica equina)



En los tratamientos CE (Cipionato de estradiol), GnRH (Hormona liberadora de gonadotropinas) y eCG (gonadotropina coriónica equina) se sustituye la segunda dosis de BE (benzoato de estradiol) por la hormona respectiva, al momento del retiro del CIDR (dispositivo intravaginal de liberación de progesterona), para simplificar el manejo del ganado.

Protocolos para IATF basados en GnRH y $PGF_{2\alpha}$

La aplicación inicial de un análogo de GnRH provoca la liberación de LH en forma de pico preovulatorio y, por tanto, la ovulación de un posible folículo dominante presente, con la subsiguiente aparición de una nueva onda folicular aproximadamente dos días después⁽²⁹⁾. La administración de $PGF_{2\alpha}$ 7 d después de la aplicación de GnRH induce la regresión del posible CL formado después de la aplicación de GnRH y una segunda dosis de GnRH provocará nuevamente la liberación del pico preovulatorio de LH, produciendo la ovulación de un nuevo folículo dominante en forma sincronizada⁽³⁰⁾.

El protocolo más usado para IATF en ganado lechero es conocido como Ovsynch (sincronización de la ovulación)⁽²⁹⁾. Este protocolo requiere del manejo del ganado en tres ocasiones para aplicar las hormonas y una cuarta vez para realizar la IATF (Figura 2), por lo que es poco práctico para su uso en ganado productor de carne^(31,32). La alternativa para este tipo de ganado es el protocolo CO-Synch⁽³³⁾ (la segunda dosis de GnRH es aplicada al momento de la IATF), en el que se reduce el número de ocasiones en las que se maneja al ganado⁽³²⁾. Sin embargo, con este protocolo, 5 a 20 % de las hembras en anestro PP, presentan

estro antes o inmediatamente después de la aplicación de $\text{PGF}_{2\alpha}$, por lo que se obtiene una tasa de gestación menor que con el protocolo Ovsynch⁽³⁴⁾. La inserción de un CIDR, entre la primera administración de GnRH y la aplicación de $\text{PGF}_{2\alpha}$ (Figura 2), incrementa la tasa de gestación con este protocolo^(34,35). El uso del CIDR previene la ovulación antes y después de la aplicación de $\text{PGF}_{2\alpha}$, causada por luteólisis espontánea del CL, y como resultado se obtienen estros más sincronizados con el momento de la IATF, por lo que con el protocolo CO-Synch + CIDR se obtienen mayores tasas de gestación^(34,35). El éxito de este protocolo depende en gran medida del porcentaje de hembras que ovulan después de la primera dosis de GnRH⁽¹⁴⁾. Si se logra inducir la ovulación del folículo dominante, la emergencia de la siguiente onda folicular y ovulación será sincronizada⁽²²⁾.

En ganado lechero, una alternativa más para aumentar el porcentaje de vacas gestantes en los protocolos Ovsynch es la pre-sincronización con una o dos dosis de $\text{PGF}_{2\alpha}$ ⁽³⁶⁾, con diferencia de 14 días entre cada dosis, y la aplicación de la primera dosis de GnRH, 12 a 14 días después de la segunda dosis de $\text{PGF}_{2\alpha}$, este protocolo es conocido como Pre-Synch (Figura 3). El objetivo de esta pre-sincronización es que las vacas se encuentren entre los días 5 y 12 del ciclo al momento de iniciar el tratamiento con GnRH^(36,37). En ganado productor de carne, la pre-sincronización es poco práctica, dado que este protocolo implica manejar al ganado un mayor número de ocasiones y no aumenta el porcentaje de hembras gestantes después de la IATF⁽³⁷⁾. Como resultado del estrés que se produce al introducir a las vacas productoras de carne en los corrales y mangas de manejo, los animales experimentan una respuesta de lucha o huida, lo que activa el eje adrenal y la liberación de hormonas del estrés (catecolaminas y glucocorticoides), que tienen un efecto negativo sobre el eje reproductivo⁽³⁸⁾.

Figura 2: Representación esquemática de los protocolos Ovsynch, Co-Synch y CO-Synch+CIDR para IATF (GnRH: hormona liberadora de gonadotropinas; PGF_{2α}: prostaglandina F_{2α}; IATF: inseminación artificial a tiempo fijo)

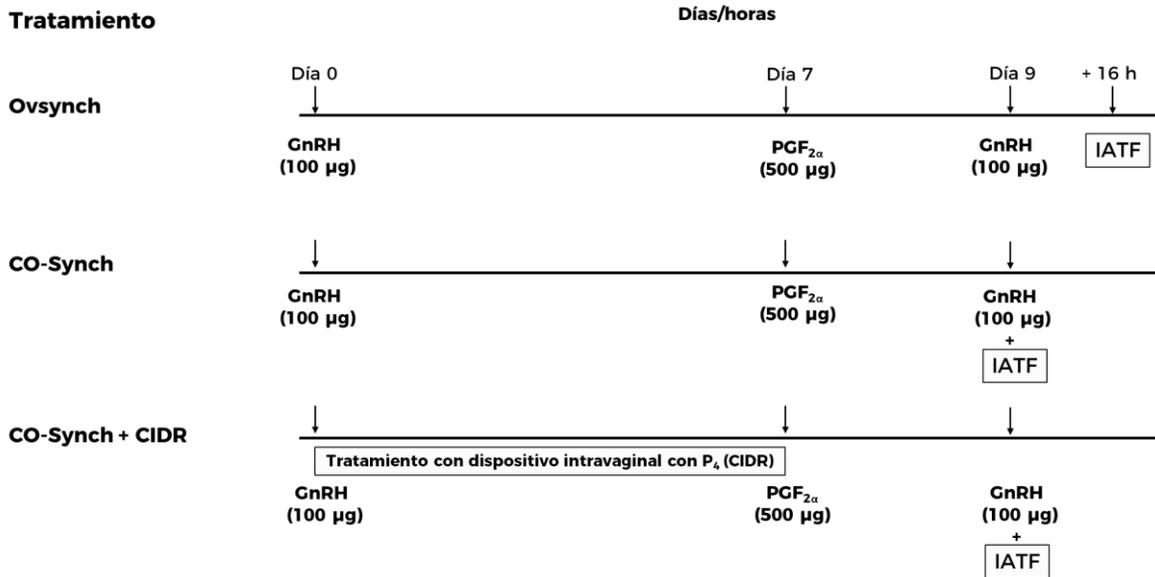
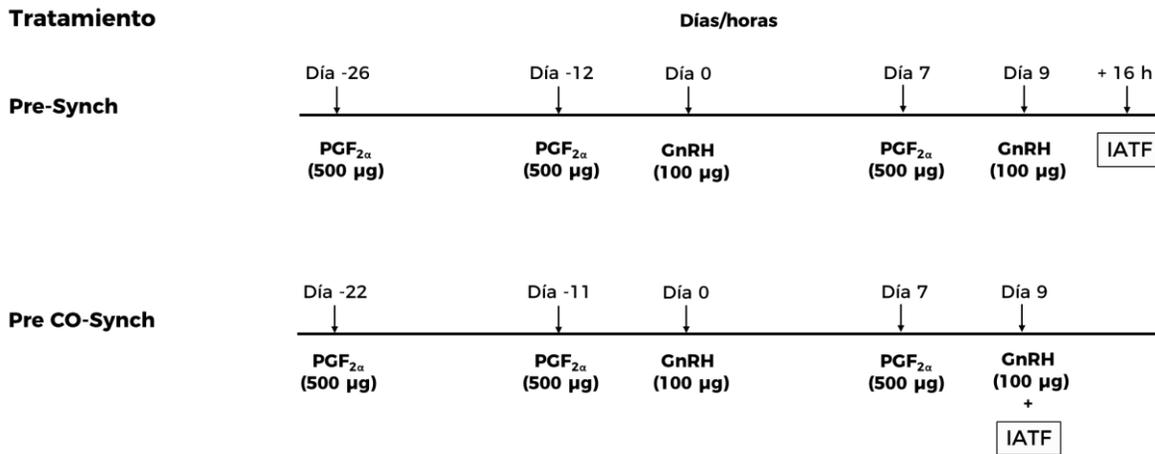


Figura 3: Representación esquemática de los protocolos Pre-Synch usados en ganado lechero y Pre CO-Synch desarrollado para ganado productor de carne (GnRH: hormona liberadora de gonadotropinas; PGF_{2α}: prostaglandina F_{2α}; IATF: inseminación artificial a tiempo fijo)

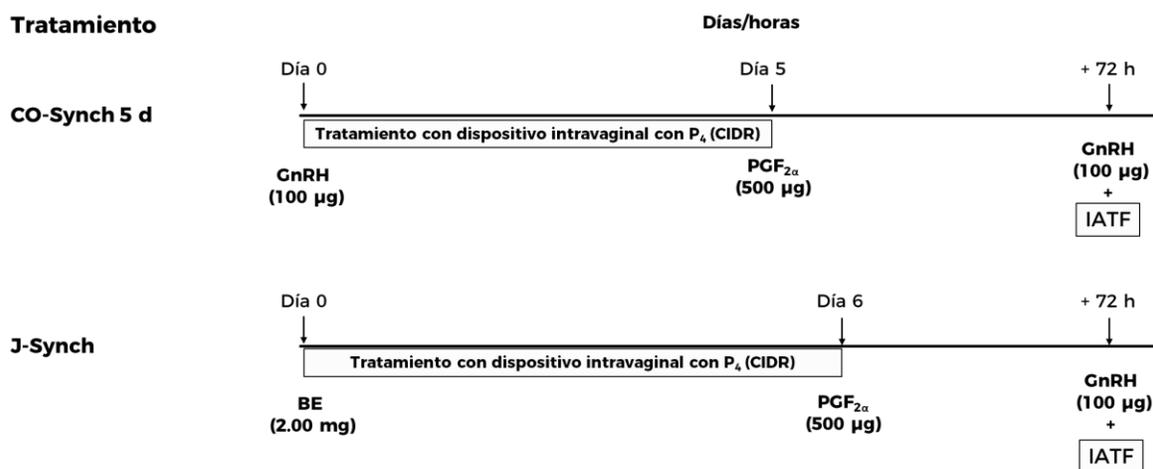


Protocolo Co-Synch de 5 días

El protocolo Co-Synch de 5 días con IATF 72 h después (Figura 4), se basa en la idea de que incrementar el periodo en el cual el folículo dominante se desarrolla en presencia de gonadotropinas, puede incrementar el porcentaje de hembras gestantes después del

tratamiento hormonal⁽³⁹⁾. Los principales cambios en este protocolo son: 1) la reducción del tratamiento con P₄ de 7 a 5 días, para evitar los efectos adversos de los folículos persistentes sobre la fertilidad de las vacas que no ovulan con la primera dosis de análogo de GnRH (dosis total de 100 µg de gonadorelina, IM), y 2) prolongar el período desde el retiro de la P₄ a la administración de GnRH, para aumentar la exposición a las concentraciones de E₂ circulante antes de la ovulación⁽¹⁷⁾. Con este protocolo se observa mayor diámetro del folículo dominante, incremento de la concentración de E₂, así como mayor producción de P₄ posterior a la ovulación, necesaria para la gestación⁽⁴⁰⁾.

Figura 4: Protocolos CO-Synch 5 días y J-Synch



En estos protocolos se prolonga el proestro (incremento del periodo entre el fin del tratamiento con Progesterona P₄) y la IATF (PGF_{2α}: prostaglandina F_{2α}; GnRH: hormona liberadora de gonadotropinas; BE: benzoato de estradiol; IATF: inseminación artificial a tiempo fijo)

Protocolo J-Synch

Este protocolo se basa en el uso de P₄ y BE, con una mayor duración del proestro que con el tratamiento convencional⁽⁴¹⁾. El protocolo inicia con la administración de una dosis total de 2 mg de BE, en el momento de la inserción de un dispositivo con P₄, que se retira 6 días después. Al momento del retiro del dispositivo con P₄ se aplica una dosis única de PGF_{2α}. De forma adicional, se aplica 100 µg de GnRH al momento de la IATF, 72 h después (día 9, Figura 4). Similar al protocolo CO-Synch 5 días, con la prolongación del proestro (95-97 h) se observa un incremento en las concentraciones de E₂ (antes de la ovulación) y P₄ (después de la ovulación), así como un mayor porcentaje de gestación (cuando las hembras se encuentran en buena CC), en comparación con el protocolo convencional Co-Synch⁽⁴²⁾. Estudios recientes indican que la duración del proestro es decisiva para el establecimiento de la gestación. Con un proestro más largo, se incrementa la producción de E₂ antes de la ovulación. Entre las funciones del E₂, se encuentran la modificación de la morfología celular,

secreción y regulación de receptores esteroidales, que favorecen la implantación del *conceptus* en el útero⁽⁴³⁾.

En el Cuadro 1 se presentan algunos resultados obtenidos para el porcentaje de preñez, con distintos protocolos de sincronización.

Cuadro 1: Porcentaje de gestación obtenido con diferentes protocolos para IATF en bovinos

Tipo de Protocolo†	Tipo racial‡	Gestación (%)	Referencia
Basados en P ₄ y E ₂			
Convencional (BE)	BI, BT	30.0-40.6	(25, 44-46)
Convencional (CE)	BI, BT	34.7-54.0	(16, 42, 44, 47, 48)
J-Synch	BI/BT, BT	47.0-67.9	(16, 41, 42, 47, 49)
Convencional BE + eCG	BI	36.8-57.5	(25, 46, 50, 51)
Convencional CE + eCG	BI, BT	50.3-61.8	(16, 28, 43, 48, 52)
J-Synch + eCG	BI/BT, BT	53.0-60.4	(16, 43, 47, 53)
Basados en GnRH y PGF _{2α}			
Ovsynch	BT	32.5-57.0	(33, 36, 37, 54, 55)
Pre-Synch	BT	27.0-49.6	(36, 37, 55-57)
CO-Synch	BT	26.7-53.3	(33-35, 54, 58)
CO-Synch +CIDR	BT	50.0-55.1	(26, 34, 35, 58-60)
CO-Synch 5 d	BT	44.4-59.7	(61-63)
CO-Synch 5 d + CIDR	BT	48.0-63.9	(59, 60, 63-66)
CO-Synch +CIDR+ eCG	BT	43.0	(26)
CO-Synch 5 d +CIDR+ eCG	BT	42.9	(67)

†CIDR= dispositivo intravaginal de liberación de progesterona; P₄=Progesterona; E₂= Estradiol; PGF_{2α}= prostaglandina F_{2α}; GnRH= Hormona liberadora de gonadotropinas; BE= benzoato de estradiol; eCG= gonadotropina coriónica equina; CE= Cipionato de estradiol.

‡ BT: *Bos taurus taurus*; BI: *Bos taurus indicus*.

Bovino criollo en México

El ganado criollo en México desciende de los primeros ejemplares traídos por los españoles durante la época de la Colonia en el siglo XVI⁽⁶⁸⁾. Estos bovinos desarrollaron cualidades de adaptación al medio en zonas aisladas y de difícil acceso, lo que contribuyó a la formación de grupos raciales^(69,70). En México, de las 53 razas de bovinos integradas en la base de datos sobre la biodiversidad de los animales domésticos publicada por la FAO⁽⁷¹⁾, destacan como razas locales el Chinampo, de Baja California^(72,73); el Coreño, de la Sierra Madre Occidental^(74,75); el criollo de las Montañas del Norte, también llamado criollo de rodeo o criollo Rarámuri⁽⁷⁰⁾; el Mixteco⁽⁷⁶⁾; el criollo del Golfo⁽⁷⁷⁾; el criollo de la región central de Chiapas⁽⁷⁸⁾ y el criollo Nunkinén, de la Península de Yucatán⁽⁷⁹⁾. A partir de 1965, también

se introdujeron individuos de las razas criollo lechero tropical y Romosinuano, provenientes de Estados Unidos y Costa Rica, respectivamente⁽⁸⁰⁾.

El bovino criollo Rarámuri (CR), también llamado “Corriente”, está adaptado a la región norte del país, principalmente en la Sierra Tarahumara, en el estado de Chihuahua⁽⁷⁰⁾. Son animales de tamaño pequeño y cornamenta grande; su principal fin zootécnico es para las actividades deportivas de rodeo, por lo que es exportado en grandes cantidades a Estados Unidos⁽⁷⁾. La fisiología reproductiva de esta raza de bovinos criollos de México es la más investigada hasta ahora, ésta incluye la caracterización del ciclo estral, actividad ovárica, comportamiento estral, perfiles hormonales⁽⁸¹⁻⁸³⁾ y desarrollo, y evaluación de protocolos de sincronización e IA^(12,13).

Protocolos de sincronización de estros y ovulación en ganado criollo Rarámuri

En uno de los primeros estudios en bovinos CR, se utilizó un protocolo convencional para IATF, con el uso de CIDR (con 1.9 mg de P₄) por 7 días, más la aplicación de 1 mg de β-estradiol al inicio del tratamiento con P₄; administración de 30 mg de PGF_{2α}, por vía IM, al retirar el CIDR; y 24 h después de realizar el retiro del CIDR se aplicó otra dosis de 1 mg de β-estradiol. La IATF se realizó 54 h después del retiro del CIDR. Con este protocolo se observó un porcentaje de gestación de 9.09 %, a pesar de que 100 % de las vacas presentaron signos de estro. En este estudio, realizar la administración de una dosis de 50 mg de P₄, por vía IM, al momento del retiro del CIDR, en conjunto con la aplicación de β-estradiol, no mejoró el porcentaje de gestación (con ambos tratamientos se obtuvo 9.09 %). El bajo porcentaje de gestación obtenido con este protocolo fue atribuido a una variación en el tiempo a la ovulación⁽¹²⁾. Las vacas presentaron estro entre las 36 y 43 h después de la aplicación de la PGF_{2α}. Los autores mencionan que haber dejado pasar tanto tiempo entre el inicio del estro y la IA fue un factor determinante. Cabe destacar que las vacas que presentaron estro entre 36 y 37 h después del retiro del CIDR, no resultaron gestantes, mientras que todas las vacas que presentaron estro alrededor de las 43 h después del retiro del CIDR, si quedaron gestantes. También se menciona que en vacas CR se presentan estros anovulatorios, por lo que esto contribuye a que el porcentaje de gestación sea bajo⁽¹²⁾.

En otro estudio con vacas CR, el tiempo de inicio del estro inducido con PGF_{2α} a la ovulación fue de 46.2 ± 8.2 h y de 37.6 ± 6.0 h en un estro natural (todas las vacas presentaron estro en un lapso de 24 a 60 h), con una proporción significativa de vacas que ovularon en el intervalo de 24 a 35 h, en el estro natural (8 vacas de un total de 22). En ambos tipos de estro, el mayor porcentaje de vacas ovularon en el intervalo de 36-47 h (12 vacas en el estro natural y 11 vacas en el estro inducido)⁽⁸²⁾. Esta diferencia en los tiempos del inicio del estro a la ovulación, en las hembras CR, respecto a los bovinos *Bos taurus taurus*, debe ser considerada

para mejorar el porcentaje de gestación con los protocolos de IATF, o considerar la posibilidad de utilizar la regla “AM-PM”, para programar la IA, como lo mencionan Zárte-Martínez *et al*⁽¹²⁾. No obstante, realizar este tipo de manejo, que requiere detección de estros, es poco práctico para los productores de bovinos CR.

El patrón de crecimiento de los folículos ováricos es en oleadas; en cada ciclo estral se pueden presentar de una a cuatro oleadas⁽⁸⁴⁻⁸⁶⁾. El número de oleadas foliculares en cada ciclo es variable, siendo lo más común dos a tres oleadas^(85,86). En hembras CR, hay un mayor porcentaje de vacas con dos oleadas foliculares (77.3 %) ⁽⁸¹⁾. Las hembras que presentan dos oleadas foliculares por ciclo ovulan en promedio 6.2 h antes que las vacas con tres oleadas⁽⁸³⁾. Además, la tasa de crecimiento folicular en la raza CR (0.6 ± 0.2 mm día⁻¹)⁽⁸²⁾ es menor que en bovinos *Bos taurus indicus* (0.9 ± 0.1 mm día⁻¹) y que en otras razas de *Bos taurus taurus* (1.1 ± 0.1 mm día⁻¹)⁽⁸⁷⁾. Al respecto, Quezada *et al*⁽⁸²⁾ mencionan que, para optimizar la respuesta a los protocolos de sincronización en vacas CR, es necesario modificar el tiempo entre el tratamiento hormonal y la IA, por lo que sugieren realizar la IA ~28 h después del inicio del estro⁽⁸²⁾.

Uso de eCG en ganado criollo

En ganado *Bos taurus taurus*, la aplicación de eCG en protocolo para IATF, ayuda a incrementar el ritmo de crecimiento y diámetro folicular, así como la producción de P₄, en hembras con baja CC⁽²⁴⁾. Al evaluar el uso de una dosis de 400 UI de eCG al momento de la IATF (56 h después del retiro del CIDR) en vacas CR, con el uso de un protocolo CO-Synch 8 d (aplicación de una dosis 100 µg de GnRH al insertar el CIDR + 25 mg de PGF_{2α} al retirar el CIDR, el día 8 del protocolo + 400 UI de eCG, al momento de la IATF) no se mejoró el porcentaje de gestación (31.5 vs 46.6 %) respecto al mismo protocolo sin eCG (en este tratamiento se aplicó 100 µg de GnRH al momento de la IATF). Los autores mencionan que las hembras estaban en una CC aceptable (4.5 ± 0.2 ; en una escala de 1 a 9) y recibieron una buena alimentación durante el manejo reproductivo, por lo cual no se observó un efecto positivo de la eCG⁽⁸⁸⁾. En este mismo estudio, la suplementación con concentrado, selenio (0.95 mg Se/50 kg PV) o propionato de Ca (100 g), tampoco modificó el porcentaje de gestación⁽⁸⁸⁾.

En otro estudio en el que se evaluó el uso de una dosis de 500 UI de eCG en vacas CR, se obtuvo un porcentaje de gestación de 60 %, del total de hembras en el tratamiento (y 75 % de gestación, respecto a las que mostraron signos de estro)⁽¹³⁾. El protocolo hormonal que se utilizó en este estudio consistió en el uso de un CIDR por 7 días + 2.76 mg de BE al inicio de tratamiento con P₄ (día 0) + 25 mg PGF_{2α} (día 7) + 1 mg de CE o 500 UI de eCG 24 h después de retirar el CIDR (día 9); la IA se realizó 12 h después del inicio del estro. El porcentaje de gestación en el grupo de vacas tratadas con CE fue de 27.3 %. Cabe destacar

que, en este estudio, 100% de las vacas tratadas con CE y 80% de las tratadas con eCG mostraron signos de estro en respuesta al protocolo de IA y todas las hembras en ambos tratamientos ovularon. La respuesta de las vacas a ambos tratamientos fue similar para las variables: respuesta a estro, porcentaje de ovulación y diámetro folicular máximo⁽¹³⁾. Al evaluar estos mismos protocolos en novillas CR, la respuesta a estro fue menor en ambos tratamientos, 89.5 % y 25.0 % para los tratamientos CE y eCG, respectivamente. El porcentaje de novillas que presentaron estros silenciosos fue de 10.5 % para las novillas del grupo tratado con CE y 75.0 % de las tratadas con eCG. La presentación de estros silenciosos fue atribuida a un menor crecimiento folicular que el observado con el uso de CE. Debido a que solo las hembras que mostraron signos de estro fueron inseminadas, el porcentaje de gestación con el uso de eCG fue de solo 10 %, respecto al total en el grupo (40 % de las que presentaron estro y fueron inseminadas)⁽¹³⁾. No obstante, 100 % de las vaquillas tratadas con eCG ovularon. En este estudio, tanto en vacas como en vaquillas, el estro se presentó en menor tiempo con CE (vacas 24.9 ± 2.8 h y vaquillas 25.8 ± 2.9 h) en comparación con el tratamiento de eCG (31.5 ± 2.8 y 30.6 ± 2.9). Adicionalmente, los autores mencionan la posibilidad de usar IATF exitosamente, en vacas multíparas con el uso de eCG, puesto que, con este protocolo, el inicio del estro se agrupó entre las 24 y 36 h después de retirar el CIDR (31.5 ± 2.8 h en promedio) y el mayor porcentaje de vacas fueron inseminadas 36 a 48 h después de terminar el tratamiento con P₄. Además, los resultados de respuesta al estro y porcentaje de gestación obtenidos en este estudio son superiores a los obtenidos por Zárata *et al*⁽¹²⁾ y Sánchez-Arciniega *et al*⁽⁸⁸⁾ en esta misma raza de bovinos.

Reinicio de la actividad ovulatoria/cíclica postparto

El anestro postparto (PP) se caracteriza por ausencia de ovulaciones después del parto. En este periodo los folículos ováricos inician el crecimiento, pero ninguno es capaz de ovular, al menos durante las primeras semanas⁽⁸⁹⁾. Esto es debido en parte a la ausencia de LH, y frecuentemente, la primera ovulación no es precedida por manifestación de signos de estro; el CL puede tener una vida media reducida, menor tamaño y actividad esteroidogénica limitada⁽⁹⁰⁾. Para disminuir el efecto negativo del amamantamiento se ha propuesto realizar destete precoz (DP, pocos días después del parto); amamantamiento controlado o restringido (AR, consiste en permitir el amamantamiento en periodos cortos en el día); o destete temporal (DT, separar al becerro de la madre durante algunos días)⁽⁹¹⁾. La técnica de AR incrementa la proporción de vacas que manifiestan signos de estro durante los primeros 100 días postparto y reduce el intervalo parto primera ovulación, sin afectar el crecimiento de los becerros⁽⁹¹⁾.

En ganado CR, con la estrategia de AR (inicio al día 76 PP), previo al protocolo hormonal para IATF, 81.4 % de las vacas ovularon dentro de un periodo de observación de 22 días después de iniciado el AR, pero solo 11.1 % de ellas manifestaron signos de estro, es decir

presentaron ovulaciones silenciosas. En este estudio, la manifestación de la conducta estral solo se observó en las hembras con mejor CC (4-5, regular a buena), mientras que las vacas con CC mala (2-3, en una escala de 1-9), no ovularon antes del tratamiento de sincronización⁽¹²⁾.

En otro estudio en ganado CR, al evaluar la pérdida de peso durante la lactancia, las vacas que fueron tratadas con un esquema de DP a partir de los 68 ± 3.8 d PP, perdieron menos peso que aquellas que permanecieron con las crías (destete normal a los 180 ± 10.2 días) durante el periodo de evaluación. En las hembras con DP, la pérdida de peso fue de 4.8 kg, mientras que las hembras del grupo con destete normal perdieron 18.9 kg durante el periodo de evaluación (68-180 días PP)⁽⁹²⁾. Como se ha mencionado, al igual que en otras razas bovinas especializadas⁽¹¹⁾, la CC en el ganado CR es una limitante para reestablecer la actividad reproductiva después del parto, y para el establecimiento de la gestación⁽⁹²⁾. El ganado CR en pocas ocasiones es suplementado, por lo que no se tiene control sobre su condición corporal⁽⁸⁸⁾. Por lo anterior, realizar estrategias como AR o DP en ganado criollo, en conjunto con la implementación de protocolos para IATF podría ser de utilidad para mejorar el porcentaje de gestación.

Sincronización de estros en otras razas de ganado criollo en México

La información del desempeño reproductivo en respuesta a protocolos de sincronización de estros e IA en otras razas de bovinos criollos en México es limitado. En vacas criollo Coreño de Nayarit, con la sincronización con un implante de Norgestomet por 9 días + 280 UI de eCG, se obtuvo 80 % de respuesta a estro y un porcentaje de gestación de 60 %⁽⁹³⁾.

En la raza Chinampo, se evaluó el uso de dos dosis de $\text{PGF}_{2\alpha}$ (con 11 días de diferencia entre cada aplicación) para inducir el estro y evaluar el comportamiento estral en presencia del semental⁽⁹⁴⁾. En presencia del toro, se encontró mayor interacción entre las 30 y 60 h después de la segunda dosis de $\text{PGF}_{2\alpha}$. Las vacas expuestas al semental iniciaron estro en menor tiempo y también tuvieron una duración del estro menor que aquellas que permanecieron aisladas del toro (10.7 ± 1.1 h vs 16.3 ± 2.6 h).

En vaquillas puras y mestizas de la raza criollo lechero tropical, se encontró una respuesta de estro de 94.1 % y porcentaje de gestación de 68.8 %; con la adición de una dosis de 500 UI de eCG, al d 10, de un protocolo con implante subcutáneo (con 3 mg de norgestomet, por 12 días + 5 mg de valerato de estradiol, VE, por vía IM el día 0). Mientras que con una dosis de 0.25 mg de GnRH, 24 h después del retiro del implante (implante con 3 mg de norgestomet, por 12 días + 5 mg de VE, por vía IM el día 0), se obtuvo 76.4 % de hembras que mostraron estro y 46.2 % de ellas quedaron gestantes⁽⁹⁵⁾. En este protocolo, se realizó la aplicación de

una dosis de 15 mg de PGF_{2α}, vía IM, 10 días antes de colocar el implante subcutáneo; para homogenizar el ciclo estral.

En el Cuadro 2 se resumen los resultados obtenidos en bovinos criollos, con el uso de diversos protocolos de sincronización de estros e IA.

Cuadro 2: Resumen de porcentajes de gestación obtenidos con protocolos hormonales en bovinos criollos en México

	Raza†	Protocolo‡	Gestación (%)	Referencia
Vacas	CR	CIDR por 7 días (d) + 1 mg E ₂ + 50 mg de P ₄ (d 0) + 30 mg de PGF _{2α} (d 7) + 1 mg de E ₂ (d 8)	9.1	(12)
Vacas	CR	CIDR por 7 d ⁻¹ + 1 mg E ₂ (d 0) + 30 mg de PGF _{2α} , (d 7) + 1 mg de E ₂ (d 8)	9.1	(12)
Vacas	CR	CIDR por 7 d ⁻¹ , 100 µg de GnRH + 25 mg de PGF _{2α} (d 8) + 400 UI 56 h después de retirar el CIDR	31.5	(88)
Vacas	CR	CIDR por 7 d ⁻¹ , 100 µg de GnRH + 25 mg de PGF _{2α} (d 8) + 100 µg 56 h después de retirar el CIDR	46.6	(88)
Vacas	CR	CIDR por 7 d ⁻¹ + 2.76 mg de BE (d 0) + 25 mg PGF _{2α} (d 7) + 1 mg de CE (d 9)	27.3	(13)
Vacas	CR	CIDR por 7 d ⁻¹ + 2.76 mg de BE (d 0) + 25 mg PGF _{2α} (d 7) + 500 UI de eCG (d 9)	60.0	(13)
Vacas	Coreño	Implante de Norgestomet por 9 días + 280 UI de eCG	60.0	(93)
Vaquillas	CR	CIDR por 7 d ⁻¹ + 2.76 mg de BE (d 0) + 25 mg PGF _{2α} (d 7) + 1 mg de CE (d 9)	27.3	(13)
Vaquillas	CR	CIDR por 7 d ⁻¹ + 2.76 mg de BE (d 0) + 25 mg PGF _{2α} (día 7) + 500 UI de eCG (d 9)	60.0	(13)
Vaquillas	CLT	15 mg de PGF _{2α} (d -10) + Implante subcutáneo (3 mg de norgestomet) por 12 d ⁻¹ + 5 mg VE, 500 UI de eCG (d 10)	68.8	(95)
Vaquillas	CLT	15 mg de PGF _{2α} (d -10) + Implante subcutáneo (3 mg de norgestomet) por 12 d ⁻¹ + 5 mg VE (d 0) + 0.25 mg GnRH (d 10)	46.2	(95)

†CR= Criollo Rámuri. CLT= Criollo Lechero Tropical.‡CIDR= dispositivo intravaginal de liberación de progesterona; E₂= Estradiol; VE= valerato de estradiol; PGF_{2α}= prostaglandina F_{2α}; GnRH= hormona liberadora de gonadotropinas; UI= unidades internacionales; BE= benzoato de estradiol; eCG= gonadotropina coriónica equina; CE= cipionato de estradiol.

Factores asociados a la respuesta reproductiva en ganado criollo

Existen diferencias fisiológicas entre los bovinos criollos y el ganado europeo especializado en producción de carne, así como con el ganado cebú. Entre estas, destacan las inherentes al funcionamiento ovárico: número de oleadas foliculares, tasa de crecimiento folicular, diámetro del folículo ovulatorio y del CL; y concentración de hormonas reproductivas y periodos entre eventos del ciclo estral (duración de fase lútea vs fase folicular; tiempo a la ovulación, duración del estro)^(82,83,85). Adicionalmente, los factores externos como estado nutricional, el manejo, las relaciones sociales y jerárquicas⁽³⁸⁾, influyen en la respuesta de los bovinos criollos a los protocolos hormonales para IATF.

Comportamiento reproductivo, función ovárica y endocrinología en la hembra criolla

El ciclo estral en vacas CR tiene una duración promedio de 21.1 ± 1.2 días (rango de 19-23 días), con una fase folicular de 6-9 días y fase lútea de 12-16 días⁽⁸⁸⁾. El crecimiento folicular en bovinos se da en un patrón de oleadas foliculares, y la cantidad de oleadas foliculares en cada ciclo estral es variable, pero puede ir de dos a cuatro oleadas. En vacas CR, se presenta un mayor porcentaje de hembras con dos oleadas foliculares (77.3 %), y en menor porcentaje hembras con tres ondas foliculares por ciclo (22.7 %)⁽⁸²⁾. En hembras *Bos taurus taurus*⁽⁸⁴⁾, *Bos taurus indicus*⁽⁸⁵⁾ hembras criollas tailandesas⁽⁸⁶⁾, también se ha observado un mayor porcentaje de hembras con dos oleadas foliculares por ciclo. Contrario a estos hallazgos, en ganado criollo Caqueteño de Colombia⁽⁹⁾, en vaquillas criollas tendencia lechera en Ecuador⁽⁹⁶⁾, y criolla de la zona altoandina de Perú⁽⁸⁶⁾, existe un mayor porcentaje de hembras con tres oleadas foliculares (Cuadro 3). Sin embargo, hasta el momento no se cuenta con información publicada de la dinámica folicular en otras razas de bovinos criollos de México.

Cuadro 3: Número de oleadas foliculares en el ciclo estral en bovinos criollos, *Bos taurus taurus* y *Bos taurus indicus*

Raza	Número de ondas foliculares (%)		
	2	3	4
Rarámuri de Chihuahua, México ⁽⁸²⁾	77.3	22.7	
Caqueteño de Colombia ⁽⁹⁾	33.3	66.6	
Criolla zona altoandina del Perú ⁽⁸⁶⁾	16.0	78.0	6.0
Criolla altiplano de Ecuador ⁽⁹⁶⁾	44.4	55.6	
Tailandés nativa ⁽⁹⁷⁾	70.0	30.0	
Nelore ⁽⁸⁵⁾	83.3	16.6	
Holstein ⁽⁸⁴⁾	81.0	19.0	

La caracterización del ciclo estral y dinámica folicular en diferentes razas de bovinos ha permitido observar diferencias y similitudes entre ellas (Cuadro 4). En el ganado criollo Caqueteño y Nelore, las hembras con tres oleadas foliculares tienen ciclos estrales más largos que las hembras con dos oleadas^(9,85). En las vacas CR, la duración del ciclo estral, fase folicular y fase lútea, es similar entre hembras con dos y tres oleadas foliculares, pero las hembras con dos oleadas foliculares, ovulan 6.2 h antes que aquellas con tres oleadas foliculares^(82,83). Los folículos ovulatorios de hembras CR con dos oleadas, crecen a una tasa menor de aquellas con tres oleadas (0.5 ± 0.04 vs 0.9 ± 0.08 , respectivamente), mientras que el diámetro máximo del folículo ovulatorio es similar entre ambos patrones de crecimiento (10.5 ± 0.2 vs 10.0 ± 0.4 , respectivamente)⁽⁸³⁾. El diámetro máximo del CL en vacas CR con dos y tres oleadas foliculares es similar (13.0 ± 1.0 vs 13.2 ± 1.7 mm, respectivamente)⁽⁸³⁾. El tamaño del CL y la producción de P₄ en vacas CR también es menor a la de otras razas de ganado, y es posible que estas diferencias sean adaptaciones a las condiciones ambientales y nutricionales que los bovinos criollos han desarrollado para sobrevivir en ambientes difíciles⁽⁸³⁾.

Cuadro 4. Dinámica folicular y ovulatoria en bovinos con dos y tres oleadas foliculares.

Numero de ondas	Raza									
	Rarámuri de México ⁽⁸³⁾		Criolla de Ecuador ⁽⁹⁶⁾		Caqueteño de Colombia ⁽⁹⁾		Nativa tailandesa ⁽⁹⁷⁾		Holstein ⁽⁸⁴⁾	
	2	3	2	3	2	3	2	3	1	2
Duración ciclo estral, días	21.1±0.3	21.4±0.6	20.3±0.0	23.6±0.0	20±0.6	22±0.5	18.60±0.1	20.38±0.1		
Primer onda (no ovulatoria)										
Emergencia, días †	-0.5±0.2	-0.4±0.2	1	1	3	4	1.53±0.1	1.54±0.1	-2.0±0.1	-0.5±0.3
Diámetro máximo del FD‡, mm	8.0±0.1	7.6±0.3	13.2±2.2	12.2±1.7	8.4±1.3	11.7±3.3	7.63±0.1	7.67±0.1	17.1±0.5	16.0±0.4
Tasa crecimiento, mm día ⁻¹	0.5±0.03	0.7±0.0	1.0±0.1	1.2±0.0	-	-	0.65±0.0	0.75±0.1	-	-
Regresión, días	11.0±0.8	7.8±0.4	-	-	11	10.0±0.5	8.34±0.1	8.79±0.1	13.0±0.4	12.2±0.5
Segunda onda (no ovulatoria)										
Emergencia, días	-	9.6±0.5	-	6.6±0.0	-	10.0	-	8.38±0.1		9.0
Diámetro máximo del FD, mm	-	7.2±0.2	-	10.2±0.0	-	12.2±4.4	-	6.79±0.2		12.9±0.7
Tasa de crecimiento, mm día ⁻¹	-	0.4±0.08	-	1.1±0.1	-	-	-	0.75±0.1	-	-
Regresión, días	-	14.8±0.8	-	-		17.0±0.5	-	12.58±0.1		19
Onda ovulatoria										
Emergencia, días	11.2±0.8	14.8±0.8	7.8±1.6	13.2±1.3	11.0	17.0	11.02±0.1	11.33±0.1	9.6±0.2	16.0±1.1
Diámetro máximo del FD, mm	10.5±0.2	10.0±0.4	15.3±0.0	13.8±1.4	7.5±1.1	13.8±3.6	8.81±0.2	8.14±0.2	16.5±0.4	13.9±0.4
Tasa crecimiento, mm día ⁻¹	0.5±0.04	0.9±0.08	0.9±0.1	1.1±0.2	-	-	1.07±0.0	1.48±0.1	-	-
Ovulación, días	22.0	22.5	20.0	23.0	20.0±0.6	22.0±0.5	19.44±0.1	21.13±0.2	20.4±0.3	22.8±0.6
Cuerpo lúteo (CL)										
Diámetro máximo del CL, mm	13.0±1.0	13.2±1.7	21.7±1.4	23.5±0.6	11.3±4.3	11.2±3.2	13.55±0.1	15.14±0.1	-	-
Concentración máxima de P ₄ , ng/ml	6.5±0.1	6.5±0.2	20.6±5.4	20.6±3.1	-	-	4.13±0.1	4.25±0.1	-	-
Regresión, días	16.3±1.6	16.8±1.1	18.0	20.0	17.0±1	19±0.96	17.11±0.1	19.29±0.1	16.5±0.4	19.2±0.5

† El momento de la ovulación (día 0), se utilizó como referente para determinar el inicio del ciclo, por lo que es posible observar la emergencia de la siguiente oleada folicular antes de la ovulación. En el Rarámuri, la evaluación de ambos ovarios se realizó cada 8 h después de iniciado el estro (día 0= día de la ovulación).

‡FD: Folículo dominante.

Interacción social y jerárquica del CR

En ganado CR, se ha observado la existencia de relaciones de dominancia entre hembras de mayor rango sobre las de menor rango jerárquico⁽¹²⁾. La dominancia social en este tipo de ganado no solo está determinada por la edad, sino también por el tipo de cornamenta (como se mencionó, este tipo de ganado posee cuernos de gran tamaño con relación al tamaño del cuerpo, por lo cual son usados para rodeo). Hembras con defectos en los cuernos tienen dificultad para defenderse y defender a sus crías durante el amamantamiento, por lo que terminan huyendo o cediendo el espacio⁽¹²⁾.

Otro factor que puede influir en el porcentaje de gestación es el temperamento de los animales; animales con temperamento agresivo tienden a tener un desempeño reproductivo menor al de los animales de temperamento dócil⁽⁹⁸⁾. El temperamento agresivo interrumpe los eventos fisiológicos necesarios para la reproducción, se asocia con una mayor síntesis y concentraciones circulantes de adenocorticotropina (ACTH) y cortisol, que pueden alterar los eventos fisiológicos clave necesarios para alcanzar la pubertad y la liberación de la oleada preovulatoria de GnRH/ LH⁽⁹⁹⁾. Por el contrario, un temperamento más tranquilo conduce a tasas más altas de presentación de estros y gestación, así como menos pérdidas embrionarias⁽¹⁰⁰⁾. Adicionalmente, el sistema social del ganado es muy jerárquico. La jerarquía influye la ingesta de alimento y comportamiento social⁽¹⁰¹⁾. Además, las vacas de bajo rango adoptan una actitud pasiva como estrategia de comportamiento para reducir el estrés. La jerarquía también influye en la reproducción: las madres estresadas y de bajo rango social producen menos LH, lo que interfiere con la ovulación y el comportamiento estral⁽³⁸⁾.

Conclusiones

El uso de biotecnologías reproductivas como la sincronización de estros e IA es limitado en bovinos criollos y los resultados obtenidos son variables. Entre los factores que modifican la respuesta a la sincronización se encuentran la fisiología reproductiva propia del bovino criollo, la condición corporal y las relaciones jerárquicas. La revisión de la información existente sobre la respuesta en ganado criollo del uso de protocolos de sincronización permite proponer las líneas de investigación a desarrollar, y deben estar enfocadas en el estudio comparativo de la biología reproductiva, adecuación de protocolos hormonales tomando en cuenta las particularidades del ganado criollo y la interacción nutrición, manejo y reproducción. Finalmente, las biotecnologías reproductivas adaptadas al ganado criollo podrán ser incorporadas a los programas de conservación y aprovechamiento racional de este recurso zoogenético.

Literatura citada:

1. O'Neill CJ, Swain DL, Kadarmideen HN. Evolutionary process of *Bos taurus* cattle in favourable *versus* unfavourable environments and its implications for genetic selection. *Evol Appl* 2010;(5-6): 422–433. doi: 10.1111/j.1752-4571.2010.00151.x.
2. McManus C, Prescott E, Paludo GR, Bianchini E, Louvandini H, Mariante AS. Heat tolerance in naturalized Brazilian cattle breeds. *Livest Sci* 2009;120(3):256–264. doi:10.1016/j.livsci.2008.07.014.
3. Espinoza V, Ortega PR, Palacios EA, Guillén TA. Tolerancia al calor y humedad atmosférica de diferentes grupos raciales de ganado bovino. *Rev MVZ Córdoba*. 2011;16(1):2009-2011.
4. Ndlovu T, Chimonyo M, Muchenje V. Monthly changes in body condition scores and internal parasite prevalence in Nguni, Bonsmara and Angus steers raised on sweetveld. *Trop Anim Health Prod* 2009;41:1169–1177. doi:10.1007/s11250-008-9297-0.
5. Delgado JV, Martínez MA, Acosta A, Álvarez LA, Armstrong E, Camacho E, *et al.* Genetic characterization of Latin-America creole cattle using microsatellite markers. *Anim Genet* 2011;43(1):2-10. doi: 10.1111/j.1365-2052.2011.02207.x.
6. FAO. The State of the World's Biodiversity for Food and Agriculture, J. Bélanger, D. Pilling editors. FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture Assessments. Rome. 2019.
7. Callejas-Juarez N, Aranda-Gutiérrez H, Martínez-Nevárez J, Juárez-Beltrán L. Comercialización del ganado criollo para rodeo en el Estado de Chihuahua. *Rev Mex Agroneg* 2011; Vol. Esp:72–81.
8. Segura-Correa JC, Montes-Pérez RC. Razones y estrategias para la conservación de los recursos genéticos animales. *Rev Biomed* 2001;12:196–206.
9. López-Rojas R, Celis-Parra G, Tovar-Claros G, García-Gasca A, García-Bustos J. Ovarian follicular dynamics in caqueteño creole cattle breed at the colombian amazon piedmont. *Am J Anim Vet Sci* 2019;14(2):101–10. doi: 10.3844/ajavsp.2019.101.110.
10. Shahid B, Khan MI, Andrabi SMH, Razzaq A, Khan MN. Estrus duration and expression in natural and induced estrus in indigenous (*Bos indicus*) cattle. *J Anim Plant Sci* 2019;29(3):645–649.
11. Diskin MG, Kenny DA. Managing the reproductive performance of beef cows. *Theriogenology* 2016;86 (1):379–87. doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.04.052.

12. Zárate-Martínez JP, Ramírez-Godínez JA, Rodríguez-Almeida FA. Comportamiento reproductivo de vacas criollas con amamantamiento restringido y sincronización del estro. *Agro Meso* 2010;21(1):121–130.
13. Quezada-Casasola A, Beltrán-Prieto L, Macías-Cruz U, Avendaño-Reyes L, Ramírez-Godínez J. Comparison of equine chorionic gonadotropin (eCG) and oestradiol cypionate administered 24 h after CIDR removal during an oestrus synchronization protocol for artificial insemination in Mexican Criollo cattle. *Vet Arhiv* 2016;86(3):437–51. doi.org/10.1071/AN12334.
14. Lamb GC, Dahlen CR, Larson JE, Marquezini G, Stevenson JS. Control of the estrous cycle to improve fertility for fixed-time artificial insemination in beef cattle: a review. *J Anim Sci* 2010;(18):181–92. doi: 10.2527/jas.2009-2349.
15. Bó GA, Huguenine E, Javier J, de la Mata JJ, Núñez-Olivera R, Baruselli PS, *et al.* Programs for fixed-time artificial insemination in South American beef cattle. *Anim Reprod* 2018;15(Suppl.1):952–962. doi: 10.21451/1984-3143-AR2018-0025.
16. Bó GA, de la Mata JJ, Baruselli PS, Menchaca A. Alternative programs for synchronizing and resynchronizing ovulation in beef cattle. *Theriogenology* 2016;86(1):388–96. dx.doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.04.053.
17. Bridges GA, Mussard ML, Helsler LA, Day ML. Comparison of follicular dynamics and hormone concentrations between the 7-day and 5-day CO-Synch + CIDR program in primiparous beef cows. *Theriogenology* 2014;81(4):632–638. dx.doi.org/10.1016/j.theriogenology.2013.11.020.
18. Vasconcelos JLM, Carvalho R, Peres RFG, Rodrigues ADP, Junior IC, Meneghetti M, *et al.* Reproductive programs for beef cattle: Incorporating management and reproductive techniques for better fertility. *Anim Reprod* 2017;14(3):547–57. doi: 10.21451/1984-3143-AR998.
19. Smith MF, Pohler KG, Perry GA, Patterson D. Physiological factors that affect pregnancy rate to artificial insemination in beef cattle. *Proc Applied Reprod Strat Beef Cattle*. 2013:27–45.
20. Martínez MF, Kastelic JP, Bó GA, Caccia M, Mapletoft RJ. Effects of oestradiol and some of its esters on gonadotrophin release and ovarian follicular dynamics in CIDR-treated beef cattle. *Anim Reprod Sci* 2005;86(1–2):37–52. doi:10.1016/j.anireprosci.2004.06.005.
21. Bó GA, Baruselli PS, Mapletoft RJ. Synchronization techniques to increase the utilization of artificial insemination in beef and dairy cattle. *Anim Reprod* 2013;10(3):137–142.

22. Colazo MG, Mapletoft RJ. A review of current timed-AI (TAI) programs for beef and dairy cattle. *Can Vet J* 2014;(55):772-780.
23. Colazo MG, Kastelic JP, Mapletoft RJ. Effects of estradiol cypionate (ECP) on ovarian follicular dynamics, synchrony of ovulation, and fertility in CIDR-based, fixed-time AI programs in beef heifers. *Theriogenology* 2003;60(5):855–865. doi:10.1016/S0093-691X(03)00091-8.
24. Nuñez-Olivera R, de Castro T, García-Pintos C, Bó G, Piaggio J, Menchaca A. Ovulatory response and luteal function after eCG administration at the end of a progesterone and estradiol' based treatment in postpartum anestrous beef cattle. *Anim Reprod Sci* 2014;146:111–116. doi.org/10.1016/j.anireprosci.2014.02.017.
25. Baruselli PS, Reis EL, Marques MO, Nasser LF, Bó GA. The use of hormonal treatments to improve reproductive performance of anestrous beef cattle in tropical climates. *Anim Reprod Sci* 2004;(82–83):479–486. doi:10.1016/j.anireprosci.2004.04.025.
26. Marquezini GHL, Mercadante VRG, Olson KC, Jaeger JR, Perry GA, Lamb GC. Effects of equine chorionic gonadotropin on follicle development and pregnancy rates in suckled beef cows with or without calf removal. *J Anim Sci* 2013;91:1216–1224. doi: 10.2527/jas.2012-5382.
27. Martinez MF, Tutt D, Quirke LD, Tattersfield G, Juengel JL. Development of a GnRH-PGF2 α -progesterone-based synchronization protocol with eCG for inducing single and double ovulations in beef cattle. *J Anim Sci* 2014;92(11):4935–4948. doi: 10.2527/jas.2013-7512.
28. Baruselli PS, Sá Filho MF, Ferreira RM, Sales JNS, Gimenes LU, Vieira LM, *et al.* Manipulation of follicle development to ensure optimal oocyte quality and conception rates in cattle. *Reprod Dom Anim.* 2012;47(Suppl 4):134–141. doi: 10.1111/j.1439-0531.2012.02067.x.
29. Pursley JR, Wiltbank MC, Stevenson JS, Ottobre JS, Garverick, HA, Anderson LL. Pregnancy rates per artificial insemination for cows and heifers inseminated at a synchronized ovulation or synchronized estrus. *J Dairy Sci* 1997;80:295-300. doi: 10.3168 / jds.S0022-0302 (97) 75937-X.
30. Pursley JR, Mee MO, Wiltbank MC. Synchronization of ovulation in dairy cows using PGF2 α and GnRH. *Theriogenology* 1995;44(7): 915-923. doi: 10.1016 / 0093-691x (95) 00279-h.
31. Geary TW, Whittier JC. Effects of a timed insemination following synchronization of ovulation using the Ovsynch or CO- Synch protocol in beef cows. *Prof Anim Sci* 1998;14:217–220.

32. Geary TW, Whittier JC, Downing ER, LeFever DG, Silcox RW, Holland MD, *et al.* Pregnancy rates of postpartum beef cows that were synchronized using Syncro-Mate-B or the Ovsynch protocol. *J Anim Sci* 1998;76:1523–1527. doi: 10.2527 / 1998.7661523x.
33. Geary TW, Whittier JC, Hallford DM, MacNeil MD. Calf removal improves conception rates to the Ovsynch and CO-Synch protocols. *J Anim Sci* 2001;79:1–4. doi: 10.2527/2001.7911
34. Lamb GC, Stevenson JS, Kesler DJ, Garverick HA, Brown DR, Salfen BE. Inclusion of an intravaginal progesterone insert plus GnRH and prostaglandin F2 α for ovulation control in postpartum suckled beef cows. *J Anim Sci* 2001;79(9):2253–2259. doi: 10.2527 / 2001.7992253x.
35. Martínez MF, Kastelic JP, Adams GP, Cook B, Olson WO, Mapletoft RJ. The use of progestins in regimens for fixed-time artificial insemination in beef cattle. *Theriogenology* 2002;57(3):1049–1059. doi: 10.1016 / s0093-691x (01) 00682-3.
36. Moreira F, Orlandi C, Risco CA, Mattos R, Lopes F, Thatcher WW. Effects of presynchronization and bovine somatotropin on pregnancy rates to a timed artificial insemination protocol in lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 2001;84(7):1646–1659. doi: 10.3168 / jds.S0022-0302 (01) 74600-0.
37. Small JA, Colazo MG, Kastelic JP, Erickson NE, Mapletoft RJ. Effects of presynchronization and eCG on pregnancy rates to GnRH-based, fixed-time artificial insemination in beef heifers. *Can J Anim Sci* 2010;90(1):23–34. doi.org/10.4141/CJAS09058.
38. Fernandez-Novo A, Pérez-Garnelo SS, Villagrà A, Pérez-Villalobos N, Astiz S. The effect of stress on reproduction and reproductive technologies in beef cattle—A review. *Animals*. 2020;10(11):1–23. doi: 10.3390 / ani10112096.
39. Bridges GA, Helser LA, Grum DE, Mussard ML, Gasser CL, Day ML. Decreasing the interval between GnRH and PGF2 α from 7 to 5 days and lengthening proestrus increases timed-AI pregnancy rates in beef cows. *Theriogenology* 2008;69:843–851. doi: 10.1016 / j.theriogenology.2007.12.011.
40. Geary TW, Smith MF, Macneil MD, Day ML, Bridges GA, Perry GA, *et al.* Triennial Reproduction Symp: Influence of follicular characteristics at ovulation on early embryonic survival. *J Anim Sci* 2013;91:3014–3021. doi: 10.2527/jas.2012-5887.
41. de la Mata JJ, Bo GA. Sincronización de celos y ovulación utilizando protocolos con benzoato de estradiol y GnRH en períodos reducidos de inserción de un dispositivo con progesterona en vaquillonas para carne. *Taurus* 2012;55:17–23.

42. de la Mata JJ, Ré M, Bo GA. Combination of oestrus detection and fixed-time artificial insemination in beef heifers following a shortened oestradiol-based protocol that provides for a lengthened proestrus. *Reprod Fertil Dev* 2014;27:96–97. doi: 10.1071 / RDv27n1Ab8.
43. de La Mata JJ, Núñez-Olivera R, Cuadro F, Bosolasco D, de Brun V, Meikle A, *et al.* Effects of extending the length of pro-oestrus in an oestradiol- and progesterone-based oestrus synchronisation program on ovarian function, uterine environment and pregnancy establishment in beef heifers. *Reprod Fertil Dev* 2018;30(11):1541–52. doi: 10.1071 / RD17473.
44. Peralta-Torre JA, Aké-López JR, Centurión-Castro FG, Magaña-Monforte JG. Comparación del cipionato de estradiol vs benzoato de estradiol sobre la respuesta a estro y tasa de gestación en protocolos de sincronización con CIDR en novillas y vacas *Bos indicus*. *Universidad y Ciencia* 2010;26(2):163–169.
45. Melo LF, Monteiro PLJ, Surjus RS, Drum JN, Wiltbank MC, Sartori R. Progesterone-based fixed-time artificial insemination protocols for dairy cows: Gonadotropin-releasing hormone *versus* estradiol benzoate at initiation and estradiol cypionate *versus* estradiol benzoate at the end. *J Dairy Sci* 2016;99(11):9227–9237. doi: 10.3168 / jds.2016-11220.
46. Herrera-Alvarez R, Pugliesi G, Nogueira-Natal FL, Constantino-Rocha C, Ataíde-Júnior GA, Ferreira-Melo AJ, *et al.* Reproductive performance of *Bos indicus* beef cows treated with different doses of equine chorionic gonadotropin at the end of a progesterone-estrogen based protocol for fixed-time artificial insemination. *Theriogenology* 2018;118:150–6. doi: 10.1016 / j.theriogenology.2018.06.003
47. Menchaca A, Nuñez-Olivera R, Cuadro F, Bo G. Pregnancy rates in beef heifers synchronized with a shortened oestradiol-based treatment that provides for a prolonged proestrus. *Reprod Fertil Dev* 2014;27(1):96–96. doi.org/10.1071/RDv27n1Ab7.
48. Sales JNS, Bottino MP, Silva LACL, Giroto RW, Massoneto JPM, Souza JC, *et al.* Effects of eCG are more pronounced in primiparous than multiparous *Bos indicus* cows submitted to a timed artificial insemination protocol. *Theriogenology* 2016;86(9):2290–2295. doi: 10.1016 / j.theriogenology.2016.07.023.
49. Yáñez-Avalos DO, López-Parra JC, Moyano-Tapia JC, Quinteros-Pozo RO, Marini PR. Inseminación artificial a tiempo fijo en vacas con proestro prolongado. *Agron Mesoam* 2018;29(2):363–73. dx.doi.org/10.15517/ma.v29i2.29503.

50. Sales JNS, Carvalho JBP, Crepaldi GA, Cipriano RS, Jacomini JO, Maio JRG, *et al.* Effects of two estradiol esters (benzoate and cypionate) on the induction of synchronized ovulations in *Bos indicus* cows submitted to a timed artificial insemination protocol. *Theriogenology* 2012;78(3):510–516. doi: 10.1016 / j.theriogenology.2012.02.031.
51. Bastos-Souza AL, Saptorski-Segui M, Ernandes-Kozicki L, Romulado-Weiss R, Abreu A, Formighieri-Bertol MA, *et al.* Impact of equine chorionic gonadotropin associated with temporary weaning, estradiol benzoate, or estradiol cypionate on timed artificial insemination in primiparous *Bos indicus* cows. *Braz Arch Biol Technol* 2016;59:1–7. doi.org/10.1590/1678-4324-2016150389.
52. Sá Filho MF, Crespilho AM, Santos JEP, Perry GA, Baruselli PS. Ovarian follicle diameter at timed insemination and estrous response influence likelihood of ovulation and pregnancy after estrous synchronization with progesterone or progestin-based protocols in suckled *Bos indicus* cows. *Anim Reprod Sci* 2010;120:23–30. doi: 10.1016 / j.anireprosci.2010.03.007.
53. Mion B, Bonotto RM, Farias CO, Rosa FS, Pradiee J, Rovani MT, *et al.* J-Synch protocol associated with estrus detection in beef heifers and non-lactating cows. *Review. Medicina Veterinária* 2019;13(2): 269-274. doi.org/10.26605/medvet-v13n2-3089.
54. Brusveen DJ, Cunha AP, Silva CD, Cunha PM, Sterry RA, Silva EPB, *et al.* Altering the time of the second gonadotropin-releasing hormone injection and artificial insemination (AI) during ovsynch affects pregnancies per AI in lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 2008;91(3):1044–1052. doi: 10.3168 / jds.2007-0409.
55. Navanukraw C, Redmer DA, Reynolds LP, Kirsch JD, Grazul-Bilska AT, Fricke PM. A modified presynchronization protocol improves fertility to timed artificial insemination in lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 2004;87(5):1551–1557. doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73307-X.
56. Rodríguez-Martínez R, Neri ICC, Meza-Herrera CA, Alvarado-Espino AS, Cruz JLM, González-Álvarez VH, *et al.* Reproductive efficiency of Ovsynch + CIDR in Holstein cows under a fixed time artificial insemination scheme in northern Mexico. *Rev Mex Cienc Pecu* 2018;9(3):506–517. doi.org/10.22319/rmcp.v9i3.4300.
57. Flores-Domínguez S, Muñoz-Flores LR, López-Ordaz R, Flores-Aréchiga CF, Mapes G, Hernández-Cerón J. Pregnancy in dairy cows with two protocols for synchronization of ovulation and timed artificial insemination. *Rev Mex Cienc Pecu* 2015;6(4):393–404.

58. Echternkamp SE, Thallman RM. Factors affecting pregnancy rate to estrous synchronization and fixed-time artificial insemination in beef cattle. *J Anim Sci.* 2011;89(10):3060–8. doi: 10.2527 / jas.2010-3549.
59. Ahmadzadeh A, Gunn D, Hall JB, Glaze JB. Evaluation of treatment with a 5-day *versus* 7-day controlled internal drug-release insert on reproductive outcomes of beef heifers using a modified timed-artificial insemination protocol. *Prof Anim Sci* 2015; 31(3):270–277. doi.org/ 10.15232/pas.2014-01378.
60. Whittier WD, Currin JF, Schramm H, Holland S, Kasimanickam RK. Fertility in Angus cross beef cows following 5-day CO-Synch + CIDR or 7-day CO-Synch + CIDR estrus synchronization and timed artificial insemination. *Theriogenology* 2013;80(9):963–9. doi: 10.1016 / j.theriogenology.2013.07.019.
61. Hill SL, Perry GA, Mercadante VRG, Lamb GC, Jaeger JR, Olson KC, *et al.* Altered progesterone concentrations by hormonal manipulations before a fixed-time artificial insemination CO-Synch + CIDR program in suckled beef cows. *Theriogenology* 2014;82(1):104–13. doi: 10.1016 / j.theriogenology.2014.03.008.
62. Kasimanickam RK, Firth P, Schuenemann GM, Whitlock BK, Gay JM, Moore DA, *et al.* Effect of the first GnRH and two doses of PGF_{2α} in a 5-day progesterone-based CO-Synch protocol on heifer pregnancy. *Theriogenology* 2014;81(6):797–804. doi: 10.1016 / j.theriogenology.2013.12.023.
63. Gunn PJ, Culp KC, Lemenager RP, Bridges GA. Efficacy of the 5-day CO-Synch ovulation synchronization protocol with or without the inclusion of exogenous progesterone in beef cows. *Prof Anim Sci* 2016; 32(1):82–89. doi: 10.15232/pas.2015-01423.
64. Bridges GA, Ahola JK, Brauner C, Cruppe LH, Currin JC, Day ML, *et al.* Determination of the appropriate delivery of prostaglandin F_{2α} in the five-day CO-Synch + controlled intravaginal drug release protocol in suckled beef cows. *J Anim Sci* 2012;90:4814–22. doi.org/10.2527/jas.2011-4880.
65. Corpron MR, Menegatti-Zoca S, Reynolds M, Carnahan K, Hall JB, Ahmadzadeh A. Evaluating the effects of a high-concentration dose of prostaglandin F_{2α} in a 5-d CO-Synch + controlled internal drug release protocol on fertility in beef cows. *Transl Anim Sci* 2019;3(Supl 1):1754–1757. doi: 10.1093 / tas / txz081.
66. Lima FS, Ribeiro ES, Bisinotto RS, Greco LF, Martinez N, Amstalden M, *et al.* Hormonal manipulations in the 5-day timed artificial insemination protocol to optimize estrous cycle synchrony and fertility in dairy heifers. *J Dairy Sci* 2013;96(11):7054–65. doi.org/10.3168/jds.2013-7093.

67. Macmillan K, Gobikrushanth M, Sanz A, Bignell D, Boender G, Macrae L, *et al.* Comparison of the effects of two shortened timed-AI protocols on pregnancy per AI in beef cattle. *Theriogenology* 2020;142:85–91. doi: 10.1016/j.theriogenology.2019.09.038
68. García-Martínez B. Los primeros pasos del ganado en México. *Relaciones. Estudios de Historia y Sociedad.* 1994;59:11-44.
69. Ulloa-Arvizu R, Gayosso-Vázquez, Ramos-Kuri M, Estrada MJ, Montañón M, Alonso RA. Genetic analysis of Mexican Criollo cattle populations. *J Anim Breed Genet* 2008;125:351-359.
70. Russell ND, Rios J, Erosa G, Remmenga MD, Hawkins DE. Genetic differentiation among geographically isolated populations of Criollo cattle and their divergence from other *Bos taurus* breeds. *J Anim Sci* 2000;78(9):2314–22. doi: 10.2527/2000.7892314x
71. DAD-IS. 2021. Base de datos sobre la diversidad de los animales domésticos. FAO. Roma, Italia. [<http://dad.fao.org/>]. Consultado 16 Nov, 2021.
72. Espinoza-Villavicencio JL, Guevara Franco JA, Palacios-Espinosa A. Caracterización morfométrica y faneróptica del bovino criollo Chinampo de México. *Arch Zoot* 2009;58(222):277-279.
73. Espinoza JV, López RA, Ortega RP, Palacios AE, Guillén AT, Hernández HC. Hábitos de amamantamiento del ganado bovino Chinampo (*Bos taurus*) de México. *Rev MVZ Córdoba* 2011;16(3):2686–2691. doi.org/10.21897/rmvz.269.
74. Villaseñor-González F, de La Torre-Sánchez JF, Martínez-Velázquez G, Álvarez-Gallardo H, Pérez-Reynoso S, Palacios- Fránquez JA, *et al.* Caracterización de la respuesta ovárica a la superovulación en bovino Criollo Coreño utilizando dosis reducidas de FSH. *Rev Mex Cienc Pecu* 2017;8(3):225–32. doi.org/10.22319/rmcp.v8i3.4498.
75. Moreno-Flores LA, Macías-Coronel H, Martínez-Velázquez G, Guerrero-Bustamante JJ. Aspectos reproductivos del bovino Criollo Coreño y sus cruza en el trópico. *Abanico Vet* 2012;2(1):32–40.
76. Méndez Palacios N, Rosas García M, Serrano Palapa J, Avila Benítez R, Méndez Mendoza M. Caracterización morfométrica del bovino Criollo Mixteco. Caracterización morfométrica del bovino criollo mixteco. *Arch Zootec* 2002;51:217–221.

77. Hernández-Beltrán A, Cervantes-Acosta P, Gómez-Boucrin F, Domínguez-Mancera B, Barrientos-Morales M. Los Bovinos Criollos en el Golfo de México. In: Perezgrovas-Grovas. RA, de la Torre-Sánchez F, editors. Los bovinos criollos de México, historia caracterización y perspectivas. 1st ed. Chiapas, México: Universidad Autónoma de Chiapas; 2015:209–235.
78. Perezgrovas R, Vázquez D, Rodríguez G, Galdámez D. Aproximación fenotípica a la diversidad de los bovinos criollos en la región central montañosa de Chiapas, México. *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal* 2011;1:384–387.
79. López-Caraveo E. Caracterización etnológica de vacas criollas en el estado de Campeche [Tesis maestría]. Tecnológico Nacional de México Instituto, Tecnológico de Conkal. 2019.
80. Parra-Cortés RI, Magaña-Magaña MA. Vacas, toros y bueyes criollos en peligro. *Ecofronteras* 2020;24(68):26–29.
81. Quezada-Casasola A, Avendaño-Reyes L, Macías-Cruz U, Ramírez-Godínez JA, Rivas-Cáceres RR. Estrous behavior, ovulatory follicle dynamics, and corpus luteum size in creole cows after spontaneous or prostaglandin $F_{2\alpha}$ -induced estrous. *Rev Colomb Cienc Pecu* 2015;28(4):303–12. doi: 10.17533/udea.rccp.v28n4a02.
82. Quezada-Casasola A, Avendaño-Reyes L, Ramírez-Godínez JA, Macías-Cruz U, Correa-Calderón A. Behavioural, follicular and hormonal characteristics of the oestrous cycle of Mexican Criollo cattle. *Anim Prod Sci* 2013;54(3):277–284. dx.doi.org/10.1071/AN12334.
83. Quezada-Casasola A, Avendaño-Reyes L, Macías-Cruz U, Ramírez-Godínez JA, Correa-Calderón A. Estrus behavior, ovarian dynamics, and progesterone secretion in Criollo cattle during estrous cycles with two and three follicular waves. *Trop Anim Health Prod* 2014;46(4):675–84. doi:10.1007/s11250-014-0562-0.
84. Ginther OJ, Knopf L, Kastelic JP. Temporal associations among ovarian events in cattle during oestrous cycles with two and three follicular waves. *J Reprod Fert* 1989;87:223–230. doi: 10.1530 / jrf.0.0870223.
85. Figueiredo RA, Barros CM, Pinheiro OL, Soler JMP. Ovarian follicular dynamics in Nelore breed (*Bos indicus*) cattle. *Theriogenology* 1997;47:1489–1505. doi: 10.1016 / s0093-691x (97) 00156-8.
86. Alfaro-Astorima MI, Ormachea-Sánchez HH, Alvarado-Malca AE. Ovarian follicular dynamics of a creole cattle under grazing conditions in high Andean areas of Peru. *Sci Agropecu* 2020;11(4):621–628. doi: 10.17268 / sci.agropecu.2020.04.18.

87. Carvalho JBP, Carvalho NAT, Reis EL, Nichi M, Souza AH, Baruselli PS. Effect of early luteolysis in progesterone-based timed AI protocols in *Bos indicus*, *Bos indicus* × *Bos taurus*, and *Bos taurus* heifers. *Theriogenology* (2008);69:167–175. doi: 10.1016/j.theriogenology.2007.08.035.
88. Sánchez-Arciniega C, Ramírez-Godínez JA, Domínguez-Díaz D, Corral-Flores G, Grado-Ahuir JA, Flores-Mariñelarena A, *et al.* Respuesta de vacas Criollas de Rodeo a la suplementación con selenio y propionato de calcio, y a la sincronización de la ovulación. *Tecnociencia* 2013;7(3):132–138.
89. Pérez-Hernández P, Becerril-Pérez M, Lamothe-Zavaletta C, Torres-Hernández G, López-Ortiz S, Gallegos-Sánchez J. Efecto del amamantamiento retrasado en la actividad posparto de las vacas y en los becerros de doble propósito. *Interciencia* 2006;31(10):748-752.
90. Montiel F, Ahuja C. Body condition and suckling as factors influencing the duration of postpartum anestrus in cattle: a review. *Anim Reprod Sci* 2005;85:1-26. doi:10.1016/j.anireprosci.2003.11.001.
91. Pérez-Hernández P, García-Winder M, Gallegos-Sánchez J. Postpartum anoestrus is reduced by increasing the within-day milking to suckling interval in dual purpose cows. *Anim Reprod Sci* 2002;73:159–168. doi: 10.1016 / s0378-4320 (02) 00147-1.
92. Ruiz-Barrera O, Anchondo-Garay A, Flores-Mariñelarena A, Ríos-Ramírez G, Rodríguez-Almeida F, Castillo-Castillo Y. Destete precoz en ganado criollo mexicano de rodeo. *Tecnociencia Chihuahua* 2009;3(1):27–32.
93. Moreno-Flores LA, Macías-Coronel H, Martínez-Velázquez G, Guerrero-Bustamante JJ. Aspectos reproductivos del bovino Criollo Coreño y sus cruzas en el trópico. *Abanico Vet* 2012;2(1):32–40.
94. Espinoza-Villavicencio JL, López-Amador R, Palacios-Espinosa A, Ortega-Pérez R, Ávila-Serrano N, Murillo-Amador B. Efecto del toro sobre el comportamiento estral de vacas Chinampas (*Bos taurus*) en una región tropical seca. *Zootecnia Trop* 2007;25(1):19–28.
95. Rosendo-Ponce A, Rosales-Martínez F, Cruz-Reyes L, Canseco-Sedano R, Gallegos-Sánchez J, Becerril-Pérez CM. Sincronización de estro en vaquillas criollas Lechero Tropical puras y mestizas. *Zootecnia Trop* 2017;35:35–44.
96. Ayala LE, Pesantez JL, Rodas ER, Dután JB, Calle JR, Murillo YA, *et al.* Dinámica folicular de vaquillas Criollas al pastoreo en el altiplano ecuatoriano. *Arch Zootec* 2019;68(262):184–90. doi.org/10.21071/az.v68i262.4135.

97. Chasombat J, Nagai T, Parnpai R, Vongpralub T. Ovarian follicular dynamics and hormones throughout the estrous cycle in Thai native (*Bos indicus*) heifers. *Anim Sci J* 2013;85(1):15–24. doi:10.1111 / asj.12086.
98. Cooke RF, Bohnert DW, Cappelozza BI, Mueller CJ, Delcurto T. Effects of temperament and acclimation to handling on reproductive performance of *Bos taurus* beef females. *J Anim Sci* 2012;90(10):3547–55. doi: 10.2527 / jas.2011-4768.
99. Cooke RF, Moriel P, Cappelozza BI, Miranda VFB, Batista LFD, Colombo EA, *et al.* Effects of temperament on growth, plasma cortisol concentrations and puberty attainment in Nelore beef heifers. *Animal* 2019;13(6):1208–1213. doi:10.1017/S1751731118002628.
100. Kasimanickam R, Asay M, Schroeder S, Kasimanickam V, Gay JM, Kastelic JP, *et al.* Calm temperament improves reproductive performance of beef cows. *Reprod Dom Anim* 2014;49(6):1063–1067. doi: 10.1111 / rda.12436.
101. Solano J, Galindo F, Orihuela A, Galina CS. The effect of social rank on the physiological response during repeated stressful handling in Zebu cattle (*Bos indicus*). *Physiol Behav* 2004;82(4):679–83. doi: 10.1016 / j.physbeh.2004.06.005.