

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL



Respuesta superovulatoria con dos diferentes protocolos de sincronización en
ganado productor de leche

Por:

Israel Santoyo Marín

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Torreón, Coahuila, México
Octubre 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL

Respuesta superovulatoria con dos diferentes protocolos de sincronización en
ganado productor de leche

Por:

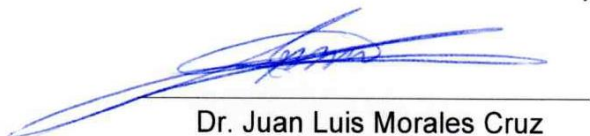
Israel Santoyo Marín

TESIS

Que se somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial
para obtener el título de:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Aprobada por:



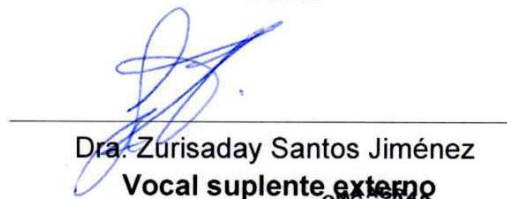
Dr. Juan Luis Morales Cruz
Presidente



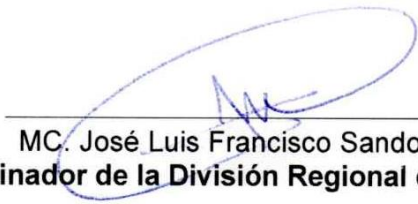
Dr. Hugo Zuriel Guerrero Gallego
Vocal



Dr. Juan Manuel Guillén Muñoz
Vocal



Dra. Zurisaday Santos Jiménez
Vocal suplente externo



MC. José Luis Francisco Sandoval Elías
Coordinador de la División Regional de Ciencia Animal



Torreón, Coahuila, México
Octubre 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL

Respuesta superovulatoria con dos diferentes protocolos de sincronización en
ganado productor de leche

Por:

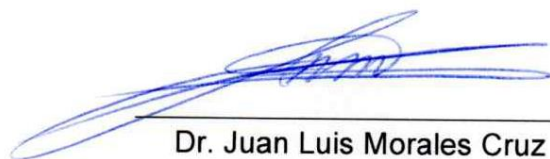
Israel Santoyo Marín

TESIS

Presentado como requisito parcial para obtener el título de:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dr. Juan Luis Morales Cruz
Asesor Principal



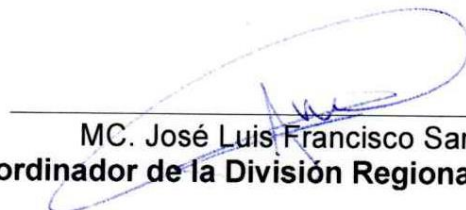
Dr. Hugo Zuriel Guerrero Gallego
Coasesor



Dr. Juan Manuel Guillén Muñoz
Coasesor



Dra. Zurisaday Santos Jiménez
Coasesor externo



MC. José Luis Francisco Sandoval Elías
Coordinador de la División Regional de Ciencia Animal



Torreón, Coahuila, México
Octubre 2025

AGRADECIMIENTOS

A MIS PADRES:

A quienes me formaron con amor y que a lo largo de mi vida me guiaron siempre por el buen camino, brindándome su apoyo, sus consejos, y que en los momentos difíciles me alentaron a seguir adelante, llegando a realizar la más grande de mis metas: Mi Carrera Profesional, la mejor herencia que pude recibir. Gracias por enseñarme lo que han recogido en su paso por la vida, por compartir mis momentos grises, mis horas felices, ambiciones y sueños, gracias por ayudarme a salir adelante y por hacer de mi lo que hoy soy. No los defraudare y los hare sentir orgullosos de lo que hicieron de mí.

A DIOS:

Por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudios.

A MIS MAESTROS:

Quienes con su paciencia y compromiso me han enseñado no solo con conocimientos, si no con valores y principios. Gracias por creer en mí y por impulsarme a dar lo mejor de mí.

A MI TUTOR:

Me gustaría expresar mi más sincero agradecimiento a mi tutor el Dr. Juan Luis Morales por su guía y apoyo invaluable durante todo el proceso de investigación.

Índice

A G R A D E C I M I E N T O S	i
Índice	ii
Índice de Tablas y figuras.	iii
Resumen	iv
I. Introducción	1
II. Objetivo	2
III. Revisión de literatura	3
3.1 Ciclo estral	3
3.1.1 Regulación endocrina del ciclo estral en el bovino	3
3.1.2 Dinámica folicular	5
3.2 Protocolos de superovulación para la producción de embriones in vivo.....	5
3.2.1 Combinación de progestágenos y estradiol	6
3.3 Selección y manejo de vacas donadoras de embriones.....	7
3.4 Selección y manejo de vacas receptoras de embriones.....	8
3.5 Evaluación de la calidad embrionaria.....	9
IV. Materiales y métodos	11
Variables analizadas.....	14
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	15
VI. CONCLUSIÓN	20
VII. Literatura citada	21

Índice de Tablas y figuras.

Tablas

Tabla 1 Medias $\pm$ desviación estándar de la respuesta superovulatoria de vacas Holstein Friesian tratadas con dos protocolos de sincronización para la superovulación: T1= DIV+BE y T2= Conv.	15
Tabla 2 Viabilidad de embriones de vacas Holstein Friesian tratadas con dos protocolos de sincronización para la superovulación: T1= DIV+BE y T2= Conv.....	18

Figuras

Figura 1 Características de la hembra donadora (Tomada de Tribulo 2021).	7
Figura 2 Desarrollo temprano del embrion bovino. (Tomado de Mellisho, 2006).	10
Figura 3 Descripción esquemática del tratamiento experimental T1= DIV+BE en vacas Holstein Friesian.	13
Figura 4 Descripción esquemática del tratamiento experimental T2= convencional en vacas Holstein Friesian.	14

Resumen

El objetivo de este estudio fue evaluar la respuesta superovulatoria con dos diferentes protocolos de sincronización y posterior superovulación en vacas productoras de leche. Se utilizaron 10 vacas de la raza Holstein Friesian de alto valor genético y alta producción, las cuales fueron divididas al azar de acuerdo con el protocolo de sincronización para la superovulación con FSH-p de la siguiente manera: T1 (n=6) con uso de dispositivo de progesterona y uso de benzoato de estradiol (DIV+BE) y T2 (n=4) convencional, sin uso de dispositivo con progesterona ni uso de benzoato de estradiol (Conv.) Las variables analizadas en este estudio fueron, la respuesta superovulatoria por medio de la presencia de folículos al momento del estro, conteo de cuerpos lúteos y la cantidad y viabilidad de los embriones obtenidos en cada lavado. La comparación de los protocolos de sincronización y posterior superovulación con FSH-p sobre el número de folículos, cuerpos lúteos y embriones colectados en vacas Holstein Friesian no mostró diferencia estadística en ninguna de las variables. Se concluye que, el protocolo de sincronización convencional demostró ser efectivo en la sincronización del ciclo y que puede servir como herramienta para obtener una respuesta superovulatoria aceptable sin la necesidad de utilizar estradiol ni progesterona exógena lo que puede contribuir como alternativa en el desarrollo futuro de la biotecnología de embriones producidos *in vivo*.

Palabras clave: Superovulación, Embriones, Protocolo, In vivo

I. Introducción.

Los protocolos de superovulación (SOV) favorecen el desarrollo de la producción de embriones *in vivo* en los programas de mejoramiento genético, además de mejorar la eficiencia reproductiva de los bovinos (Alkan *et al.*, 2020). Estos programas han logrado un aumento significativo en la producción de embriones transferibles en vacas lecheras, en vacas productoras de carne y de doble propósito (Baruselli, 2006; Callejas *et al.*, 2008). La SOV incluye el manejo de procesos endocrinos mediante tratamientos hormonales para controlar el ciclo estral hasta la ovulación de los folículos dominantes (Soria, 2017). La variabilidad en la respuesta superovulatoria en las vacas tratadas con gonadotropinas es uno de los principales problemas, ya que de un 20 a un 30% de las vacas con tratamientos superovulatorios no responden a estos (Lonergan *et al.*, 2011; Mogollón *et al.*, 2019). El controlar el ciclo estral de vacas donantes para reclutar una nueva oleada folicular al inicio del protocolo, y realizar manipulaciones hormonales exógenas conduce a una mejor hiperestimulación del ovario y a un aumento de la tasa de recuperación de embriones (Baruselli *et al.*, 2012). A pesar de esto, durante las últimas dos décadas, el número promedio de embriones totales recuperados en bovinos se ha mantenido en 6.5 (AETA, 2017).

Uno de los protocolos para la sincronización de la superovulación más utilizado actualmente contempla la sincronización de la emergencia de la onda folicular para posteriormente provocar la SOV, y consiste en la aplicación de dispositivos intravaginales con progesterona e inyección de estradiol vía parenteral (Soria *et al.*, 2017). Sin embargo, una de las mayores limitantes de la utilización de este método

es el uso del estradiol, ya que en muchos países esta hormona está prohibida, debido a los residuos de estas hormonas esteroidales en la cadena alimentaria (Lane *et al.*, 2008 Mapletoft *et al.*, 2018). nosotros hipotetizamos que el uso del método convencional que no requiere el uso de estradiol en la sincronización podría igualar o mejorar la tasa de producción embrionaria en vacas lecheras y en vacas productoras de carne. Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar la respuesta superovulatoria con dos diferentes protocolos de sincronización en vacas productoras de leche y en vacas productoras de carne.

II. Objetivo.

Evaluar la respuesta superovulatoria con dos diferentes protocolos de sincronización y posterior superovulación en vacas productoras de leche.

III. Revisión de literatura

3.1 Ciclo estral

3.1.1 Regulación endocrina del ciclo estral en el bovino

Los bovinos son especie considerada poliéstrica ya que sus ciclos estrales se dan cada 21 días (un promedio de 17 a 24 días). Este es regulado por las hormonas del eje de la reproducción (hipotálamo-hipófisis-gónadas) la hormona liberadora de gonadotropina (GnRH) liberada en el hipotálamo y la hormona folículo estimulante (FSH) y la hormona luteinizante (LH) liberadas ambas en la hipófisis anterior. Mientras que en las gónadas femeninas (ovarios) se produce la progesterona (P4), el estradiol (E2) e inhibinas y el útero produce prostaglandinas F2 α (PGF2 α). Así mismo estas hormonas interactúan por un sistema de retroalimentación positiva y negativa para guiar el ciclo estral en la vaca (Stevenson 2007). La GnRH se produce en las neuronas del área ventromedial y del área preoóptica del hipotálamo. La GnRH se secreta de dos maneras: una secreción pulsátil o tónica desde el centro tónico del hipotálamo y la secreción de GnRH que con anterioridad se decía que era directamente estimulada por el E2. Sin embargo, hoy en día se conoce que las neuronas encargadas de secretar la GnRH no cuentan con receptores para E2 por lo que una secreción directa sobre la secreción de GnRH es poco probable (Colazo 2017).

En la fase folicular del ciclo estral debido a que previamente a esta fase hubo una regresión del cuerpo lúteo (CL) las concentraciones de P4 son bajas y existe aumento de la secreción de E2 producido por el folículo dominante que va a ovular

induciendo un pico de GnRH (a través de la kisspeptina) y a si mismo este aumento de E2 permite la receptividad sexual de las hembras visualizándose el comportamiento estral de las hembras caracterizado por dejarse montar entre ellas (Stevenson 2007). Al existir el pico preovulatorio de GnRH hay una inducción de a un pico de LH y FSH (colazo 2017) y la ovulación ocurre en promedio a las 27 horas después del pico de LH o inicio del estro. Posterior a la ovulación llega lo que se conoce como fase lútea en el ciclo estral, que lo forma el metaestro durante los primeros 3 – 4 días y es caracterizado por el inicio de la formación del CL (cuerpo hemorrágico) posteriormente llega el diestro donde ya hay un CL maduro y las concentraciones de P4 en sangre empieza a aumentar debido a que las células luteinizadas de la granulosa y la teca producen grandes cantidades de esta hormona en preparación para una posible gestación o la reanudación de un nuevo ciclo (Niswender *et al.*, 2000). En la parte del diestro existe crecimiento folicular en el ovario, pero estos folículos no ovulan ya que la P4 a través de una retroalimentación negativa sobre la GnRH, solo permite la secreción de pulsos de LH de mayor amplitud pero menor frecuencia (1 pulso cada 3-4 horas) que no son adecuados para la ovulación del folículo dominante (Rahe *et al.*, 1980).

Después de algunos días de exposición (12 – 14) a altos niveles de P4, hay una regresión del CL ya que se da la secreción de PGF2 α por parte del útero que llega al ovario mediante un mecanismo de contra-corriente (Ginther., 1974) y de esta forma se da paso al proestro. Este proceso dura de 2 -3 días y es caracterizado por el incremento de la frecuencia de los pulsos de LH (1 cada hora) y esto implica la maduración final del folículo ovulatorio y que haya un incremento del E2 que el

mismo folículo produce y desencadena el comportamiento sexual (estro) en la vaca (Colazo 2017).

3.1.2 Dinámica folicular

La dinámica folicular se define como el proceso continuo de crecimiento y de regresión de folículos antrales y que conlleva al desarrollo del folículo destinado a ovular o preovulatorio. Dicho proceso se da en oleadas u ondas foliculares divididas en fases que se conocen como: reclutamiento en la que varios folículos responden al estímulo de la FSH, selección donde continúan su crecimiento, desviación que es cuando los folículos dominantes divergen de los subordinados y dominancia que es cuando alcanza un crecimiento adecuado y secreción de sustancias para inhibir el siguiente reclutamiento folicular y la consiguiente onda (Díaz, 1998).

3.2 Protocolos de superovulación para la producción de embriones in vivo

Los protocolos de superovulación en vacas consisten en producir un gran número de embriones transferibles que conlleve a altas tasas de concepción. Sin embargo, la respuesta a los tratamientos superovulatorios es una variable difícil de predecir. Esto se debe a que se trabaja con organismos biológicos que aun siendo de la misma especie llegan a tener respuestas fisiológicas diferentes y se afrontan a un medio que también influye en la respuesta individual de cada animal (Mapletoft *et al.*, 1994). Previos estudios han mostrado que la raza, la edad y la condición corporal pueden afectar los resultados de una superovulación (Betteridge, 2003).

Como todo proceso estos protocolos tienen algunas limitaciones como son: 1) la necesidad de detectar un celo para establecer un “estro base” para el desarrollo del protocolo. 2) insuficiencia para empezar el tratamiento superovulatorio en el tiempo optimo en el desarrollo de la onda folicular, 3) la necesidad de la detección de calor o estro para determinar el tiempo óptimo de la transferencia y 5) hasta el 30% de las donadoras no responden al tratamiento superovulatorio y en consecuencia no se producen embriones (Garzón *et al.*, 2007).

3.2.1 Combinación de progestágenos y estradiol

Los protocolos de sincronización se han utilizado de diversa forma o con diferentes tratamientos a base de progesterona o progestágenos, en distintas presentaciones, generalmente combinados con otras hormonas. Los protocolos de sincronización donde se usan dispositivos con progesterona (CIDR) pueden ser de duración de entre 7 a 10 días. La aplicación de hormonas tales como el estradiol, benzoato de estradiol y cipionato de estradiol, al iniciar el protocolo, pueden provocar la lisis de cuerpos lúteos en formación, además de que inducen la terminación de la oleada de crecimiento folicular que se encuentre en curso, logrando así la una nueva oleada de crecimiento folicular 3 o 4 días después (Cleeff, *et al.*, 1992).



Figura 1 Características de la hembra donadora (Tomada de Tribulo 2021).

3.3 Selección y manejo de vacas donadoras de embriones.

La selección de las vacas donadoras se rige por distintos criterios, para esto deben tomarse en cuenta varios factores, tales como genética (las donadoras deben poseer las mejores características fenotípicas de la raza), capacidad reproductiva, número de partos, días abiertos, condición corporal, estado de salud general. Se realiza un examen anatómico mediante palpación transrectal y/o ecografía, esto con el objetivo de descartar cualquier anomalía estructural.

3.4 Selección y manejo de vacas receptoras de embriones.

La receptora ideal es una vaca joven, libre de enfermedades, de probada fertilidad, con tamaño adecuado para no presentar problemas al parto. Según Britos-Cano, *et al.* (2020) la selección de receptoras es crucial para el éxito de la transferencia, es importante evaluar distintos aspectos, tales como: condición corporal, ≥ 3 , esto en una escala de 1 al 5, ausencia de preñez, cíclicas, ausencia de enfermedades clínicas aparentes. En caso de vacas receptoras, deben haber tenido 1 a 2 partos y estar dentro de un periodo postparto no menor a 90 días, con involución uterina completa y libre de enfermedades.

Es de particular importancia en la sincronización de las hembras receptoras, un excelente control en cuanto al grado de sincronización de los estros, además de asegurar una función correcta del cuerpo lúteo posterior al estro y la ovulación sincronizada, que es crucial para la supervivencia del embrión transferido (Hasler, 1992).

Una sincronización del estro a base de progestágenos con protocolos de larga duración, aumenta la eficacia en la sincronía y la proporción de animales en celo durante el periodo de sincronización, logrando con esto hasta un 90% de animales en estro en las primeras 48 h. postratamiento (Macmillan *et al.*, 1993).

3.5 Evaluación de la calidad embrionaria.

La competencia de desarrollo de un ovocito, se expresa por su capacidad de soportar los eventos del desarrollo temprano, tales como la extrusión correcta de los gránulos corticales una vez que se produce la fertilización, descondensación de la cabeza del espermatozoide y división y activación del genoma embrionario (Frei *et al.*, 1998).

Nomenclatura del desarrollo embrionario (Moreno, 2004).

Días de vida:

- 0 Huevo sin fertilizar después de la ovulación.
- 1 Fertilización hasta la primera división celular.
- 2 Embrión de dos células.
- 3 Embrión de cuatro células.
- 4 Embrión de ocho células.
- 5 Embrión de dieciséis células.
- 6 Mórula.
- 7 Blastocisto.
- 8 Blastocisto expandido.
- 9 Blastocisto eclosionado.

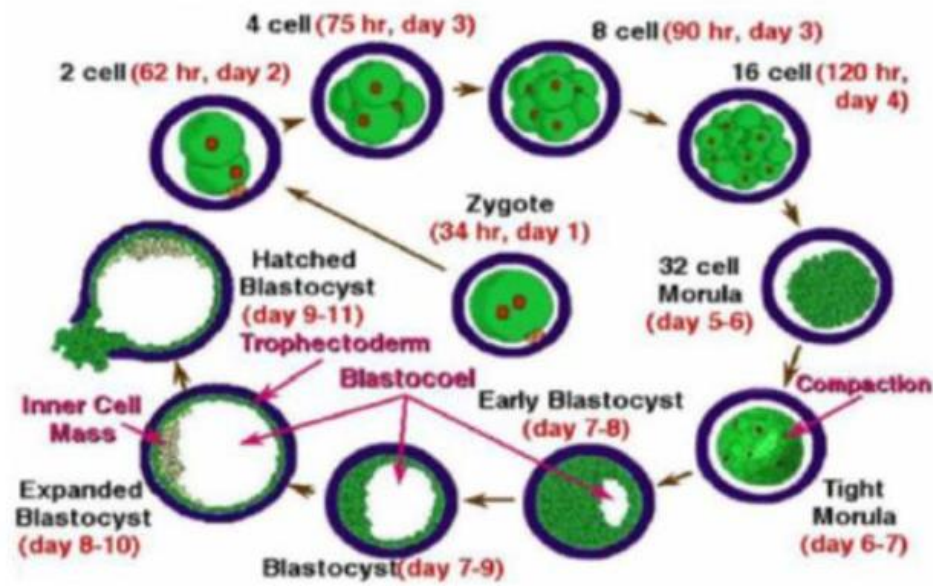


Figura 2 Desarrollo temprano del embrión bovino. (Tomado de Mellisho, 2006).

Grados o códigos de calidad de los embriones (Robertson, 2002).

El rango de la calidad de los embriones es de 1-4:

Grado 1: Excelente o bueno, embriones uniformes en color, tamaño y densidad.

Grado 2: Regular, irregularidades moderadas en los embriones respecto a su tamaño, color y densidad.

Grado 3: Pobre, mayores irregularidades en la masa del embrión, tamaño y color, así como densidad de las células individuales.

Grado 4: Degenerado, embriones de una sola célula, no son viables.

IV. Materiales y métodos

Localización del área de estudio

El experimento se llevó a cabo en la Comarca Lagunera (25° 44' N y 103° 10' O, temperatura máxima de 43 °C, y mínima de 2 °C, y con una precipitación de 240 mm anuales).

Animales experimentales:

Este estudio fue desarrollado con ganado de raza Holstein Friesian, el cual se encuentra en un sistema estabulado, son alimentadas de acuerdo con sus requerimientos y en concordancia del NRC 2001, el manejo general de las vacas es siguiendo el protocolo establecido por el establo y el manual de buenas prácticas de manejo (SAGARPA, 2010).

Se utilizaron 10 vacas de la raza Holstein Friesian de alto valor genético y alta producción, los animales estaban clínicamente sanos con condición corporal (CC) de 2.75 a 3.5 unidades (escala de 1 a 5, de acuerdo con Wildman *et al.*, 1982) el estado reproductivo fue similar para todas las vacas (vacías y con 80-90 DEL). Todos los animales estuvieron bajo supervisión veterinaria y la alimentación que llevaron fue de acuerdo con la recomendación del NRC (2001) y el agua limpia dispuesta a libre acceso.

Diseño del experimento

Las vacas fueron divididas al azar de acuerdo con el protocolo de sincronización para la superovulación al que fueron sometidas de la siguiente manera: T1 (n=6) con uso de dispositivo de progesterona y uso de benzoato de estradiol (DIV+BE) y T2 (n=4) convencional, sin uso de dispositivo con progesterona ni uso de benzoato de estradiol (Conv.)

Tratamientos:

T1= DIV+BE

A las vacas consideradas para este tratamiento (n=6), siete días después de presentar comportamiento estral se les colocó un dispositivo intravaginal (DIV) impregnado con 1.9 g de progesterona (P4®, Zoetis, México) seguida de la aplicación de 2 mg de benzoato de estradiol (BE; Sincrodiol®, Eurofino, México) por vía IM. Once días después del estro, se inició con la aplicación de la hormona folículo estimulante porcina (FSHP; Pluset®, Calier, España), 850 UI en cuatro dosis decrecientes aplicada por vía IM dos veces al día (06:00 y 18:00 h) durante 4 días (d11-d15). Al día 13 se aplicaron 0.5 mg de D-cloprostenol (Ciclofer®, Cifer, México) IM, al día 14 (siete días después de su inserción) se retiró el DIV, el día 15 del ciclo estral se aplicaron se aplicaron 0.5 mg de Gonadorelina (GnRH; Gonafer®, Cifer, México) por vía IM cada 12 h (06:00 y 18:00 h) y 24 h después las vacas fueron inseminadas por la mañana y por la tarde (06:00 y 18:00 h) (Figura A).

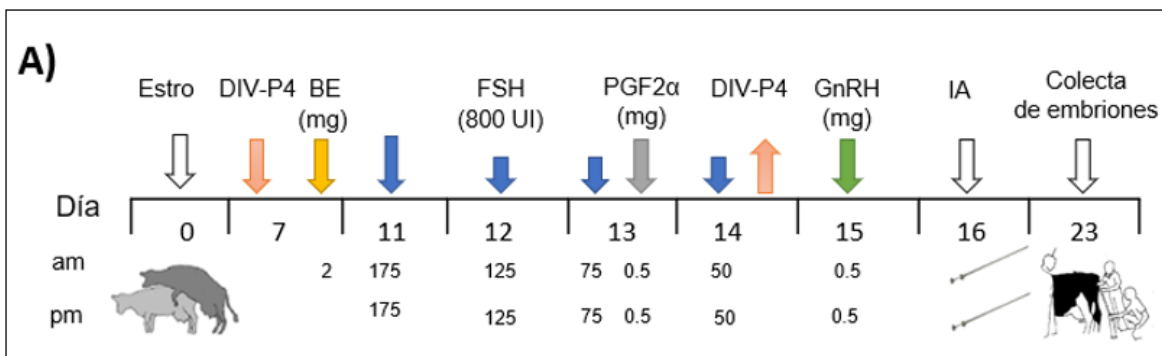


Figura 3 Descripción esquemática del tratamiento experimental T1= DIV+BE en vacas Holstein Friesian.

DIV-P4= Dispositivo intravaginal con progesterona; BE= benzoato de estradiol; FSH= Hormona folículo estimulante; PGF2α= Prostaglandinas F2α; GnRH= Hormona liberadora de gonadotropinas; IA= inseminación artificial.

T2= Conv

En las vacas utilizadas para este tratamiento (n=4), el día 11 después de que las vacas mostraran signos de celo (d0), se dio inicio el tratamiento de SOV con la hormona folículo estimulante porcina (FSHP; Pluset®, Calier, España), aplicando cuatro dosis decrecientes (175, 125, 75 y 50 UI) por vía IM, una dosis por día cada 12 h (06:00 h y 18:00 h) durante 4 días consecutivos (d11-d15). De manera simultánea el día 13 se aplicaron 0.5 mg de D-cloprostenol (Ciclofer®, Cifer, México) IM dos veces al día, el día 15 del ciclo estral se aplicaron se aplicaron 0.5 mg de Gonadorelina (GnRH; Gonafer®, Cifer, México) por vía IM. cada 12 h (6:00 am y 6:00 pm) y al día 16 se realizó la IA por la mañana y por la tarde. Siete días posteriores a la IA se recolectaron los embriones (Figura B).

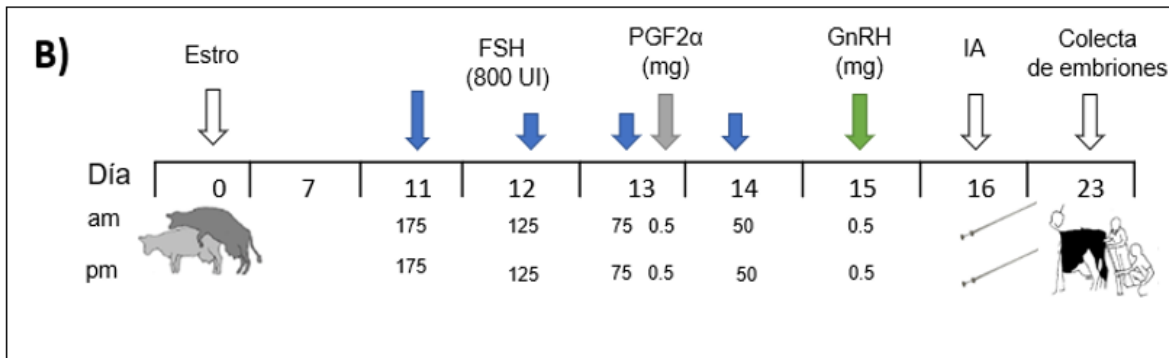


Figura 4 Descripción esquemática del tratamiento experimental T2= convencional en vacas Holstein Friesian.

DIV-P4= Dispositivo intravaginal con progesterona; BE= benzoato de estradiol; FSH= Hormona folículo estimulante; PGF2α= Prostaglandinas F2α; GnRH= Hormona liberadora de gonadotropinas; IA= inseminación artificial.

Variables analizadas.

Las variables analizadas en este estudio fueron, la respuesta superovulatoria por medio de la presencia de folículos al momento del estro, conteo de cuerpos lúteos y la cantidad y viabilidad de los embriones obtenidos en cada lavado.

Análisis estadístico.

Los datos se analizaron por medio del programa estadístico MYSTAT utilizando la prueba de Chi-cuadrada

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La comparación de los protocolos de sincronización y posterior superovulación sobre el número de folículos, cuerpos lúteos y embriones colectados en vacas Holstein Friesian se muestran en la tabla 1. No hubo diferencia estadística para ninguna de las variables evaluadas en las vacas Holstein ($P>0.05$), y aunque en las vacas con el tratamiento T2 se detectaron más cuerpos lúteos que en las vacas del T1, la diferencia sólo fue numérica.

Tabla 1 Medias $\pm$ desviación estándar de la respuesta superovulatoria de vacas Holstein Friesian tratadas con dos protocolos de sincronización para la superovulación: T1= DIV+BE y T2= Conv.

Tratamiento	Folículos	Cuerpos lúteos	Embriones
T1 DIV+BE	7.5 ± 2.4	6.3 ± 2.3	4.0 ± 5.0
T2 Conv	7.5 ± 3.7	8.8 ± 1.7	4.8 ± 1.5

No hay diferencias significativas ($P>0.05$)

En el presente estudio al utilizar el tratamiento de sincronización convencional antes de la aplicación del tratamiento superovulatorio con FSH a partir del día 11 después del celo (anticipación de la segunda ola folicular del ciclo estral) se logró una respuesta superovulatoria similar a la obtenida usando el protocolo combinado de progesterona-estradiol, no encontrando diferencia estadística. Cabe señalar que este último protocolo hormonal es el más utilizados en los países donde aún se permite el uso del estradiol con el objetivo de sincronizar la emergencia de la onda u oleada folicular para posteriormente superovular a las vacas de leche o de carne (Bó y Mapletoft, 2014)

Este protocolo de sincronización incluye la administración en conjunto de ésteres de estradiol por vía intramuscular y progesterona mediante la inserción de CIDR, el estradiol causa la supresión de la FSH y con ello provoca la atresia folicular para posteriormente ser metabolizado y con ello una nueva onda folicular emerge unos días después (Bó et al., 1995), lo que permite iniciar los protocolos superovulatorios con FSH al inicio de la emergencia.

En este experimento con el protocolo convencional (sin uso de estradiol) se pudo demostrar que permitió la correcta superovulación la cual fue medida por la cantidad de folículos al momento del celo y cantidad de cuerpos lúteos a los 7 días posteriores a este, y al momento del lavado, búsqueda, y obtención de embriones donde no se encontraron diferencias estadísticas en comparación al protocolo de sincronización que utiliza estradiol.

Lo anterior deja una alternativa clara para prescindir de la utilización de ésteres de estradiol, los cuales están prohibidos para su uso en programas de producción de embriones en Europa y países como Canadá y EUA por sus residuos que pueden alterar los productos de origen animal donde son utilizados (Hussein *et al.*, 2014).

Por esto los tratamientos y alternativas que no incluyan el uso de ésteres de estradiol pero que den resultados similares en la producción de embriones como lo es el tratamiento convencional de la presente investigación son de relevancia tanto en salud pública, así como económica

En lo que respecta al uso de progesterona en los protocolos de sincronización previos al tratamiento de superovulación, se conoce que la progesterona suprime la

secreción de LH provocando la atresia de los folículos y previene la ovulación, (Mapletoft et al., 2009) sin embargo, la progesterona en el DIV tiene la desventaja de ser hormona exógena y esto conlleva a aumentar los costos del protocolo, y cabe señalar que está demostrado que la progesterona producida por un cuerpo lúteo de buena calidad es suficiente para alcanzar los picos necesarios que se requieren para una correcta dinámica folicular y consecuente respuesta a las gonadotropinas exógenas en la superovulación

En cuanto al protocolo convencional que se utilizó previo a iniciar el tratamiento superovulatorio durante la mitad del ciclo estral (día 11) se requirió de apoyo técnico en la detección de estro y de acuerdo a Nasser *et al.* (1993) y Bo *et al.* (1995) si se utiliza además la ecografía se puede ser aún más preciso al iniciar el tratamiento superovulatorio justo el día de la emergencia de los folículos que es cuando la respuesta superovulatoria es más óptima y esto conllevaría a respuestas superovulatorias aceptables sin la necesidad de utilizar DIV con progesterona exógena y estradiol, como se pudo observar en la presente investigación.

En este contexto los resultados encontrados en este experimento coinciden con lo reportado por Son *et al.* (2007) quienes mostraron que si se inicia la superovulación controlando y observando el día del celo y justo al momento de la oleada folicular se logra una respuesta superovulatoria comparada a cuando se utiliza estradiol más progesterona exógena previa a la superovulación, por lo tanto, todos estos resultados en conjunto permiten justificar plenamente la necesidad de monitorear el estro sin la utilización de esteroides de estradiol y sin el uso de progesterona exógena sin disminuir la tasa de éxito en los programas de producción de embriones

En la tabla 2, se puede observar la viabilidad de los embriones de cada grupo de sincronización, donde no se encontró diferencia estadística

Tabla 2 Viabilidad de embriones de vacas Holstein Friesian tratadas con dos protocolos de sincronización para la superovulación: T1= DIV+BE y T2= Conv.

Variable	DIV+BE	Conv	EEM	Efecto del tratamiento (P)
Embr. viables	3.4	4.3	4.6	P=0.592

No hay diferencia significativa ($P > 0.05$)

En cuanto a la calidad y viabilidad de los embriones tampoco se vieron afectados por el protocolo de sincronización previo a la superovulación, lo cual difiere de observaciones de Nasser *et al.* (2011) quienes reportaron que la calidad del embrión se vio seriamente comprometida por la ausencia de progesterona exógena durante los tratamientos con FSH. Resultados de Wiley *et al.* (2019) en ganado de carne muestran también que la eliminación de progesterona exógena durante la superovulación puede disminuir el número total de embriones, pero aumenta el porcentaje de embriones grado 1.

El hecho que en este estudio no se encontró diferencia estadística entre ambos tratamientos de sincronización, sugiere que el protocolo convencional no afecta la calidad embrionaria, independientemente que existe literatura donde se menciona que con la combinación de progesterona más estradiol en los protocolos de superovulación no sólo impactan a nivel de la respuesta superovulatoria sino que también tienden a mejorar la calidad embrionaria (Bó y Mappletoft 2014) sin embargo, en el presente estudio la viabilidad de los embriones producidos de vacas

a las que se les aplicó el estradiol y la progesterona exógena no fue diferente comparada con las vacas a las que no se les aplicó.

El protocolo de sincronización convencional, basado en el control y la detección de estro previa a la superovulación resultó ser viable al igual que cuando se utiliza progesterona combinado con estradiol, lo que permite prescindir del uso de estas hormonas que pueden presentar un riesgo en los residuos y además encarecen los tratamientos superovulatorio. Los resultados demuestran que el programa de sincronización convencional sin DIV y ni estradiol hace viables los programas de superovulación de vacas productoras de leche.

.

VI. CONCLUSIÓN

El protocolo de sincronización convencional demostró ser efectivo en la sincronización del ciclo y que puede servir como herramienta para obtener una respuesta superovulatoria aceptable sin la necesidad de utilizar estradiol ni progesterona exógena lo que puede contribuir como alternativa en el desarrollo futuro de la biotecnología de embriones producidos *in vivo*.

VII. Literatura citada

Adams GP, Nasser LF, Bó GA, Garcia A, Del Campo MR, Mapletoft RJ. Superstimulatory response of ovarian follicles of Wave 1 versus Wave 2 in heifers. *Theriogenology* 1994;42:1103–13.

AETA, 2017. 2015. Report and amp; Export Chart. <http://www.aeta.org/docs/2015>

Alkan H, Karasahin T, Dursun S, Satilmis F, Erdem H and Guler M. 2020. Evaluation of the factors that affect the pregnancy rates during embryo transfer in beef heifers. *Reproduction in Domestic Animals* 55: 421–28.

Baruselli P, Sá Filho M, Martins C, Nasser L, Nogueira M and Barros C. 2006. Superovulation and embryo transfer in *Bos indicus* cattle. *Theriogenology* 65: 77–88.

Betteridge K J. 2003. A history of farm animal embryo transfer and some associated techniques. *Animal Reproduction Science* 79: 203e44.

Britos Cano, A., Javier Acosta, T., Román Álvarez, R. D., Giménez Ferreira, F. D., & Domínguez, R. A. (2020). Manual de transferencia de embriones. *PROCIENCIA-CONACYT*, 31.

Bó GA, Adams GP, Pierson RA, Mapletoft RJ. Exogenous control of follicular wave emergence in cattle. *Theriogenology* 1995;43: 31–40.)

Bó G.A., Mapletoft R.J. Historical perspectives and recent research on superovulation in cattle- *Theriogenology* 81 (2014) 38–48

Callejas, S.; Cabodevila, J.; Palma, G.; alberio, R. H.; Torquati, S.; Butler, H. et al. (2008). Evaluación de los Embriones Bovinos. En Memorias del curso de superovulacion y transferencia de embriones bovinos. Mar del Plata, Argentina: INTA Balcarce [Links]

Cleeff J, V., MC, L., Wilcox, C., & Thatcher, W. (1992). Plasma and milk progesterone and plasma LH in ovariectomized lactanting cows with new or used controlled internal drug release decives. *Anim Reprod Sci*, (27) 91-106.

Colazo, M. G., & Mapletoft, R. (2017). Fisiología del ciclo estral bovino. *Ciencia Veterinaria*, 16(2).criopreservados. *Agro ciencia*, 52, 21–32. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6745306>.

Frei, R., Schultz, G., & Church, R. (1998). Qualitative and quantitative changes in protein synthesis occur at the 8-16 cell stage of embryogenesis in the cow. *J. Reprod Fertil*, (86): 637-641.

Hasler , J. (1992). Current status and potential of embryo transfer and reproductive technology in dairy cattle. *J Dairy Sci*, 75: 2857-2879.

Lanea E.A., Austinb E.J., Crowe M.A. Oestrous synchronisation in cattle—Current options following the EU regulations restricting use of oestrogenic compounds in food-producing animals: A review. *Animal Reproduction Science* 109 (2008) 1–16

Macmillan, K., Taufa, V., & Day, A. (1993). Combination treatments for synchronising oestrus in dairy heifer. *Proc NZ Soc Anim Prod*, (53): 267-270.

Mogollón Waltero, Édgar M., & Burla Días, A. J. (2013). Superovulación de hembras bovinas: alternativas para reducir el número de inyecciones de FSH. *Spei Domus*, 9(18). <https://doi.org/10.16925/sp.v9i18.545>

Moreno, J. (2004). Transferencia de embriones en bovinos. *Texas, EUA*, 97 p.

Nabeneshi, H., Ohta, H., Nishimoto, T., Morita, T., Ashizawa, K., & Tsuzuki, Y. (2012). The effects of cysteine addition during in vitro maturation on the developmengtal competence, ROS, GSH and apoptosis level of bovine oocytes exposed to heat stress. *Zygote*, 20(3): 249-59.

Nasser L, Adams GP, Bó GA, Mapletoft RJ. Ovarian superstimulatory response relative to follicular wave emergence in heifers. *Theriogenology* 1993;40:713–24.

Nasser L F, Sá Filho M F, Reis E L, Rezende C R, Mapletoft R J, Bó G A and Baruselli P S. 2011. Exogenous progesterone enhances ova and embryo quality

following superstimulation of the first follicular wave in Nelore (*Bos indicus*) donors. *Theriogenology* 76: 320–27.

Robertson, E. (2002). *Non-Surgical Embryo Transfer*. 8th Edition. *Harrogate Genetics International, Inc. Tennesse, USA*, 33.

Son D S, Choe C Y, Choi S H, Rae-Cho S, Kim H J, Han M H, Ryu I S, Suh G H, Kim U H and Kim I H. 2007. Effect of estradiol benzoate or GnRH treatment prior to superstimulation in CIDR-treated, Korean native cows (*Bos taurus*). *Animal Reproduction Science* 100: 14–21

Soria Parra, M. E., Soria Parra, C. A., Méndez Álvarez, S., Argudo Garzón, D., Serpa García, G., Torres Inga, C., & Galarza Lucero, A. (2018). Valoración de dos protocolos de superovulación para la producción de embriones en vacas Holstein. *Revista de Producción Animal*, 30(2), 52-56.

Stevenson JS. 2007. Clinical reproductive physiology. In: Youngquist RS, Threlfall WR editors. *Large Animal Theriogenology* 2. St. Louis, Missouri: Saunders, 258-270

Tribulo, H. (2021). Capítulo 22. Transferencia de embriones y producción de embriones in vivo. *Reproducción de animales domésticos.*, 22.3.1.

Wiley C, Jahnke M, Redifer C, Gunn P J and Dohlman T. 2019. Effects of endogenous progesterone during ovarian follicle superstimulation on embryo quality and quantity in beef cows. *Theriogenology* 129: 54–60.