

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



ADICIÓN DE ÁCIDOS GRASOS OMEGA-3, OMEGA-6 Y OMEGA-9 COMO  
COADYUVANTE EN EL RECONOCIMIENTO MATERNO DE LA GESTACIÓN  
EN VACAS HOLSTEIN-FRIESIAN

Tesis

Que presenta CARLOS IVAN RAMÍREZ TORRES

como requisito parcial para obtener el Grado de  
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

Torreón, Coahuila

Junio 2024

ADICIÓN DE ÁCIDOS GRASOS OMEGA-3, OMEGA-6 Y OMEGA-9 COMO  
COADYUVANTE EN EL RECONOCIMIENTO MATERNO DE LA GESTACIÓN  
EN VACAS HOLSTEIN-FRIESIAN

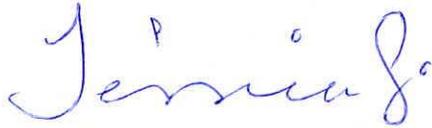
Tesis

Elaborada por CARLOS IVAN RAMÍREZ TORRES como requisito parcial para  
obtener el grado de Maestro en Ciencias en Producción Agropecuaria con la  
supervisión y aprobación del Comité de Asesoría

7. 13-11-1

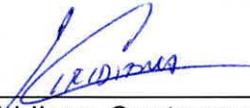
---

Dr. Fernando Arellano Rodríguez  
Director de Tesis



---

Dra. Jessica María Flores Salas  
Asesor



---

Dra. Viridiana Contreras Villarreal  
Asesor

---

Dr. Ramón Alfredo Delgado González†  
Asesor



---

Dra. Dalia Ivette Carrillo Moreno  
Jefa del Departamento de Postgrado



---

Dr. Antonio Flores Naveda  
Subdirector de Postgrado

## **Agradecimientos**

A Dios por permitirme alcanzar una meta más en mi preparación profesional.

Al CONAHCYT por el apoyo a través del programa de becas nacionales.

A mis padres por ser mi ejemplo de superación y hacer de mí una persona de bien.

A mi esposa Perla por todo su apoyo y paciencia en todo el proceso para concluir mi maestría.

A mis tíos Concepción y Juan por todo el respaldo brindado para hacer posible una etapa más en mi desarrollo profesional.

A mi comité de asesoría, Dra. Jessica Flores, Dr. Fernando Arellano, Dra. Viridiana Contreras y Dr. Ramón Delgado† por todos sus consejos en el trascurso de mis estudios de maestría.

A mis profesores Dr. Francisco Véliz, Dra. Ángeles De Santiago, MC. Edgardo Cervantes, Dr. Alan Alvarado, MC. Jaime Lozano, Dr. Fernando Arellano, Dra. Guadalupe Calderón, Dra. Viridiana Contreras y Dr. José Reyes por todos sus conocimientos compartidos.

A las Sras. Aurelia y Esther encargadas del área administrativa por su valiosa orientación en cada uno de los procesos de administrativos en el lapso de la maestría

Al MVZ. EPAB. Cesar Cansino por todo el apoyo y consejos brindados para la realización de este trabajo de investigación.

A la Dra. Lizbeth Robles, Sr. Giuseppe Di Napoli y al Sr. Armando Valdez por su invaluable apoyo para la realización de esta investigación.

A mis compañeros y amigos de la maestría Maurilio, Víctor, Cristian, Erika, Jesús, Lili, Antonio y Karen gracias por su amistad.

### **Dedicatorias**

A mi hija Mariana por ser el motivo de mi superación día con día.

A mi esposa Perla por su motivación y apoyo en cada momento para hacer esto posible.

A mis padres por enseñarme que con trabajo y constancia cualquier meta es posible.

A mi tío Martín† por todo el apoyo que en vida me brindo y por inculcarme el amor a esta noble profesión.

A mis tíos Concepción y Juan ya que me han apoyado en cada momento de esta etapa de mi formación profesional.

## ÍNDICE GENERAL

|   |    |
|---|----|
| RESUMEN.....  | ix |
| I.- INTRODUCCIÓN.....                                       | 1  |
| II.- REVISIÓN DE LITERATURA.....                            | 3  |
| 2.1 Establecimiento de la Gestación.....                    | 3  |
| 2.1.1 Reconocimiento materno de la gestación.....           | 3  |
| 2.1.2 Fase de preimplantación embrionaria.....              | 3  |
| 2.1.3 Fase de implantación embrionaria.....                 | 4  |
| 2.1.4 Fase de mantenimiento de la preñez.....               | 4  |
| 2.2 Hormonas Involucradas en la Gestación.....              | 5  |
| 2.2.1 Progesterona.....                                     | 5  |
| 2.2.2 Estrógenos .....                                      | 6  |
| 2.2.3 Prostaglandinas .....                                 | 6  |
| 2.3 Inmunología de la Gestación .....                       | 7  |
| 2.3.1 Interferón tau .....                                  | 7  |
| 2.3.2 Citoquinas de la familia IL-6.....                    | 8  |
| 2.3.3 Células inmunes.....                                  | 8  |
| 2.4 Factores Embrionarios que Influyen en la Gestación..... | 9  |
| 2.4.1 Calidad embrionaria .....                             | 9  |
| 2.4.2 Desarrollo embrionario.....                           | 9  |
| 2.5 Fisiología Uterina en la Gestación.....                 | 10 |
| 2.5.1 Receptividad endometrial.....                         | 10 |
| 2.5.2 Infecciones uterinas.....                             | 11 |
| 2.6 Otros Factores que Intervienen en la Gestación.....     | 12 |
| 2.6.1 Nutrición.....  | 12 |
| 2.6.2 Estrés.....   | 12 |
| 2.6.3 Raza .....  | 13 |
| 2.6.4 Manejo.....   | 13 |

|  |    |
|--|----|
| 2.7 Efectos de un Reconocimiento Materno de la Gestación Deficiente.....         | 14 |
| 2.7.1 Pérdida embrionaria y fetal temprana.....                                  | 14 |
| 2.7.2 Disminución de la producción.....  | 14 |
| 2.7.3 Pérdidas económicas.....   | 15 |
| 2.8 Función de los Ácidos Grasos Omega-3, Omega-6 y Omega-9 en la Gestación..... | 15 |
| 2.8.1 Omega-3.....   | 15 |
| 2.8.2 Omega-6.....   | 16 |
| 2.8.3 Omega-9.....   | 17 |
| III.- MATERIALES Y METODOS.....  | 18 |
| 3.1 Nota Ética.....  | 18 |
| 3.2 Localización del Estudio.....  | 18 |
| 3.3 Animales Experimentales.....   | 18 |
| 3.4 Manejo Reproductivo.....   | 19 |
| 3.5 Variables Reproductivas.....   | 19 |
| 3.5.1 Concentración sanguínea de progesterona.....                               | 19 |
| 3.5.2 Longitud del embrión y diámetro del cuerpo lúteo.....                      | 20 |
| 3.5.3 Días abiertos y servicios por concepción.....                              | 20 |
| 3.6 Análisis Estadístico.....  | 20 |
| IV.- RESULTADOS.....   | 21 |
| V.- DISCUSIÓN.....   | 23 |
| VI.- CONCLUSIÓN.....   | 26 |
| VII.- REFERENCIAS.....   | 27 |

## Lista de cuadros

|  |    |
|--|----|
| Cuadro 1. Resultados de las variables donde se aplicó la prueba Kruskal-Walis. |    |
| .....  | 21 |

## **Lista de figuras**

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. esquematización del manejo reproductivo.....  | 19 |
| Figura 2. Porcentaje de vacas preñadas y concentración sanguínea de progesterona por tratamiento..... | 22 |

## **RESUMEN**

Adición de ácidos grasos Omega-3, Omega-6 y Omega-9 como coadyuvante en el reconocimiento materno de la gestación en vacas Holstein-Friesian

Carlos Ivan Ramírez Torres

Para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Producción Agropecuaria

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Dr. Fernando Arellano Rodríguez

Director de tesis

El reconocimiento materno de la gestación es un proceso crucial para el éxito en la producción bovina. Se ha sugerido que la adición de ácidos grasos esenciales, como los omega-3, omega-6 y omega-9, en la dieta podría mejorar este proceso. Sin embargo, aún no se comprenden completamente los efectos de estos ácidos grasos en vacas lecheras. Por lo tanto, esta investigación exploró el impacto de estos ácidos grasos en el reconocimiento materno de la gestación en vacas Holstein-Friesian. El estudio se llevó a cabo en un hato comercial en Gómez Palacio, Durango. Al grupo experimental se le adiciono un suplemento comercial (GE, n= 156) mientras que el grupo testigo (GT, n= 145) no se le adiciono. Se utilizó un protocolo de inseminación artificial para sincronizar las inseminaciones. Las variables evaluadas, incluyeron la concentración sanguínea de progesterona, días abiertos, servicios por concepción, tasa de preñez, longitud de embrión y diámetro de cuerpo lúteo. Los resultados mostraron una diferencia significativa en la concentración de progesterona a los 14 días después de la inseminación, favoreciendo al grupo de control. Aunque la tasa de preñez fue numéricamente mayor en el grupo experimental, no hubo una diferencia estadística significativa entre los grupos. Además, no se encontraron diferencias significativas en días abiertos, servicios por concepción, longitud del embrión y diámetro del cuerpo lúteo entre los grupos. Estos hallazgos sugieren que la suplementación con ácidos grasos puede afectar la concentración de progesterona, pero otros

factores podrían influir en la reproducción y la función del cuerpo lúteo en vacas lecheras.

**Palabras clave:** *Embrión, Reconocimiento, Progesterona, Preñez, Nutrición.*

### **ABSTRACT**

Addition of Omega-3, Omega-6, and Omega-9 fatty acids as an adjuvant in maternal recognition of gestation in Holstein-Friesian cows

Carlos Ivan Ramírez Torres

To obtain the degree of Master of Science in Agricultural Production

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Dr. Fernando Arellano Rodríguez

Thesis director

Maternal recognition of gestation is a crucial process for success in bovine production. It has been suggested that the addition of essential fatty acids, such as omega-3, omega-6, and omega-9, to the diet could improve this process. However, the effects of these fatty acids on dairy cows are still not fully understood. Therefore, this research explored the impact of these fatty acids on maternal recognition of gestation in Holstein Friesian cows. The study was conducted in a commercial herd in Gómez Palacio, Durango. The experimental group received a commercial supplement (GE, n= 156), while the control group (GT, n= 145) did not receive any supplementation. A protocol of artificial insemination was used to synchronize inseminations. The evaluated variables included blood progesterone concentration, open days, services per conception, pregnancy rate, embryo length, and corpus luteum diameter. The results showed a significant difference in progesterone concentration at 14 days after insemination, favoring the control group. Although the pregnancy rate was numerically higher in the experimental group, there was no statistically significant difference between the groups. Additionally, no significant differences were found in open days, services per conception, embryo length, and corpus luteum diameter between the groups. These findings suggest that supplementation with fatty acids may affect progesterone concentration, but other factors may influence

reproduction and corpus luteum function in dairy cows. **Keywords:** *Embryo, Recognition, Progesterone, Pregnancy, Nutrition.*

## I.- INTRODUCCIÓN

La producción lechera desempeña un papel importante en la economía pecuaria del país, siendo una de las actividades ganaderas más importantes en términos de suministro de alimentos y generación de ingresos (Vera *et al.*, 2017). En regiones como la Comarca Lagunera, ubicada en el noreste de México, la producción lechera es especialmente significativa, contribuyendo de manera importante al abastecimiento nacional (García-Muñiz *et al.*, 2015). Sin embargo, a pesar de su importancia, esta industria enfrenta una serie de desafíos que ponen en riesgo su viabilidad y sostenibilidad a largo plazo (Martínez-Alba *et al.*, 2021).

Uno de los desafíos más prominentes que enfrenta la producción lechera en la Comarca Lagunera y otras regiones similares es la reducción de la fertilidad en el ganado lechero. Este problema se ve exacerbado por las condiciones climáticas adversas que caracterizan estas áreas, como altas temperaturas, baja humedad y radiación solar intensa (Rodríguez-Venegas *et al.*, 2022). El estrés térmico resultante puede tener efectos negativos significativos en la salud y el rendimiento reproductivo del ganado, lo que se traduce en una disminución en la tasa de concepción, una mayor incidencia de abortos y un aumento en los intervalos entre partos (Gernand *et al.*, 2019).

Además del estrés térmico, otros factores como la genética del ganado, las prácticas de manejo, alimentación, y la disponibilidad de tecnologías reproductivas también influyen en la fertilidad y la productividad del hato lechero (Bragança y Zangirolamo, 2018). La selección genética orientada hacia una mayor producción de leche ha llevado a la crianza de animales de alto rendimiento que pueden ser más susceptibles a trastornos reproductivos debido a un balance energético negativo durante la lactancia (Opsomer, 2015). Por otro lado, las prácticas de manejo inadecuadas, como la falta de control del celo, la mala alimentación y el manejo inapropiado durante el periodo posparto, pueden agravar aún más los problemas de fertilidad en el ganado lechero (Negrón-Pérez *et al.*, 2019).

En este contexto, este estudio se propuso investigar el efecto de la adición a la ración totalmente mezclada de ácidos grasos omega-3, omega-6 y omega-9, en la reproducción de vacas lecheras en un hato comercial en la región lagunera del estado de Durango, México. Se evaluaron variables reproductivas como la concentración de progesterona, la tasa de preñez, los días abiertos y los servicios por concepción, así como parámetros relacionados con la gestación, como la longitud del embrión y el diámetro del cuerpo lúteo.

## II.- REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Establecimiento de la Gestación

#### 2.1.1 Reconocimiento materno de la gestación

El establecimiento de la gestación en el ganado vacuno se logra mediante la comunicación entre el embrión y las estructuras asociadas que interactúan con el sistema reproductivo materno. Esta interacción es de vital importancia para asegurar la preservación de la estructura y función del cuerpo lúteo, lo cual previene su declive al término del ciclo reproductivo (Bazer, 1992).

El cuerpo lúteo, a su vez, sintetiza progesterona, una hormona esencial en el proceso gestacional que resulta fundamental para estimular y mantener las funciones del endometrio, las cuales promueven el desarrollo inicial del embrión, su implantación, la formación de la placenta y el adecuado crecimiento fetal (Loneragan *et al.*, 2016b). No obstante, a pesar de que las tasas de fertilización en el ganado bovino pueden alcanzar entre el 85 % y el 90 %, hasta el 40 % y el 50 % de los embriones no resultan en preñez (D'Occhio *et al.*, 2020).

#### 2.1.2 Fase de preimplantación embrionaria

Durante la etapa de preimplantación del embrión bovino, este atraviesa el oviducto hasta alcanzar el útero, donde se mantiene levemente adherido antes de su implantación (Sponchiado *et al.*, 2019). En este período, el entorno materno juega un papel esencial en la promoción de un desarrollo óptimo del embrión, siendo esto crucial para el éxito de la gestación y el posterior desarrollo del producto (Silva *et al.*, 2021).

Cualquier alteración en la fisiología materna durante esta fase podría comprometer la viabilidad del embrión, dado que tanto el oviducto como el endometrio liberan moléculas reguladoras, como las embriocinas, las cuales actúan como factores de crecimiento capaces de influir en el desarrollo embrionario en diversas especies (Tríbulo *et al.*, 2018).

### 2.1.3 Fase de implantación embrionaria

Una vez que el blastocisto ha eclosionado, forma un conceptus de forma ovoide entre los días 12 y 14, iniciando el proceso de elongación. Esto implica una rápida proliferación de las células trofoblásticas del conceptus, alcanzando una longitud de tres a cuatro milímetros o más para el día 14 (Randi *et al.*, 2016). Los bovinos se destacan por ser una especie en la que la implantación del embrión ocurre en una fase tardía. Durante este proceso, el trofoblasto experimenta una elongación notable antes de la implantación, lo que asegura un contacto óptimo con el endometrio, especialmente con las carúnculas que constituyen la placenta difusa en esta especie animal (Campanile *et al.*, 2021).

Esta implantación es no invasiva y se caracteriza por una adhesión superficial del trofoblasto a áreas carunculares e intercarunculares, iniciándose alrededor del día 19 durante la implantación. En este contexto, las células trofoblásticas bovinas forman células binucleadas y células trinucleadas (Calle *et al.*, 2021). Las células trinucleadas se generan a partir de la fusión entre células binucleadas y células epiteliales uterinas, y se encuentran exclusivamente en el endometrio. Estas células desempeñan un papel crucial en la implantación, contribuyendo a la adhesión entre el conceptus y el endometrio uterino en los placentomas (Fair, 2016).

### 2.1.4 Fase de mantenimiento de la preñez

Durante la fase de mantenimiento de la gestación en rumiantes, el interferón tau desempeña un papel crucial al prolongar la vida útil del cuerpo lúteo, siendo una molécula fundamental en este proceso (Wiltbank *et al.*, 2018). Esta molécula es generada por las células mononucleares del trofotodermo durante el primer mes de gestación y ejerce su función al inhibir la expresión de receptores de oxitocina en las células epiteliales uterinas.

Este mecanismo impide la liberación de prostaglandina  $PGF_{2\alpha}$ , lo que a su vez previene la luteólisis, permitiendo así que el cuerpo lúteo continúe produciendo progesterona, elemento esencial para sostener la gestación (Wiltbank *et al.*,

2023). A pesar de que el interferón tau comparte algunas características con otros interferones tipo uno, su singularidad radica en ser la señal antiluteolítica exclusiva en rumiantes, lo que preserva la función del cuerpo lúteo y asegura una producción adecuada de progesterona (Bazer y Thatcher, 2017).

## **2.2 Hormonas Involucradas en la Gestación**

### **2.2.1 Progesterona**

La progesterona es una hormona de importancia crítica en el desarrollo embrionario bovino, ejerciendo influencia en el transporte del embrión hacia el útero, regulando la composición tanto del oviducto como del útero, y modulando la receptividad uterina para la implantación (Spencer *et al.*, 2016). Aunque aún no se comprende completamente su efecto directo en el embrión temprano, la progesterona desempeña un papel crucial en la preparación del útero para el desarrollo del conceptus (Carter *et al.*, 2010).

En el útero, cumple diversas funciones clave durante las primeras etapas de la gestación, incluyendo la regulación de la expresión del receptor de progesterona (PGR) en el endometrio, lo cual resulta fundamental para la receptividad uterina hacia el embrión (Akison y Robker, 2012). Adicionalmente, la progesterona modula la función inmunológica del útero, creando un entorno propicio para el desarrollo embrionario (Ott, 2020). Asimismo, induce la expresión de genes en el endometrio que controlan la composición del fluido uterino luminal, lo cual impacta directamente en la supervivencia y desarrollo del embrión (Simintiras, *et al.*, 2019a).

La elongación del embrión, que involucra su crecimiento, se revela como un factor crucial para el establecimiento exitoso del embarazo y una implantación adecuada; la progesterona desempeña un papel fundamental en este proceso al promover el crecimiento del embrión y facilitar su desarrollo a través del endometrio, lo que puede servir como un indicador de su calidad y aumentar la probabilidad de una preñez exitosa (Lonergan y Sánchez, 2020).

### 2.2.2 Estrógenos

Los estrógenos desempeñan un rol esencial en el desarrollo embrionario y en la regulación del entorno del oviducto bovino durante el ciclo estral (Lamy *et al.*, 2015). En el oviducto, estas hormonas ováricas, juntamente con la progesterona, influyen en la expresión génica en las células epiteliales, creando un ambiente favorable para la fertilización y el desarrollo inicial del embrión (Lopera-Vásquez *et al.*, 2022).

No obstante, se presenta una complejidad adicional en la relación entre los estrógenos y el desarrollo embrionario. A diferencia de otros mamíferos donde se ha observado la producción de estrógenos por embriones tempranos, los blastocistos bovinos podrían no tener la capacidad de producir estrógenos por sí mismos. Esto plantea preguntas sobre la dependencia de los blastocistos bovinos de los estrógenos durante esta etapa crítica del desarrollo, lo que sugiere una posible interacción bidireccional entre el ambiente hormonal del oviducto y la capacidad del embrión para producir y responder a los estrógenos (Fürbass *et al.*, 2023).

### 2.2.3 Prostaglandinas

Las prostaglandinas son productos del metabolismo del ácido araquidónico, sintetizadas mediante las acciones secuenciales de la enzima sintasa de endoperóxido de PG 2 (PTGS2) y sintetasas terminales específicas, tales como la sintetasa de PGE (PTGES1–S3) y la sintetasa de PGF (PTGFS) (Rodrigues *et al.*, 2020). Estas prostaglandinas desempeñan una variedad de roles esenciales en el desarrollo embrionario y el mantenimiento de la gestación (Moraes *et al.*, 2020).

En el proceso de desarrollo embrionario temprano, regulan aspectos como la contracción uterina, el flujo sanguíneo uterino y la diferenciación celular. Además, la producción de prostaglandinas por parte del embrión en desarrollo resulta crucial para comunicar al útero materno su reconocimiento y aceptación, facilitando de este modo la implantación embrionaria y el desarrollo placentario

(Niringiyumukiza *et al.*, 2018). Asimismo, las prostaglandinas son indispensables para la preservación del cuerpo lúteo y la producción de progesterona, lo que garantiza la supervivencia del embrión durante las primeras etapas de la preñez (Berisha *et al.*, 2024).

Estos efectos se llevan a cabo mediante la interacción de las prostaglandinas con receptores específicos presentes en el útero y el embrión, lo que desencadena diversas vías de señalización intracelular que impactan la expresión génica y la función celular, contribuyendo así al desarrollo y mantenimiento exitoso de la gestación (Talukder *et al.*, 2020).

## **2.3 Inmunología de la Gestación**

### **2.3.1 Interferón tau**

El interferón-tau constituye una citoquina esencial producida por el embrión en desarrollo, y su función fundamental radica en facilitar la implantación exitosa en el ganado vacuno, a través de su capacidad para modular la respuesta inmunitaria (Kowalczyk *et al.*, 2021).

La influencia del interferón-tau se manifiesta mediante la modulación de la expresión génica de los neutrófilos, dependiendo de su concentración, en concentraciones bajas, promueve la quimioatracción, la adhesión y la inflamación, mientras que en concentraciones altas regula a la baja las respuestas inflamatorias y la infiltración de neutrófilos (Manjari *et al.*, 2018).

Además, el interferón-tau regula la expresión de diversos genes como ISG15, OAS1, genes MX, IFI16, IFI44, moléculas CD y PIBF, todos los cuales desempeñan un papel crucial en las funciones de los neutrófilos durante la implantación. La influencia del interferón-tau en la expresión de estos genes resulta crucial para alcanzar una reproducción exitosa en los bovinos (Chaney *et al.*, 2021).

### 2.3.2 Citoquinas de la familia IL-6

Las citoquinas pertenecientes a la familia de la interleucina (IL)-6, que comprenden IL-6, IL-11, factor neurotrófico ciliar (CNTF), factor inhibidor de la leucemia (LIF), oncostatina M (OSM), cardiotrofina uno (CT-1), citocina similar a la cardiotrofina (CLC) e IL-27, desempeñan roles cruciales en una variedad de procesos fisiológicos (Rose-John, 2018). En el contexto de la reproducción, tanto IL-6 como LIF desempeñan funciones fundamentales en la diferenciación celular y la implantación embrionaria, influyendo así en el desarrollo y éxito de la gestación (Seshagiri *et al.*, 2016).

Además de su función proinflamatoria bien conocida, IL-6 se ha identificado como una embriocina producida tanto por el embrión como por el endometrio, lo que contribuye al desarrollo embrionario en los bovinos al aumentar la cantidad de células de masa celular interna (ICM) en los blastocistos (Seekford *et al.*, 2021).

### 2.3.3 Células inmunes

Las células del sistema inmunitario desempeñan un papel crucial en el proceso de reconocimiento y establecimiento de la gestación en bovinos (Rocha *et al.*, 2021). Durante la diferenciación de los folículos ováricos y la formación del cuerpo lúteo, diversas poblaciones celulares del sistema inmunitario, como los mastocitos, eosinófilos, neutrófilos y monocitos, se infiltran en los tejidos ováricos, contribuyendo así a la producción y regulación de factores inflamatorios y quimioatrayentes, los cuales son esenciales para la adecuada vascularización y función del cuerpo lúteo (Abdulrahman y Fair, 2019). Además, estas células inmunológicas también tienen un papel importante en la promoción de la tolerancia materna hacia el embrión en desarrollo (Chaney *et al.*, 2022).

Los macrófagos y las células dendríticas son reclutados en el útero en respuesta a señales emitidas por el embrión, como el interferón-tau, lo que regula la respuesta inflamatoria y la expresión de genes asociados con la implantación y el desarrollo embrionario. Esto crea un ambiente uterino propicio para la nidación y la interacción adecuada entre el embrión y el endometrio (Fiorenza *et al.*, 2021).

## 2.4 Factores Embrionarios que Influyen en la Gestación

### 2.4.1 Calidad embrionaria

El éxito de la reproducción en el ganado bovino depende en gran medida de la calidad del embrión, ya que los embriones de alta calidad tienen mayores posibilidades de implantarse en el útero, desarrollarse adecuadamente y llegar a término, lo que resulta en una cría sana (Nuttinck, 2018). Diversos factores, como la genética, el ambiente, el manejo y las técnicas de reproducción asistida, influyen en la calidad embrionaria (Kropp y Khatib, 2015).

Características como la morfología, el desarrollo embrionario y las vesículas extracelulares (EVs) producidas por el blastocisto, junto con sus miARNs, son indicadores importantes de la calidad embrionaria (Banliat *et al.*, 2020; Pavani *et al.*, 2022). Se ha encontrado que la cantidad, el tamaño y el contenido de las EVs están correlacionados con la viabilidad y el potencial de desarrollo del embrión, y pueden ser utilizados como biomarcadores no invasivos para la selección de embriones de alta calidad (Chen *et al.*, 2022).

Además, la expresión génica en el embrión también es un predictor crucial de su capacidad para implantarse y desarrollarse exitosamente, y la técnica de secuenciación de ARN unicelular ha revelado patrones de expresión génica distintivos en embriones que se traducen en tasas de implantación exitosas (Zolini *et al.*, 2020).

### 2.4.2 Desarrollo embrionario

El adecuado desarrollo embrionario juega un papel fundamental en el éxito de la gestación en bovinos (Ribeiro *et al.*, 2016). El conceptus, compuesto por el embrión y sus membranas fetales, incluyendo el trofoblasto encargado de la formación de la placenta, desempeña un papel central en este proceso (Davenport *et al.*, 2023).

Durante las primeras etapas de la gestación, el conceptus bovino experimenta una elongación gradual, acompañada de cambios morfológicos y moleculares que son cruciales para su correcta implantación en el útero materno (Spencer,

2013). Dos factores clave que afectan la capacidad del embrión para ser reconocido por la madre son la expresión génica y el tamaño del conceptus (Sánchez, *et al.*, 2019a). La expresión génica varía según la etapa de desarrollo del embrión y su capacidad para producir moléculas específicas, como el interferón-tau, que son esenciales para indicar su presencia en el útero (Simintiras *et al.*, 2021). Un tamaño adecuado del conceptus refleja un desarrollo avanzado y la capacidad para emitir las señales necesarias para el reconocimiento de la gestación por parte del sistema reproductivo materno (Peixoto *et al.*, 2023).

## **2.5 Fisiología Uterina en la Gestación**

### **2.5.1 Receptividad endometrial**

La receptividad endometrial representa un estado fisiológico crítico para la implantación exitosa del embrión y el desarrollo de la gestación, lo que implica una comunicación molecular estrecha entre el conceptus y el endometrio (Sánchez, *et al.*, 2019b). Entre estas señales moleculares, se destaca la importancia del interferón-tau, el cual es secretado por el conceptus en desarrollo (Hansen *et al.*, 2017). Además, el fluido uterino luminal, principalmente compuesto por histótrofes, juega un papel crucial en la regulación de la receptividad endometrial (Martins *et al.*, 2018).

Este fluido, generado por el endometrio, contiene diversos elementos, como enzimas, proteínas, aminoácidos, factores de crecimiento y vesículas extracelulares, entre otros (Simintiras *et al.*, 2022). El interferón-tau, al unirse a receptores específicos en el endometrio, inicia una compleja cascada de eventos moleculares (Mathew *et al.*, 2019). Esta respuesta endometrial al interferón-tau resulta en la activación de genes estimulados por interferón (ISGs), los cuales desempeñan funciones cruciales en la creación de un entorno propicio para la implantación (Basavaraja *et al.*, 2021).

Entre los ISGs, se destacan el ISG15, que regula la apoptosis e inmunomodulación; MX1 y MX2, que inhiben la replicación viral y protegen al embrión de infecciones; y OAS1, que induce la respuesta antiviral y protege al útero de patógenos (Tinning *et al.*, 2023). La receptividad endometrial alcanza su punto máximo durante la ventana preimplantacional, un período específico del ciclo estral caracterizado por la máxima disposición del endometrio para la implantación del embrión (Binelli *et al.*, 2022). Durante esta fase crítica, la expresión de los ISGs en el endometrio se encuentra en su punto más alto, preparando así el terreno para la aceptación y anidación del embrión en desarrollo (Kikuchi *et al.*, 2019).

El establecimiento de una gestación exitosa depende en gran medida de la precisa sincronización entre el estado receptivo del endometrio y la competencia del conceptus (Yu *et al.*, 2024). Si el endometrio no está receptivo en el momento adecuado o si el conceptus carece de la capacidad para comunicarse efectivamente con el endometrio, la gestación puede no tener éxito (Talukder *et al.*, 2023).

### 2.5.2 Infecciones uterinas

Las infecciones uterinas presentan un desafío considerable para la gestación en el ganado bovino, dado que pueden tener efectos prolongados en el endometrio, el cual desempeña un papel crucial durante el período gestacional (Ribeiro y Carvalho, 2017). Estas infecciones inducen cambios en la expresión de genes y vías genéticas asociadas con la respuesta inmunitaria, los interferones y la inflamación en el endometrio bovino, lo que compromete la capacidad de la vaca para lograr una gestación exitosa (Diaz-Lundahl *et al.*, 2021).

Estas modificaciones pueden influir en la tolerancia inmunológica de la madre hacia el embrión y su posterior implantación (Wagener *et al.*, 2021). Además, las infecciones uterinas tienen el potencial de alterar la expresión de genes relacionados con la regulación del óxido nítrico, así como las vías de señalización del receptor tipo Toll (TLR) y del factor nuclear kappa B (NFKBIA), los cuales

desempeñan un papel crucial en la respuesta inmunitaria y la inflamación (Dickson *et al.*, 2022).

## **2.6 Otros Factores que Interviene en la Gestación**

### **2.6.1 Nutrición**

La nutrición es clave para el éxito de la preñez, especialmente durante la fase temprana del desarrollo embrionario y la implantación (Diniz *et al.*, 2023). Durante los primeros 30 a 45 días de gestación, cualquier deficiencia nutricional puede tener consecuencias críticas, provocando muerte embrionaria o malformaciones (Serrano-Pérez *et al.*, 2020). Los macronutrientes, como proteínas, carbohidratos y grasas, son esenciales, al igual que los micronutrientes como el cobre, zinc y vitamina A (Anas *et al.*, 2023).

Una nutrición deficiente afecta la producción de progesterona la cual es necesaria para mantener la preñez, modificando la receptividad del endometrio dificultando la implantación del embrión (Simintiras, *et al.*, 2019b). Otras moléculas afectadas por una mala nutrición son los factores de crecimiento como el factor de crecimiento insulínico tipo 1 (IGF-1), factor de crecimiento epidérmico (EGF), factor de crecimiento transformante beta (TGF- $\beta$ ), factor de crecimiento derivado de plaquetas (PDGF), factores necesarios para el desarrollo, comunicación e implantación embrionaria (Toschi y Baratta, 2021).

### **2.6.2 Estrés**

Los factores causantes de estrés ejercen un efecto significativo en el desarrollo embrionario y la capacidad para establecer con éxito la preñez en el ganado bovino (Lucy, 2019). El estrés, ya sea provocado por condiciones de calor o factores ambientales adversos, deficiencias nutricionales, y condiciones fisiológicas, puede incidir negativamente en la salud uterina, la calidad ovocitaria, la función ovárica y el desarrollo embrionario (Szelényi *et al.*, 2023).

Un factor estresante común es el estrés térmico por calor, el cual disminuye la expresión de genes cruciales en los embriones, comprometiendo su capacidad de modificación epigenética y su habilidad para desarrollar una placenta funcional

(Khan *et al.*, 2023). Además, la prolongada exposición al calor provoca cambios en la expresión de proteínas de choque térmico y la resistencia al estrés en los embriones, lo que compromete su viabilidad y desarrollo (Dovolou *et al.*, 2023). El estrés también activa el eje hipotálamo-hipófisis-adrenal (HPA) desencadenando respuestas fisiológicas y hormonales que impactan negativamente en la salud reproductiva, tales como desequilibrios hormonales y disfunción inmunológica, aumentando el riesgo de enfermedades uterinas e infertilidad (Szenci *et al.*, 2011).

### 2.6.3 Raza

La raza es un factor crucial que incide en la capacidad reproductiva de diversas especies, entre ellas, las vacas lecheras (Bedere *et al.*, 2017). Se ha comprobado que las razas de vacas lecheras puras exhiben una fertilidad inferior en comparación con las vacas mestizas de dos o tres razas diferentes (Hazel *et al.*, 2020). La heterocigosis, que implica la diversidad genética presente en las vacas mestizas es un recurso útil para mejorar la fertilidad en las razas lecheras (Jayawardana *et al.*, 2023).

### 2.6.4 Manejo

El manejo adecuado de las vacas lecheras es esencial para garantizar una reproducción exitosa y el desarrollo óptimo de los embriones (Barbato *et al.*, 2022). Más allá de la simple implementación de prácticas, comprender los mecanismos fisiológicos y moleculares fundamentales del desarrollo embrionario es crucial para optimizar la fertilidad (Giordano *et al.*, 2022).

La detección precisa del celo es vital para la fecundación mediante la inseminación artificial en el momento óptimo del ciclo estral (Fleming *et al.*, 2019). La nutrición equilibrada, la prevención de enfermedades y el manejo adecuado durante el parto y posparto también son críticos para una reproducción eficiente (Cardoso *et al.*, 2020).

## **2.7 Efectos de un Reconocimiento Materno de la Gestación Deficiente**

### **2.7.1 Pérdida embrionaria y fetal temprana**

La pérdida embrionaria y fetal temprana representa un desafío significativo en la producción lechera, con repercusiones económicas y de eficiencia reproductiva (Franco *et al.*, 2020). Se estima que entre el 25 % y el 40 % de las gestaciones se pierden dentro del periodo de desarrollo embrionario, de siete a 42 días después de la inseminación, mientras que las pérdidas durante el período fetal oscilan entre el dos % y el 12 % desde el día 43 hasta antes de los 60 días de gestación en la etapa temprana de desarrollo fetal (Wiltbank *et al.*, 2016). Este fenómeno se relaciona directamente con un deficiente reconocimiento materno de la gestación (Mathew *et al.*, 2022).

Traduciéndose en una prolongación en el retorno al celo, intervalos entre partos y un mayor riesgo de desecho prematuro de vacas productivas (Cabrera, 2014). La detección temprana y precisa de la gestación es crucial para implementar medidas de manejo adecuadas y prevenir la pérdida embrionaria y fetal temprana (Ealy y Seekford, 2019). Aspectos como enfermedades infecciosas, agentes tóxicos, estrés por calor y factores genéticos pueden contribuir a estas pérdidas (Fernandez-Novo *et al.*, 2020).

Sigdel *et al.* (2022) identificaron genes candidatos asociados con abortos tempranos en el ganado lechero, lo que sugiere que la pérdida fetal también está influenciada por factores genéticos. Además de la identificación de genes asociados con la pérdida de la preñez, el uso de marcadores genéticos mejora la selección de animales con mejores resultados productivos y reproductivos mediante el uso de tecnologías de reproducción asistida (Sigdel *et al.*, 2021).

### **2.7.2 Disminución de la producción**

La pérdida de preñez en vacas ya sea por abortos o reabsorciones fetales, tiene un impacto negativo en la producción de leche (Keshavarzi *et al.*, 2020). Hossein-Zadeh y Ardalan (2011) demostraron que las vacas que sufren abortos tienden a

producir menos leche en comparación con aquellas que tienen partos normales, tanto en cantidad como en calidad.

Este efecto adverso se debe al estrés fisiológico experimentado por la vaca durante el proceso de aborto, así como a las posibles complicaciones de salud posteriores, como infecciones uterinas (Kumari *et al.*, 2016). Además, la pérdida de preñez prolonga el intervalo entre partos, lo que contribuye a una disminución general en la producción de leche a lo largo del tiempo (Burgers *et al.*, 2021).

### 2.7.3 Pérdidas económicas

La reproducción eficiente en las granjas lecheras juega un papel crucial en su rendimiento económico (Bekara y Bareille, 2019). La pérdida de preñez no solo impacta la productividad directa al reducir el número de crías nacidas y leche producida, sino que también genera costos adicionales asociados con la necesidad de volver a inseminar a las vacas, el cuidado adicional requerido durante la gestación, la lactancia, el período seco, y el remplazo de animales (Ribeiro *et al.*, 2012).

Cada aborto o pérdida de gestación representa una inversión perdida en tiempo, recursos y potencial genético. Los costos de reproducción incluyen el costo de la inseminación artificial, las pruebas de diagnóstico de preñez, los tratamientos veterinarios y los cuidados adicionales durante la gestación (Deka *et al.*, 2021). En México, Albuja *et al.* (2019) estimaron el costo para el caso de una pérdida durante el primer trimestre, de alrededor de \$5,252 pesos mexicanos por aborto, representando no solo el valor de la inversión perdida en la gestación, sino también los costos asociados con la atención veterinaria y medicamentos.

## **2.8 Funciones de los Ácidos Grasos Omega-3, Omega-6 y Omega-9 en la Gestación**

### 2.8.1 Omega-3

El ácido graso omega-3 ejerce un efecto significativo en los procesos reproductivos y de gestación en los bovinos (Moallem, 2018). Este lípido desempeña un papel fundamental en la regulación de múltiples aspectos de la

fisiología reproductiva, desde la calidad ovocitaria hasta la salud del útero y el desarrollo de la cría (Fabjanowska *et al.*, 2023).

En la fisiología reproductiva, se ha demostrado que una dieta enriquecida con omega-3 favorece la calidad ovocitaria, mejorando las tasas de concepción en las vacas (Libera *et al.*, 2020). Este efecto se atribuye a la capacidad del omega-3 para modular la expresión génica relacionada con el desarrollo folicular y la maduración ovocitaria (Nikoloff *et al.*, 2021). Además, se ha demostrado que el omega-3 mejora la producción hormonal y la función metabólica, lo que contribuye a un ambiente reproductivo propicio (Doyle *et al.*, 2019).

Durante la gestación la suplementación con omega-3 se ha asociado con un mayor tamaño del cuerpo lúteo y niveles elevados de progesterona en sangre, factores determinantes para la implantación y el mantenimiento de la preñez (Plewes *et al.*, 2018). Esto modula la expresión génica y la actividad enzimática en el útero, lo que promueve un ambiente intrauterino favorable para el desarrollo embrionario (Surlis *et al.*, 2020). Además de modular la síntesis de prostaglandinas, lo que ayuda a prevenir la luteólisis y el riesgo de aborto espontáneo (Plewes *et al.*, 2017).

### 2.8.2 Omega-6

Los ácidos grasos omega-6 desempeñan un papel fundamental en varios procesos fisiológicos, incluida la reproducción (Cooke, 2019). Estos ácidos grasos están involucrados en la síntesis de prostaglandinas, que son mediadores importantes en eventos reproductivos como el reconocimiento materno-fetal (Brandão *et al.*, 2018).

La síntesis adecuada de prostaglandinas, especialmente  $PGE_2$  y  $PGF_{2\alpha}$ , es crucial para el establecimiento y mantenimiento de la gestación en vacas (Arosh *et al.*, 2016). Durante el ciclo estral y la gestación temprana, las prostaglandinas desempeñan un papel fundamental en la regulación del tono uterino, la función lútea y la implantación del embrión (Gandra *et al.*, 2017). Específicamente, la  $PGE_2$  ayuda a mantener la función del cuerpo lúteo, mientras que la  $PGF_{2\alpha}$  está

asociada con la luteólisis, un evento crucial que debe ser inhibido para permitir la continuación de la gestación (Giller *et al.*, 2018).

La suplementación con ácidos grasos omega-6, como el ácido linoleico, influye en la síntesis de prostaglandinas y, por lo tanto, en la eficacia del reconocimiento materno-fetal de la gestación en vacas (Jolazadeh *et al.*, 2019).

### 2.8.3 Omega-9

El omega-9 es un ácido graso que desempeña una labor fundamental en la salud reproductiva de las vacas lecheras (Fayezi *et al.*, 2018). Durante el período de posparto temprano, las vacas de alta producción enfrentan un balance energético negativo, donde la energía requerida para la producción láctea supera la ingesta calórica (Moore y DeVries, 2020).

Este desequilibrio conlleva a la movilización de grasas corporales, aumentando la concentración de ácidos grasos libres en la sangre y el fluido folicular, lo que afecta la calidad del ovocito y, en consecuencia, la fertilidad de las vacas (Zhang *et al.*, 2020). Los ácidos grasos saturados, como el ácido palmítico y el esteárico, tienen efectos tóxicos para los ovocitos bovinos, mientras que, en los ácidos grasos insaturados, como el ácido oleico que forma parte de la familia omega-9, este efecto es menor (Marei *et al.*, 2017). Previamente Aardema *et al.* (2011) demostraron que la exposición a ácido oleico durante la maduración *in vitro* de los ovocitos bovinos influye en el desarrollo de las gotas lipídicas y en la competencia de desarrollo posterior de la fecundación de los ovocitos.

### III.- MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Nota Ética

El presente estudio se llevó a cabo siguiendo los lineamientos éticos establecidos en la Guía para el Cuidado y Uso de Animales de Granja en Investigación y Enseñanza (FASS, 2020).

#### 3.2 Localización del Estudio

El estudio se llevó a cabo en un lapso que abarco los meses de agosto a diciembre del 2023 en un hato lechero comercial de nombre “Ganadera Solorzano” ubicado en el municipio de Gómez Palacio, en la región lagunera del estado de Durango, México. Las coordenadas geográficas del lugar son 25° 79' latitud Norte y 103° 35' longitud Oeste, con una altitud de 1,800 metros sobre el nivel del mar. El clima de la zona se caracteriza por una temperatura promedio anual de 22°C y una precipitación promedio de 200 mm, principalmente durante el verano.

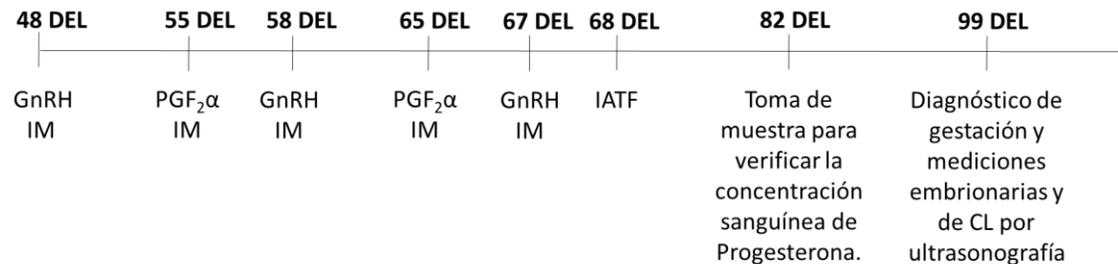
#### 3.3 Animales Experimentales

Para la realización de este estudio se contó con un total de 301 vacas de raza Holstein-Friesian multíparas con un promedio de  $20 \pm 5$  días en leche (DEL) las cuales se alimentaban dos veces al día con una dieta balanceada y que estaba formulada para satisfacer y rebasar los requerimientos mínimos del ganado lechero (NRC, 2021). Se ordeñaron tres veces al día con un intervalo de aproximadamente ocho horas entre ordeña y se alojaron en corrales con áreas de sombra, cama de arena y agua a libre acceso. Las vacas se distribuyeron aleatoriamente en dos grupos. El grupo experimental ( $n=156$ ) recibió una adición de 150 gramos por animal al día de un suplemento energético comercial en la ración total mezclada (RTM), el cual contenía 50.11 % de ácido Linoleico, 6.42 % de ácido Linolénico y 18.78 % de ácido Oleico, durante un total de 150 días. Por otro lado, al grupo testigo ( $n=145$ ) solo se le ofreció la RTM sin el suplemento. Las vacas en cada grupo cumplieron con promedio de índice de condición corporal de  $3.05 \pm 0.23$  para el grupo experimental, mientras que en el grupo

testigo fue de  $2.99 \pm 0.24$ , en una escala de 1 al 5, según lo establecido por Edmonson *et al.* (1989).

### 3.4 Manejo Reproductivo

Para la sincronización de la inseminación artificial a tiempo fijo, se empleó un protocolo doble Ovsynch, conforme al método descrito por Stangaferro *et al.* (2018), con un periodo voluntario de espera a primer servicio de 68 DEL. Las vacas que resultaban no preñadas al diagnóstico de preñez mediante ultrasonografía a los 31 días posteriores a la inseminación se volvieron a sincronizar utilizando un protocolo Ovsynch convencional.



**Figura 1. esquematización del manejo reproductivo.**

### 3.5 Variables Reproductivas

#### 3.5.1 Concentración sanguínea de progesterona

Para verificar la concentración de progesterona se tomó una muestra de sangre mediante la punción de la vena coccígea a una submuestra de 20 vacas por cada grupo 14 días posteriores a la inseminación, utilizando tubos de vacío con activador de coagulación (BD Vacutainer®, Franklin Lakes, NJ, USA). Una vez obtenidas las muestras se centrifugaron a 2,000 rpm durante 20 minutos para la separación del suero, el cual una vez obtenido se almacena en tubos nuevos a una temperatura de  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta su análisis. Los valores de concentración sanguínea de progesterona se obtuvieron mediante un kit de Inmunoensayo por Quimioluminiscencia (PROG® Progesterone (CLIA), Mindray, Shenzhen, China) con una sensibilidad de  $\leq 0.1\text{ ng/ml}$ .

### 3.5.2 Longitud del embrión y diámetro del cuerpo lúteo

Se midió la longitud alcanzada por el embrión, así como el diámetro del cuerpo lúteo a los 31 días postinseminación mediante una ecografía transrectal a las vacas de los grupos experimental y testigo utilizando un ultrasonido veterinario marca Draminski modelo iScan mini ® con transductor lineal de 7.5 Mhz (Draminski, Sząbruk, Polonia) tomando en cuenta la metodología descrita por Nation *et al.*, (2003). Una vez visualizado el embrión se precedió a medir la longitud corona-rabadilla, para posteriormente localizar el cuerpo lúteo ipsilateral y proceder a la medición del diámetro de este.

### 3.5.3 Días abiertos y servicios por concepción

Los promedios de días abiertos= (fecha de concepción – fecha de parto / no. de vacas), servicios por concepción= (no. de servicios / vacas preñadas), y % de preñez= (no. de vacas preñadas / no. de vacas elegibles a preñar) las cuales se obtuvieron los registros de estos parámetros del software de gestión para hatos lecheros Afifarm ® versión 5.5 (Afimilk, Kibbutz Afikim, Israel).

### 3.6 Análisis Estadístico

Los datos obtenidos de la prueba de la concentración de progesterona, mediciones ultrasonográficas de embrión, diámetro de cuerpo lúteo, días abiertos y servicios por concepción se analizaron mediante una prueba Kruskal-Walis, mientras que la tasa de preñez se evaluó mediante una prueba de chi cuadrada con un nivel de significancia de  $P < 0.05$ , utilizando el paquete estadístico SAS ® (SAS Inst, ver. 9.2. 2009; Cary, NC, USA).

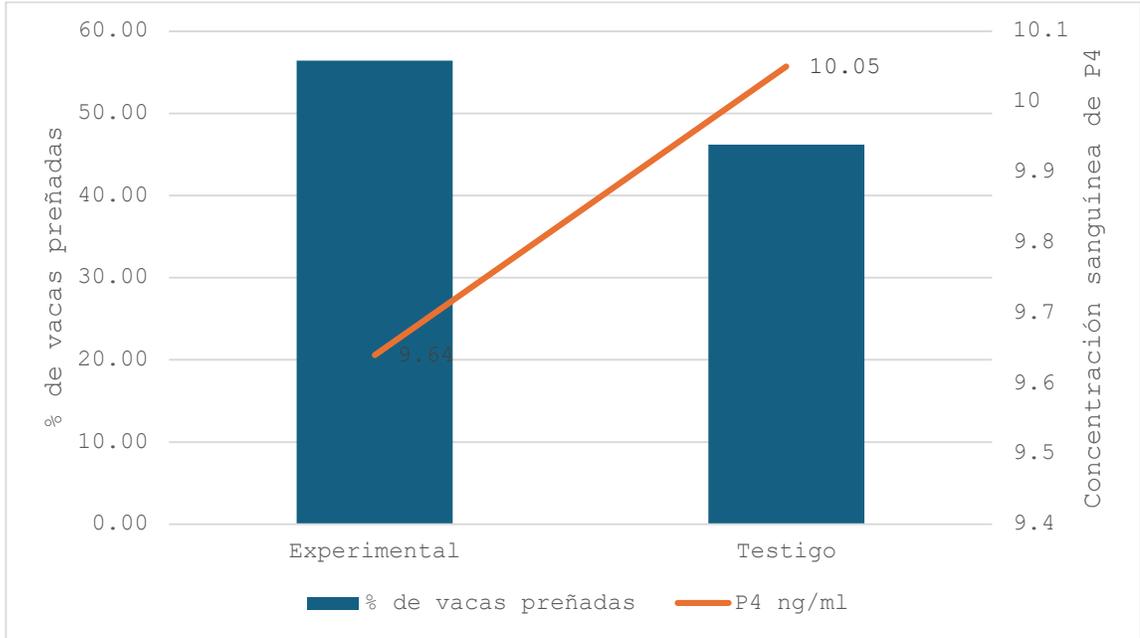
#### IV.- RESULTADOS

En el cuadro 1 se presentan los valores obtenidos de las mediciones ultrasonográficas de embrión y cuerpo lúteo, así como el número de días abiertos y servicios por concepción obtenidos de cada grupo.

**Cuadro 1. Resultados de las variables donde se aplicó la prueba Kruskal-Walis.**

| <b>Grupo</b>   | <b>Longitud del embrión (mm)</b> | <b>Diámetro del cuerpo lúteo (mm)</b> | <b>Días abiertos</b> | <b>Servicios por concepción</b> |
|----------------|----------------------------------|---------------------------------------|----------------------|---------------------------------|
| Experimental   | 11.43 ± 0.23                     | 24.55 ± 0.70                          | 111.59 ± 3.82        | 2.88 ± 0.17                     |
| Testigo        | 11.45 ± 0.14                     | 24.99 ± 0.52                          | 104.29 ± 4.34        | 2.74 ± 0.22                     |
| <i>Valor-P</i> | 0.9515                           | 0.6354                                | 0.2104               | 0.624                           |

Por otro lado, para el porcentaje de preñez se obtuvo un resultado numérico mayor en el grupo experimental, aunque sin diferencia estadística significativa entre los grupos evaluados con un valor  $P= 0.0768$ . La concentración de progesterona en sangre a los 14 días después de la inseminación dentro de la fase lútea media presentó una diferencia estadísticamente significativa a favor del grupo testigo, valor  $P= 0.048$ , los promedios se pueden observar en la figura 2.



**Figura 2. Porcentaje de vacas preñadas y concentración sanguínea de progesterona por tratamiento.**

## V.- DISCUSIÓN

En el análisis de los días abiertos y los servicios por concepción, no se observó una diferencia estadísticamente significativa, aunque se notó una diferencia numérica a favor del grupo testigo. Estudios previos, en los que se añadieron ácidos linolénico, linoleico y oleico junto con sales de calcio, tampoco mostraron efectos estadísticamente significativos en los servicios por concepción (Petit y Twagiramungu, 2006) ni en los días abiertos (Reis et al., 2012).

Normalmente, un número mayor a 120 días abiertos se asocia con pérdidas económicas para los productores de leche. Sin embargo, investigaciones como la de Mellado et al. (2016) demostraron que un número mayor de días abiertos puede ser sostenible cuando se establecen lactancias prolongadas. Este enfoque no solo mitigó las pérdidas económicas, sino que también mostró un efecto positivo en la reproducción de vacas altamente productoras, especialmente en regiones con condiciones climáticas adversas.

Estudios adicionales han corroborado estos hallazgos. Swanepoel y Robinson (2020) investigaron el impacto del ácido linolénico en la tasa de concepción de vacas inseminadas artificialmente a tiempo fijo, y sus resultados fueron congruentes con estudios anteriores que no encontraron diferencias significativas. De manera similar, Castro et al. (2019) corroboraron que la combinación de ácido linolénico y ácido linoleico no afectaba significativamente las tasas de preñez entre los grupos estudiados.

La proporción entre los ácidos grasos también juega un papel crucial. Un aumento en la concentración de ácido linoleico en relación con el ácido linolénico tiene un impacto más pronunciado en la expresión de genes involucrados en la síntesis de prostaglandinas y reduce la expresión de factores relacionados con la proliferación celular (Greco et al., 2018). Estos hallazgos destacan la importancia de la composición específica de ácidos grasos en la dieta de los animales.

Sin embargo, estudios previos, como el de Silvestre et al. (2011), identificaron un efecto sinérgico al adicionar ácido linoleico durante el periodo de transición y ácido linolénico durante el periodo de inseminación. Esta estrategia mostró diferencias estadísticamente significativas en las tasas de preñez, destacando la importancia de la temporalidad en la suplementación con ácidos grasos.

Los niveles promedio de progesterona en sangre mostraron una diferencia estadística significativa a favor del grupo testigo. Esto podría explicarse por la adición de ácido linolénico, como lo demostraron Robinson et al. (2002). Además, la adición de ácido oleico en medios de cultivo in vitro de células de la granulosa bovina mostró efectos negativos. Estos efectos incluían cambios morfológicos significativos, acumulación de gotas lipídicas intracelulares y reducción en la expresión de genes clave para la esteroidogénesis y la señalización gonadotrópica, lo que resultaba en una menor producción de progesterona (Yenuganti et al., 2016).

Estos resultados también se han observado en otros modelos animales, como porcinos y ratones (Zhou et al., 2022). Sharma et al. (2020) confirmaron efectos similares al añadir ácido linolénico y ácido linoleico en medios de cultivo in vitro de células de la granulosa bovina, lo que subraya la consistencia de estos hallazgos en diferentes especies.

Por otro lado, Sakumoto et al. (2022) reportaron resultados estadísticamente significativos a favor de los grupos tratados comparados con el grupo testigo. Esta variabilidad en los resultados puede atribuirse a las diferentes fuentes de ácidos grasos utilizados (Dirandeh et al., 2013) y a la cantidad añadida de estos ácidos a los medios de cultivo (Zhang et al., 2019; Zeng et al., 2023).

La longitud del embrión a los 31 días de gestación y el diámetro del cuerpo lúteo ipsilateral al embrión no mostraron diferencias estadísticamente significativas. Varios estudios han demostrado que concentraciones altas de progesterona están directamente relacionadas con la expresión de genes específicos y con la

composición del histótrofo producido por el epitelio luminal del endometrio. Este entorno es crucial para el establecimiento de la preñez (Forde et al., 2009; Lonergan et al., 2016a; Martins et al., 2022).

No obstante, una mayor concentración sanguínea de ácidos grasos no mostró una correlación positiva con la concentración de progesterona ni con la longitud del embrión en etapas tardías de desarrollo embrionario (Stratman et al., 2016). Además, factores como el número de partos no influyen en la concentración sanguínea de progesterona en vaquillas y vacas, ni en la longitud alcanzada por el embrión (Stratman et al., 2020). Esto sugiere que el tamaño del embrión, excepto el trofoblasto, no necesariamente afecta el reconocimiento adecuado de la gestación.

El diámetro del cuerpo lúteo tampoco presentó diferencias estadísticamente significativas ( $P > 0.05$ ). Se ha demostrado que el diámetro del cuerpo lúteo no influye en la concentración de progesterona en sangre ni en la pérdida temprana de la preñez (Starbuck et al., 2004), ni en la producción de enzimas esteroideogénicas (Donadeu et al., 2020).

## **VI.- CONCLUSIÓN**

Se observó una diferencia significativa en la concentración de progesterona a favor del grupo de control, y una tendencia a favor en la tasa de preñez del grupo experimental, las otras variables no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos. Estos hallazgos sugieren que, si bien los ácidos grasos pueden influir en ciertos aspectos del reconocimiento materno de la gestación, otros factores también desempeñan un papel importante.

## VII.- REFERENCIAS

- Aardema, H., Vos, P. L. A. M., Lolicato, F., Roelen, B. A. J., Knijn, H. M., Vaandrager, A. B., Helms, B. J., & Gadella, B. M. (2011). Oleic acid prevents detrimental effects of saturated fatty acids on bovine oocyte developmental competence. *Biology of Reproduction*, 85(1), 62–69. <https://doi.org/10.1095/biolreprod.110.088815>
- Abdulrahman, N., & Fair, T. (2019). Contribution of the immune system to follicle differentiation, ovulation and early corpus luteum formation. *Animal Reproduction*, 16(3), 440–448. <https://doi.org/10.21451/1984-3143-AR2019-0087>
- Akison, L. K., & Robker, R. L. (2012). The critical roles of progesterone receptor (PGR) in ovulation, oocyte developmental competence and oviductal transport in mammalian reproduction. *Reproduction in Domestic Animals*, 47(4), 288–296. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2012.02088.x>
- Albuja, C., Ortiz, O., López, C., & Hernández-Cerón, J. (2019). Economic impact of pregnancy loss in an intensive dairy farming system. *Veterinaria Mexico OA*, 6(1), 1–8. <https://doi.org/10.22201/fmvz.24486760e.2019.1.572>
- Anas, M., Diniz, W. J. S., Menezes, A. C. B., Reynolds, L. P., Caton, J. S., Dahlen, C. R., & Ward, A. K. (2023). Maternal Mineral Nutrition Regulates Fetal Genomic Programming in Cattle: A Review. *Metabolites*, 13(5), 593. <https://doi.org/10.3390/metabo13050593>
- Arosh, J. A., Banu, S. K., & McCracken, J. A. (2016). Novel concepts on the role of prostaglandins on luteal maintenance and maternal recognition and establishment of pregnancy in ruminants<sup>1</sup>. *Journal of Dairy Science*, 99(7), 5926–5940. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10335>
- Banliat, C., Le Bourhis, D., Bernardi, O., Tomas, D., Labas, V., Salvetti, P., Guyonnet, B., Mermillod, P., & Saint-Dizier, M. (2020). Oviduct fluid extracellular vesicles change the phospholipid composition of bovine embryos developed in vitro. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(15), 1–13. <https://doi.org/10.3390/ijms21155326>
- Barbato, O., Menchetti, L., Brecchia, G., & Barile, V. L. (2022). Using Pregnancy-Associated Glycoproteins (PAGs) to Improve Reproductive Management: From Dairy Cows to Other Dairy Livestock. *Animals*, 12(16), 2033. <https://doi.org/10.3390/ani12162033>
- Basavaraja, R., Drum, J. N., Sapuleni, J., Bibi, L., Friedlander, G., Kumar, S., Sartori, R., & Meidan, R. (2021). Downregulated luteolytic pathways in the

transcriptome of early pregnancy bovine corpus luteum are mimicked by interferon-tau in vitro. *BMC Genomics*, 22(1), 452. <https://doi.org/10.1186/s12864-021-07747-3>

- Bazer, F. W. (1992). Mediators of Maternal Recognition of Pregnancy in Mammals. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine*, 199(4), 373–384. <https://doi.org/10.3181/00379727-199-43371A>
- Bazer, F. W., & Thatcher, W. W. (2017). Chronicling the discovery of interferon tau. *Reproduction*, 154(5), 11–20. <https://doi.org/10.1530/REP-17-0257>
- Bedere, N., Disenhaus, C., Ducrocq, V., Leurent-Colette, S., & Delaby, L. (2017). Ability of dairy cows to ensure pregnancy according to breed and genetic merit for production traits under contrasted pasture-based systems. *Journal of Dairy Science*, 100(4), 2812–2827. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11588>
- Bekara, M. E. A., & Bareille, N. (2019). Quantification by simulation of the effect of herd management practices and cow fertility on the reproductive and economic performance of Holstein dairy herds. *Journal of Dairy Science*, 102(10), 9435–9457. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15484>
- Berisha, B., Thaqi, G., Sinowatz, F., Schams, D., Rodler, D., & Pfaffl, M. W. (2024). Prostaglandins as local regulators of ovarian physiology in ruminants. *Journal of Veterinary Medicine Series C: Anatomia Histologia Embryologia* 53(1), e12980). <https://doi.org/10.1111/ahe.12980>
- Binelli, M., Silva, F. A. C. C., Rocha, C. C., Martins, T., Sponchiado, M., Hoeck, V. Van, Cordeiro, A., Campbell, M., Leroy, J. L. M. R., Peñagaricano, F., & Pugliesi, G. (2022). Endometrial receptivity in cattle: the mutual reprogramming paradigm. *Animal Reproduction*, 19(4), e20220097. <https://doi.org/10.1590/1984-3143-AR2022-0097>
- Bragança, L. G., & Zangirolamo, A. F. (2018). Strategies for increasing fertility in high productivity dairy herds. *Animal Reproduction*, 15(3), 256–260. <https://doi.org/10.21451/1984-3143-AR2018-0079>
- Brandão, A. P., Cooke, R. F., Schubach, K. M., Marques, R. S., Bohnert, D. W., Carvalho, R. S., Dias, N. W., Timlin, C. L., Clark-Deener, S., Currin, J. F., Jump, D. B., Pohler, K. G., Cerri, R. L. A., & Mercadante, V. R. G. (2018). Supplementing ca salts of soybean oil after artificial insemination increases pregnancy success in bos taurus beef cows. *Journal of Animal Science*, 96(7), 2838–2850. <https://doi.org/10.1093/jas/sky156>
- Burgers, E. E. A., Kok, A., Goselink, R. M. A., Hogeveen, H., Kemp, B., & van Knegsel, A. T. M. (2021). Fertility and milk production on commercial dairy farms with customized lactation lengths. *Journal of Dairy Science*, 104(1), 443–458. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17947>

- Cabrera, V. E. (2014). Economics of fertility in high-yielding dairy cows on confined TMR systems. *Animal*, 8(1), 211–221. <https://doi.org/10.1017/S1751731114000512>
- Calle, A., Toribio, V., Yáñez-Mó, M., & Ramírez, M. Á. (2021). Embryonic trophoctoderm secretomics reveals chemotactic migration and intercellular communication of endometrial and circulating mscs in embryonic implantation. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(11), 5638. <https://doi.org/10.3390/ijms22115638>
- Campanile, G., Baruselli, P. S., Limone, A., & D’Occhio, M. J. (2021). Local action of cytokines and immune cells in communication between the conceptus and uterus during the critical period of early embryo development, attachment and implantation – Implications for embryo survival in cattle: A review. *Theriogenology*, 167, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2021.02.020>
- Cardoso, F. C., Kalscheur, K. F., & Drackley, J. K. (2020). Symposium review: Nutrition strategies for improved health, production, and fertility during the transition period. *Journal of Dairy Science*, 103(6), 5684–5693. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17271>
- Carter, F., Rings, F., Mamo, S., Holker, M., Kuzmany, A., Besenfelder, U., Havlicek, V., Mehta, J. P., Tesfaye, D., Schellander, K., & Lonergan, P. (2010). Effect of elevated circulating progesterone concentration on bovine blastocyst development and global transcriptome following endoscopic transfer of in vitro produced embryos to the bovine oviduct. *Biology of Reproduction*, 83(5), 707–719. <https://doi.org/10.1095/biolreprod.109.082354>
- Castro, T., Martinez, D., Isabel, B., Cabezas, A., & Jimeno, V. (2019). Vegetable oils rich in polyunsaturated fatty acids supplementation of dairy cows’ diets: Effects on productive and reproductive performance. *Animals*, 9(5), 205. <https://doi.org/10.3390/ani9050205>
- Chaney, H. L., Grose, L. F., Charpigny, G., Behura, S. K., Sheldon, I. M., Cronin, J. G., Lonergan, P., Spencer, T. E., & Mathew, D. J. (2021). Conceptus-induced, interferon tau-dependent gene expression in bovine endometrial epithelial and stromal cells†. *Biology of Reproduction*, 104(3), 669–683. <https://doi.org/10.1093/biolre/iaaa226>
- Chaney, H. L., Grose, L. F., Labarbara, J. M., Sirk, A. W., Blancke, A. M., Sánchez, J. M., Passaro, C., Lonergan, P., & Mathew, D. J. (2022). Galectin-1 induces gene and protein expression related to maternal-conceptus immune tolerance in bovine endometrium. *Biology of Reproduction*, 106(3), 487–502. <https://doi.org/10.1093/biolre/ioab215>

- Chen, K., Liang, J., Qin, T., Zhang, Y., Chen, X., & Wang, Z. (2022). The Role of Extracellular Vesicles in Embryo Implantation. *Frontiers in Endocrinology*, 13, 809596. <https://doi.org/10.3389/fendo.2022.809596>
- Cooke, R. F. (2019). Early career achievement award: Supplementing omega-6 fatty acids to enhance early embryonic development and pregnancy establishment in *Bos indicus* and *B. taurus* beef cows. *Journal of Animal Science*, 97(1), 485–495. <https://doi.org/10.1093/jas/sky414>
- Davenport, K. M., Ortega, M. S., Johnson, G. A., Seo, H., & Spencer, T. E. (2023). Review: Implantation and placentation in ruminants. *Animal*, 17, 100796. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.100796>
- Deka, R. P., Magnusson, U., Grace, D., Randolph, T. F., Shome, R., & Lindahl, J. F. (2021). Estimates of the economic cost caused by five major reproductive problems in dairy animals in Assam and Bihar, India. *Animals*, 11(11), 3116. <https://doi.org/10.3390/ani11113116>
- Diaz-Lundahl, S., Garmo, R. T., Gillund, P., Klem, T. B., Waldmann, A., & Krogenæs, A. K. (2021). Prevalence, risk factors, and effects on fertility of cytological endometritis at the time of insemination in Norwegian Red cows. *Journal of Dairy Science*, 104(6), 6961–6974. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19211>
- Dickson, M. J., Bishop, J. V., Hansen, T. R., Sheldon, I. M., & Bromfield, J. J. (2022). The endometrial transcriptomic response to pregnancy is altered in cows after uterine infection. *PLoS ONE*, 17(3), e0265062. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0265062>
- Diniz, W. J. S., Ward, A. K., McCarthy, K. L., Kassetas, C. J., Baumgaertner, F., Reynolds, L. P., Borowicz, P. P., Sedivec, K. K., Kirsch, J. D., Dorsam, S. T., Neville, T. L., Forcherio, J. C., Scott, R., Caton, J. S., & Dahlen, C. R. (2023). Periconceptual Maternal Nutrition Affects Fetal Liver Programming of Energy- and Lipid-Related Genes. *Animals*, 13(4), 600. <https://doi.org/10.3390/ani13040600>
- Dirandeh, E., Towhidi, A., Zeinoaldini, S., Ganjkhanelou, M., Ansari Pirsaraei, Z., & Fouladi-Nashtaj, A. (2013). Effects of different polyunsaturated fatty acid supplementations during the postpartum periods of early lactating dairy cows on milk yield, metabolic responses, and reproductive performances. *Journal of Animal Science*, 91(2), 713–721. <https://doi.org/10.2527/jas2012-5359>
- D’Occhio, M. J., Campanile, G., & Baruselli, P. S. (2020). Peripheral action of kisspeptin at reproductive tissues-role in ovarian function and embryo implantation and relevance to assisted reproductive technology in livestock: A review. *Biology of Reproduction*, 103(6), 1157–1170. <https://doi.org/10.1093/biolre/ioaa135>

- Donadeu, F. X., Sanchez, J. M., Mohammed, B. T., Ioannidis, J., Stenhouse, C., Maioli, M. A., Esteves, C. L., & Lonergan, P. (2020). Relationships between size, steroidogenesis and miRNA expression of the bovine corpus luteum. *Theriogenology*, *145*, 226–230. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2019.10.033>
- Dovolou, E., Giannoulis, T., Nanas, I., & Amiridis, G. S. (2023). Heat Stress: A Serious Disruptor of the Reproductive Physiology of Dairy Cows. *Animals*, *13*(11), 1846. <https://doi.org/10.3390/ani13111846>
- Doyle, D. N., Lonergan, P., Diskin, M. G., Pierce, K. M., Kelly, A. K., Stanton, C., Waters, S. M., Parr, M. H., & Kenny, D. A. (2019). Effect of dietary n-3 polyunsaturated fatty acid supplementation and post-insemination plane of nutrition on systemic concentrations of metabolic analytes, progesterone, hepatic gene expression and embryo development and survival in beef heifers. *Theriogenology*, *127*, 102–113. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2018.12.037>
- Ealy, A. D., & Seekford, Z. K. (2019). Symposium review: Predicting pregnancy loss in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, *102*(12), 11798–11804. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17176>
- Edmonson, A. J., Lean, I. J., Weaver, L. D., Farver, T., & Webster, G. (1989). A Body Condition Scoring Chart for Holstein Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, *72*(1), 68–78. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(89\)79081-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(89)79081-0)
- Fabjanowska, J., Kowalczyk-Vasilev, E., Klebaniuk, R., Milewski, S., & Gümüş, H. (2023). N-3 Polyunsaturated Fatty Acids as a Nutritional Support of the Reproductive and Immune System of Cattle—A Review. *Animals*, *13*(22), 3589. <https://doi.org/10.3390/ani13223589>
- Fair, T. (2016). Embryo maternal immune interactions in cattle. *Animal Reproduction*, *13*(3), 346–354. <https://doi.org/10.21451/1984-3143-AR877>
- FASS (2020). Guide for the Care and Use of Agricultural Animals in Research and Teaching (4th edition, pp. 92–112). Federation Animal Science Society.
- Fayezi, S., Leroy, J. L. M. R., Ghaffari Novin, M., & Darabi, M. (2018). Oleic acid in the modulation of oocyte and preimplantation embryo development. *Zygote*, *26*(1), 1–13. <https://doi.org/10.1017/S0967199417000582>
- Fernandez-Novo, A., Fargas, O., Loste, J. M., Sebastian, F., Perez-Villalobos, N., Pesantez-Pacheco, J. L., Patron-Collantes, R., & Astiz, S. (2020). Pregnancy loss (28–110 days of pregnancy) in holstein cows: A retrospective study. *Animals*, *10*(6), 925. <https://doi.org/10.3390/ani10060925>
- Fiorenza, M. F., Marey, M. A., Rashid, M. B., Zinnah, M. A., Ma, D., Morillo, V. A., Kusama, K., Shimada, M., Imakawa, K., Antoniazzi, A. Q., & Miyamoto, A.

- (2021). Neutrophils recognize and amplify IFNT signals derived from day 7 bovine embryo for stimulation of ISGs expression in vitro: A possible implication for the early maternal recognition of pregnancy. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 553, 37–43. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2021.03.037>
- Fleming, A., Baes, C. F., Martin, A. A. A., Chud, T. C. S., Malchiodi, F., Brito, L. F., & Miglior, F. (2019). Symposium review: The choice and collection of new relevant phenotypes for fertility selection. *Journal of Dairy Science*, 102(4), 3722–3734. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15470>
- Forde, N., Carter, F., Fair, T., Crowe, M. A., Evans, A. C. O., Spencer, T. E., Bazer, F. W., McBride, R., Boland, M. P., O’Gaora, P., Lonergan, P., & Roche, J. F. (2009). Progesterone-regulated changes in endometrial gene expression contribute to advanced conceptus development in cattle. *Biology of Reproduction*, 81(4), 784–794. <https://doi.org/10.1095/biolreprod.108.074336>
- Franco, G., Reese, S., Poole, R., Rhinehart, J., Thompson, K., Cooke, R., & Pohler, K. (2020). Sire contribution to pregnancy loss in different periods of embryonic and fetal development of beef cows. *Theriogenology*, 154, 84–91. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2020.05.021>
- Fürbass, R., Michaelis, M., & Schuler, G. (2023). Unhatched bovine blastocysts express all transcripts of the estrogen biosynthetic pathway, but steroid hormone synthesis could not yet be demonstrated. *Domestic Animal Endocrinology*, 82, 106770. <https://doi.org/10.1016/J.DOMANIEND.2022.106770>
- Gandra, J. R., Verdurico, L. C., Mingoti, R. D., Takiya, C. S., Gardinal, R., Vendramini, T. H. A., Barletta, R. V., Visintin, J. A., & Rennó, F. P. (2017). Whole flaxseed, raw soybeans, and calcium salts of fatty acids supplementation for transition cows: follicle development and embryo quality. *Italian Journal of Animal Science*, 16(4), 538–545. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2017.1302823>
- García-Muñiz, J., Herrera-Monsalvo, C., Lara-Bueno, A., López-Ordaz, R., Jaimes-Jaimes, J., & Ramírez-Valverde, R. (2015). Effects of Drinking Water Desalination on Several Traits of Dairy Cows in a Mexican Semiarid Environment. *Life Science Journal*, 12(2s).
- Gernand, E., König, S., & Kipp, C. (2019). Influence of on-farm measurements for heat stress indicators on dairy cow productivity, female fertility, and health. *Journal of Dairy Science*, 102(7), 6660–6671. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-16011>

- Giller, K., Drews, B., Berard, J., Kienberger, H., Schmicke, M., Frank, J., Spanier, B., Daniel, H., Geisslinger, G., & Ulbrich, S. E. (2018). Bovine embryo elongation is altered due to maternal fatty acid supplementation. *Biology of Reproduction*, 99(3), 600–610. <https://doi.org/10.1093/biolre/iroy084>
- Giordano, J. O., Sitko, E. M., Rial, C., Pérez, M. M., & Granados, G. E. (2022). Symposium review: Use of multiple biological, management, and performance data for the design of targeted reproductive management strategies for dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 105(5), 4669–4678. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-21476>
- Greco, L. F., Neves Neto, J. T., Pedrico, A., Lima, F. S., Bisinotto, R. S., Martinez, N., Ribeiro, E. S., Thatcher, W. W., Staples, C. R., & Santos, J. E. P. (2018). Effects of altering the ratio of dietary n-6 to n-3 fatty acids on spontaneous luteolysis in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 101(11), 10536–10556. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15065>
- Hansen, T. R., Sinedino, L. D. P., & Spencer, T. E. (2017). Paracrine and endocrine actions of interferon tau (IFNT). *Reproduction*, 154(5), F45–F59. <https://doi.org/10.1530/REP-17-0315>
- Hazel, A. R., Heins, B. J., & Hansen, L. B. (2020). Fertility and 305-day production of Viking Red-, Montbéliarde-, and Holstein-sired crossbred cows compared with Holstein cows during their first 3 lactations in Minnesota dairy herds. *Journal of Dairy Science*, 103(9), 8683–8697. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18196>
- Hosseini-Zadeh, N. G., & Ardalan, M. (2011). Evaluation of the potential effects of abortion on the productive performance of Iranian Holstein dairy cows. *Animal Science Journal*, 82(1), 117–121. <https://doi.org/10.1111/j.1740-0929.2010.00802.x>
- Jayawardana, J. M. D. R., Lopez-Villalobos, N., Hickson, R. E., & McNaughton, L. R. (2023). Estimation of genetic parameters and individual and maternal breed, heterosis, and recombination loss effects for production and fertility traits of spring-calving cows milked once daily or twice daily in New Zealand. *Journal of Dairy Science*, 106(1), 364–380. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22053>
- Jolazadeh, A. R., Mohammadabadi, T., Dehghan-banadaky, M., Chaji, M., & Garcia, M. (2019). Effect of supplementing calcium salts of n-3 and n-6 fatty acid to pregnant nonlactating cows on colostrum composition, milk yield, and reproductive performance of dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*, 247, 127–140. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.11.010>
- Keshavarzi, H., Sadeghi-Sefidmazgi, A., Ghorbani, G. R., Kowsar, R., Razmkabir, M., & Amer, P. (2020). Effect of abortion on milk production, health, and

- reproductive performance of Holstein dairy cattle. *Animal Reproduction Science*, 217, 106458. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2020.106458>
- Khan, I., Mesalam, A., Heo, Y. S., Lee, S. H., Nabi, G., & Kong, I. K. (2023). Heat Stress as a Barrier to Successful Reproduction and Potential Alleviation Strategies in Cattle. *Animals*, 13(14), 2359. <https://doi.org/10.3390/ani13142359>
- Kikuchi, M., Kizaki, K., Shigeno, S., Toji, N., Ishiguro-Oonuma, T., Koshi, K., Takahashi, T., & Hashizume, K. (2019). Newly identified interferon tau-responsive Hes family BHLH transcription factor 4 and cytidine/uridine monophosphate kinase 2 genes in peripheral blood granulocytes during early pregnancy in cows. *Domestic Animal Endocrinology*, 68, 64–72. <https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2019.01.006>
- Kowalczyk, A., Czerniawska-Piątkowska, E., & Wrzecińska, M. (2021). The Importance of Interferon-Tau in the Diagnosis of Pregnancy. *BioMed Research International*, 1–6. <https://doi.org/10.1155/2021/9915814>
- Kropp, J., & Khatib, H. (2015). Characterization of microRNA in bovine in vitro culture media associated with embryo quality and development. *Journal of Dairy Science*, 98(9), 6552–6563. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9510>
- Kumari, S., Kumaresan, A., Patbandha, T. K., & Ravi, S. K. (2016). Risk Factors for Metritis and Its Effect on Productive and Reproductive Performance in Dairy Cattle and Buffaloes. *Agricultural Research*, 5(1), 72–80. <https://doi.org/10.1007/s40003-015-0183-5>
- Lamy, J., Liere, P., Pianos, A., Aprahamian, F., Mermillod, P., & Saint-Dizier, M. (2015). Steroid hormones in bovine oviductal fluid during the estrous cycle. *Theriogenology*, 86(6), 1409–1420. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.04.086>
- Libera, K., Włodarek, J., Warzych, E., Cieślak, A., Szumacher-Strabel, M., Jankowiak, T., & Lechniak, D. (2020). Reproductive Performance of Dairy Cows Fed a Diet Supplemented with n-3 Polyunsaturated Fatty Acids - A Review. *Annals of Animal Science*, 20(4), 1169–1183. <https://doi.org/10.2478/aoas-2020-0040>
- Lonergan, P., Forde, N., & Spencer, T. (2016a). Role of progesterone in embryo development in cattle. *Reproduction, Fertility and Development*, 28(2), 66–74. <https://doi.org/10.1071/RD15326>
- Lonergan, P., Forde, N., & Spencer, T. E. (2016b). Progesterone and conceptus-derived factors important for conceptus survival and growth. *Animal Reproduction*, 13(3), 143–152. <https://doi.org/10.21451/1984-3143-AR867>

- Lonergan, P., & Sánchez, J. M. (2020). Symposium review: Progesterone effects on early embryo development in cattle. *Journal of Dairy Science*, 103(9), 8698–8707. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18583>
- Lopera-Vásquez, R., Uribe-García, F., & Rondón-Barragán, I. (2022). Effect of estrous cycle phases on gene expression in bovine oviduct epithelial cells. *Veterinary World*, 15(7), 1665–1675. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2022.1665-1675>
- Lucy, M. C. (2019). Stress, strain, and pregnancy outcome in postpartum cows. *Animal Reproduction*, 16(3), 455–464. <https://doi.org/10.21451/1984-3143-AR2019-0063>
- Manjari, P., Hyder, I., Kapoor, S., Senthilnathan, M., & Dang, A. K. (2018). Exploring the concentration-dependent actions of interferon- $\tau$  on bovine neutrophils to understand the process of implantation. *Journal of Cellular Biochemistry*, 119(12), 10087–10094. <https://doi.org/10.1002/jcb.27345>
- Marei, W. F. A., Alvarez, M. A., Van Hoeck, V., Gutierrez-Adan, A., Bols, P. E. J., & Leroy, J. L. M. R. (2017). Effect of nutritionally induced hyperlipidaemia on in vitro bovine embryo quality depends on the type of major fatty acid in the diet. *Reproduction, Fertility and Development*, 29(9), 1856–1867. <https://doi.org/10.1071/RD16297>
- Martínez-Alba, M., Molina-Morejón, V., García-Munguía, C., Díaz-Carretero, E., Vivanco-Flórido, J., & Mata-Zamores, S. (2021). Estado del arte de la producción lechera mexicana. *Abanico Agroforestal*, 3, 1–18. <https://doi.org/10.37114/abaagrof/2021.1>
- Martins, T., Pugliesi, G., Sponchiado, M., Gonella-Díaza, A. M., Ojeda-Rojas, O. A., Rodríguez, F. D., Ramos, R. S., Basso, A. C., & Binelli, M. (2018). Perturbations in the uterine luminal fluid composition are detrimental to pregnancy establishment in cattle. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 9(1), 1–11. <https://doi.org/10.1186/s40104-018-0285-6>
- Martins, T., Sponchiado, M., Silva, F. A. C. C., Estrada-Cortés, E., Hansen, P. J., Penagaricano, F., & Binelli, M. (2022). Progesterone-dependent and progesterone-independent modulation of luminal epithelial transcription to support pregnancy in cattle. *Physiological Genomics*, 54(2), 71–85. <https://doi.org/10.1152/physiolgenomics.00108.2021>
- Mathew, D. J., Peterson, K. D., Senn, L. K., Oliver, M. A., & Ealy, A. D. (2022). Ruminant conceptus-maternal interactions: interferon-tau and beyond. *Journal of Animal Science*, 100(7), 1–13. <https://doi.org/10.1093/jas/skac123>
- Mathew, D. J., Sánchez, J. M., Passaro, C., Charpigny, G., Behura, S. K., Spencer, T. E., & Lonergan, P. (2019). Interferon tau-dependent and

- independent effects of the bovine conceptus on the endometrial transcriptome. *Biology of Reproduction*, 100(2), 365–380. <https://doi.org/10.1093/biolre/ioy199>
- Mellado, M., Flores, J. M., de Santiago, A., Veliz, F. G., Macías-Cruz, U., Avendaño-Reyes, L., & García, J. E. (2016). Extended lactation in high-yielding Holstein cows: Characterization of milk yield and risk factors for lactations >450 days. *Livestock Science*, 189, 50–55. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2016.05.004>
- Moallem, U. (2018). Invited review: Roles of dietary n-3 fatty acids in performance, milk fat composition, and reproductive and immune systems in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 101(10), 8641–8661. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-14772>
- Moore, S. M., & DeVries, T. J. (2020). Effect of diet-induced negative energy balance on the feeding behavior of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 103(8), 7288–7301. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17705>
- Moraes, J. G. N., Behura, S. K., Geary, T. W., & Spencer, T. E. (2020). Analysis of the uterine lumen in fertility-classified heifers: I. Glucose, prostaglandins, and lipids. *Biology of Reproduction*, 102(2), 456–474. <https://doi.org/10.1093/biolre/ioz191>
- Nation, D. P., Malmo, J., Davis, G. M., & Macmillan, K. L. (2003). Accuracy of bovine pregnancy detection using transrectal ultrasonography at 28 to 35 days after insemination. *Australian Veterinary Journal*, 81(2), 63–65.
- Negrón-Pérez, V. M., Fausnacht, D. W., & Rhoads, M. L. (2019). Invited review: Management strategies capable of improving the reproductive performance of heat-stressed dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 102(12), 10695–10710. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16718>
- Nikoloff, N., Carranza, A. C., Fabra, M. C., Campagna, A., Anchordoquy, J. P., Anchordoquy, J. M., Farnetani, N., & Furnus, C. C. (2021). Eicosapentaenoic acid supplemented to in vitro maturation medium results in lesser lipid content and intracellular reactive oxygen species in blastocysts of cattle. *Animal Reproduction Science*, 229, 106765. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2021.106765>
- Niringiyumukiza, J. D., Cai, H., & Xiang, W. (2018). Prostaglandin E2 involvement in mammalian female fertility: Ovulation, fertilization, embryo development and early implantation. *Reproductive Biology and Endocrinology*, 16(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s12958-018-0359-5>

- National Research Council, Committee on Animal Nutrition, & Subcommittee on Dairy Cattle Nutrition. (2001). *Nutrient requirements of dairy cattle: 2001*. National Academies Press.
- Nuttinck, F. (2018). Oocyte related factors impacting on embryo quality: Relevance for in vitro embryo production. *Animal Reproduction*, *15*(3), 271–277. <https://doi.org/10.21451/1984-3143-AR2018-0077>
- Opsomer, G. (2015). Interaction between metabolic challenges and productivity in high yielding dairy cows. *Japanese Journal of Veterinary Research*, *63*(1), S1–S14. <https://doi.org/10.14943/jjvr.63.suppl.s1>
- Ott, T. L. (2020). Immunological detection of pregnancy: Evidence for systemic immune modulation during early pregnancy in ruminants. *Theriogenology*, *150*, 498–503. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2020.04.010>
- Pavani, K. C., Meese, T., Pascottini, O. B., Guan, X., Lin, X., Peelman, L., Hamacher, J., Nieuwerburgh, F. Van, Deforce, D., Boel, A., Orn Heindryckx, B., Tilleman, K., Soom, A. Van, Gadella, B. M., Hendrix, A., & Smits, K. (2022). Hatching is modulated by microRNA-378a-3p derived from extracellular vesicles secreted by blastocysts. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *119*(12), e2122708119. <https://doi.org/10.1073/pnas>
- Peixoto, P. M., Bromfield, J. J., Ribeiro, E. S., Santos, J. E. P., Thatcher, W. W., & Bisinotto, R. S. (2023). Transcriptome changes associated with elongation of bovine conceptuses I: Differentially expressed transcripts in the conceptus on day 17 after insemination. *Journal of Dairy Science*, *106*(12), 9745–9762. <https://doi.org/10.3168/jds.2023-23398>
- Petit, H. V., & Twagiramungu, H. (2006). Conception rate and reproductive function of dairy cows fed different fat sources. *Theriogenology*, *66*(5), 1316–1324. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2006.04.029>
- Plewes, M. R., Burns, P. D., Graham, P. E., Bruemmer, J. E., & Engle, T. E. (2018). Influence of omega-3 polyunsaturated fatty acids from fish oil or meal on the structure of lipid microdomains in bovine luteal cells. *Animal Reproduction Science*, *193*, 40–57. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2018.03.036>
- Plewes, M. R., Burns, P. D., Hyslop, R. M., & George Barisas, B. (2017). Influence of omega-3 fatty acids on bovine luteal cell plasma membrane dynamics. *Biochimica et Biophysica Acta - Biomembranes*, *1859*(12), 2413–2419. <https://doi.org/10.1016/j.bbamem.2017.09.012>
- Randi, F., Fernandez-Fuertes, B., Mcdonald, M., Forde, N., Kelly, A. K., Bastos Amorin, H., Muniz De Lima, E., Morotti, F., Marcondes Seneda, M., & Lonergan, P. (2016). Asynchronous embryo transfer as a tool to understand

- embryo-uterine interaction in cattle: Is a large conceptus a good thing? *Reproduction, Fertility and Development*, 28(12), 1999–2006. <https://doi.org/10.1071/RD15195>
- Reis, M. M., Cooke, R. F., Ranches, J., & Vasconcelos, J. L. M. (2012). Effects of calcium salts of polyunsaturated fatty acids on productive and reproductive parameters of lactating Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 95(12), 7039–7050. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5502>
- Ribeiro, E. S., & Carvalho, M. R. (2017). Impact and mechanisms of inflammatory diseases on embryonic development and fertility in cattle. *Animal Reproduction*, 14(3), 589–600. <https://doi.org/10.21451/1984-3143-AR1002>
- Ribeiro, E. S., Galvão, K. N., Thatcher, W. W., & Santos, J. E. P. (2012). Economic aspects of applying reproductive technologies to dairy herds. *Animal Reproduction*, 9(3), 370–387.
- Ribeiro, E. S., Greco, L. F., Bisinotto, R. S., Lima, F. S., Thatcher, W. W., & Santos, J. E. (2016). Biology of preimplantation conceptus at the onset of elongation in dairy cows. *Biology of Reproduction*, 94(4). <https://doi.org/10.1095/biolreprod.115.134908>
- Robinson, R. S., Pushpakumara, P. G. A., & Cheng, Z. (2002). Effects of dietary polyunsaturated fatty acids on ovarian and uterine function in lactating dairy cows. *REPRODUCTION-CAMBRIDGE*, 124(1), 119–131.
- Rocha, C. C., da Silveira, J. C., Forde, N., Binelli, M., & Pugliesi, G. (2021). Conceptus-modulated innate immune function during early pregnancy in ruminants: A review. *Animal Reproduction*, 18(1), 1–16. <https://doi.org/10.1590/1984-3143-AR2020-0048>
- Rodrigues, S. A. D., Pontelo, T. P., Kussano, N. R., Kawamoto, T. S., Leme, L. O., Caixeta, F. M. C., Pfeifer, L. F. M., Franco, M. M., & Dode, M. A. N. (2020). Effects of Prostaglandins E2 and F2 $\alpha$  on the in vitro maturation of bovine oocytes. *Domestic Animal Endocrinology*, 72, 106447. <https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2020.106447>
- Rodriguez-Venegas, R., Meza-Herrera, C. A., Robles-Trillo, P. A., Angel-Garcia, O., Rivas-Madero, J. S., & Rodriguez-Martínez, R. (2022). Heat Stress Characterization in a Dairy Cattle Intensive Production Cluster under Arid Land Conditions: An Annual, Seasonal, Daily, and Minute-To-Minute, Big Data Approach. *Agriculture*, 12(6), 760. <https://doi.org/10.3390/agriculture12060760>
- Rose-John, S. (2018). Interleukin-6 family cytokines. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, 10(2), a028415. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a028415>

- Sakumoto, R., Hayashi, K.-G., & Iga, K. (2022). Direct effects of linoleic and linolenic acids on bovine uterine function using in vivo and in vitro studies. *Journal of Reproduction and Development*, 68(1), 62–67. <https://doi.org/https://doi.org/10.1262/jrd.2021-107>
- Sánchez, J. M., Mathew, D. J., Behura, S. K., Passaro, C., Charpigny, G., Butler, S. T., Spencer, T. E., & Lonergan, P. (2019a). Bovine endometrium responds differentially to age-matched short and long conceptuses. *Biology of Reproduction*, 101(1), 26–39. <https://doi.org/10.1093/biolre/ioz060>
- Sánchez, J. M., Simintiras, C. A., & Lonergan, P. (2019b). Aspects of embryo-maternal communication in establishment of pregnancy in cattle. *Animal Reproduction*, 16(3), 376–385. <https://doi.org/10.21451/1984-3143-AR2019-0075>
- Seekford, Z. K., Wooldridge, L. K., Dias, N. W., Timlin, C. L., Sales, Á. F., Speckhart, S. L., Pohler, K. G., Cockrum, R. R., Mercadante, V. R. G., & Ealy, A. D. (2021). Interleukin-6 supplementation improves post-transfer embryonic and fetal development of in vitro-produced bovine embryos. *Theriogenology*, 170, 15–22. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2021.04.004>
- Serrano-Pérez, B., Molina, E., Noya, A., López-Helguera, I., Casasús, I., Sanz, A., & Villalba, D. (2020). Maternal nutrient restriction in early pregnancy increases the risk of late embryo loss despite no effects on peri-implantation interferon-stimulated genes in suckler beef cattle. *Research in Veterinary Science*, 128, 69–75. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2019.10.023>
- Seshagiri, P. B., Vani, V., & Madhulika, P. (2016). Cytokines and Blastocyst Hatching. *American Journal of Reproductive Immunology*, 75(3), 208–217. <https://doi.org/10.1111/aji.12464>
- Sharma, A., Baddela, V. S., Roettgen, V., Vernunft, A., Viergutz, T., Dannenberger, D., Hammon, H. M., Schoen, J., & Vanselow, J. (2020). Effects of Dietary Fatty Acids on Bovine Oocyte Competence and Granulosa Cells. *Frontiers in Endocrinology*, 11, 87. <https://doi.org/10.3389/fendo.2020.00087>
- Sigdel, A., Bisinotto, R. S., & Peñagaricano, F. (2021). Genes and pathways associated with pregnancy loss in dairy cattle. *Scientific Reports*, 11(1), 13329. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-92525-0>
- Sigdel, A., Bisinotto, R. S., & Peñagaricano, F. (2022). Genetic analysis of fetal loss in Holstein cattle. *Journal of Dairy Science*, 105(11), 9012–9020. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22000>

- Silva, F. A. C. C., Da Silva, G. F., Vieira, B. S., Neto, A. L., Rocha, C. C., Lo Turco, E. G., Nogueira, G. P., Pugliesi, G., & Binelli, M. (2021). Peri-estrus ovarian, uterine, and hormonal variables determine the uterine luminal fluid metabolome in beef heifers. *Biology of Reproduction*, *105*(5), 1140–1153. <https://doi.org/10.1093/biolre/ioab149>
- Silvestre, F. T., Carvalho, T. S. M., Francisco, N., Santos, J. E. P., Staples, C. R., Jenkins, T. C., & Thatcher, W. (2011). Effects of differential supplementation of fatty acids during the peripartum and breeding periods of Holstein cows: I. Uterine and metabolic responses, reproduction, and lactation. *Journal of Dairy Science*, *94*(1), 189–204. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3370>
- Simintiras, C. A., Drum, J. N., Liu, H., Sofia Ortega, M., & Spencer, T. E. (2022). Uterine lumen fluid is metabolically semi-autonomous. *Communications Biology*, *5*(1). <https://doi.org/10.1038/s42003-022-03134-0>
- Simintiras, C. A., Sánchez, J. M., McDonald, M., & Lonergan, P. (2019a). Progesterone alters the bovine uterine fluid lipidome during the period of elongation. *Reproduction*, *157*(4), 399–411. <https://doi.org/10.1530/REP>
- Simintiras, C. A., Sánchez, J. M., McDonald, M., & Lonergan, P. (2019b). The influence of progesterone on bovine uterine fluid energy, nucleotide, vitamin, cofactor, peptide, and xenobiotic composition during the conceptus elongation-initiation window. *Scientific Reports*, *9*(1), 7716. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44040-6>
- Simintiras, C. A., Sánchez, J. M., McDonald, M., O’Callaghan, E., Aburima, A. A., & Lonergan, P. (2021). Conceptus metabolomic profiling reveals stage-specific phenotypes leading up to pregnancy recognition in cattle†. *Biology of Reproduction*, *104*(5), 1022–1033. <https://doi.org/10.1093/biolre/ioab021>
- Spencer, T. E. (2013). Early pregnancy: Concepts, challenges, and potential solutions. *Animal Frontiers*, *3*(4), 48–55. <https://doi.org/10.2527/af.2013-0033>
- Spencer, T. E., Forde, N., & Lonergan, P. (2016). The role of progesterone and conceptus-derived factors in uterine biology during early pregnancy in ruminants1. *Journal of Dairy Science*, *99*(7), 5941–5950. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10070>
- Sponchiado, M., Gonella-Diaza, A. M., Rocha, C. C., Turco, E. G. L., Pugliesi, G., Leroy, J. L. M. R., & Binelli, M. (2019). The pre-hatching bovine embryo transforms the uterine luminal metabolite composition in vivo. *Scientific Reports*, *9*(1), 8354. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44590-9>
- Stangaferro, M. L., Wijma, R., Masello, M., & Giordano, J. O. (2018). Reproductive performance and herd exit dynamics of lactating dairy cows managed for first

- service with the Presynch-Ovsynch or Double-Ovsynch protocol and different duration of the voluntary waiting period. *Journal of Dairy Science*, *101*(2), 1673–1686. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13425>
- Starbuck, M. J., Dailey, R. A., & Inskeep, E. K. (2004). Factors affecting retention of early pregnancy in dairy cattle. *Animal Reproduction Science*, *84*(1–2), 27–39. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2003.12.009>
- Stratman, T. J., Moore, S. G., Lamberson, W. R., Keisler, D. H., Poock, S. E., & Lucy, M. C. (2016). Growth of the conceptus from day 33 to 45 of pregnancy is minimally associated with concurrent hormonal or metabolic status in postpartum dairy cows. *Animal Reproduction Science*, *168*, 10–18. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2016.02.020>
- Stratman, T. J., Poock, S. E., Moore, S. G., & Lucy, M. C. (2020). Growth of the conceptus from days 33 to 45 of pregnancy is similar for heifers and lactating cows and not associated with circulating glucose, insulin, IGF1 or progesterone concentrations. *Animal Reproduction Science*, *216*, 106463. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2020.106463>
- Surlis, C., Cormican, P., Waters, S. M., Lonergan, P., Keogh, K., Doyle, D. N., & Kenny, D. A. (2020). Effects of dietary n-3-PUFA supplementation, post-insemination plane of nutrition and pregnancy status on the endometrial transcriptome of beef heifers. *Scientific Reports*, *10*(1), 20798. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-77604-y>
- Swanepoel, N., & Robinson, P. H. (2020). Impacts of feeding a fish-oil based feed supplement through 160 days in milk on reproductive and productive performance, as well as the health, of multiparous early-lactation Holstein cows. *Animal Feed Science and Technology*, *268*. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114618>
- Szelényi, Z., Szenci, O., Bodó, S., & Kovács, L. (2023). Noninfectious Causes of Pregnancy Loss at the Late Embryonic/Early Fetal Stage in Dairy Cattle. *Animals*, *13*(21), 3390. <https://doi.org/10.3390/ani13213390>
- Szenci, O., Karen, A., Bajcsy, A. C. S., Gáspárdy, A., de Sousa, N. M., & Beckers, J. F. (2011). Effect of restraint stress on plasma concentrations of cortisol, progesterone and pregnancy associated-glycoprotein-1 in pregnant heifers during late embryonic development. *Theriogenology*, *76*(8), 1380–1385. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2011.05.030>
- Talukder, A. K., Marey, M. A., Shirasuna, K., Kusama, K., Shimada, M., Imakawa, K., & Miyamoto, A. (2020). Roadmap to pregnancy in the first 7 days post-insemination in the cow: Immune crosstalk in the corpus luteum, oviduct, and uterus. *Theriogenology*, *150*, 313–320. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2020.01.071>

- Talukder, A. K., Rabaglino, M. B., Browne, J. A., Charpigny, G., & Lonergan, P. (2023). Dose- and time-dependent effects of interferon tau on bovine endometrial gene expression. *Theriogenology*, *211*, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2023.07.033>
- Tinning, H., Edge, J. C., DeBem, T. H. C., Deligianni, F., Giovanardi, G., Pensabene, V., Meirelles, F. V., & Forde, N. (2023). Review: Endometrial function in pregnancy establishment in cattle. *Animal*, *17*, 100751. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.100751>
- Toschi, P., & Baratta, M. (2021). Ruminant Placental Adaptation in Early Maternal Undernutrition: An Overview. *Frontiers in Veterinary Science*, *8*, 755034. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.755034>
- Tríbulo, P., Siqueira, L. G. B., Oliveira, L. J., Scheffler, T., & Hansen, P. J. (2018). Identification of potential embryokines in the bovine reproductive tract. *Journal of Dairy Science*, *101*(1), 690–704. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13221>
- Vera, J. H. C., Escoto, F. C., Rangel, M. I. P., Vargas, A. C., & Ledesma, J. O. (2017). Especialización de los sistemas productivos lecheros en México: La difusión del modelo tecnológico holstein. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, *8*(3), 259–268. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v8i3.4191>
- Wagener, K., Drillich, M., Aurich, C., & Gabler, C. (2021). Endometrial inflammation at the time of insemination and its effect on subsequent fertility of dairy cows. *Animals*, *11*(7), 1858. <https://doi.org/10.3390/ani11071858>
- Wiltbank, M. C., Baez, G. M., Garcia-Guerra, A., Toledo, M. Z., Monteiro, P. L. J., Melo, L. F., Ochoa, J. C., Santos, J. E. P., & Sartori, R. (2016). Pivotal periods for pregnancy loss during the first trimester of gestation in lactating dairy cows. *Theriogenology*, *86*(1), 239–253. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.04.037>
- Wiltbank, M. C., Mezera, M. A., Toledo, M. Z., Drum, J. N., Baez, G. M., García-Guerra, A., & Sartori, R. (2018). Physiological mechanisms involved in maintaining the corpus luteum during the first two months of pregnancy. *Animal Reproduction*, *15*(1), 805–821. <https://doi.org/10.21451/1984-3143-AR2018-0045>
- Wiltbank, M. C., Monteiro, P. L. J., Domingues, R. R., Andrade, J. P. N., & Mezera, M. A. (2023). Review: Maintenance of the ruminant corpus luteum during pregnancy: interferon-tau and beyond. *Animal*, *17*, 100827. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.100827>
- Yenuganti, V. R., Viergutz, T., & Vanselow, J. (2016). Oleic acid induces specific alterations in the morphology, gene expression and steroid hormone

- production of cultured bovine granulosa cells. *General and Comparative Endocrinology*, 232, 134–144. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2016.04.020>
- Yu, J., Liu, C., Chen, H., Xiang, M., Hu, X., Zhong, Z., Liu, Q., Wang, D., & Cheng, L. (2024). Transcriptomic analysis of bovine endometrial epithelial cells in response to interferon tau and hormone stimulation. *Frontiers in Veterinary Science*, 11, 1344259. <https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1344259>
- Zeng, X., Li, S., Liu, L., Cai, S., Ye, Q., Xue, B., Wang, X., Zhang, S., Chen, F., Cai, C., Wang, F., & Zeng, X. (2023). Role of functional fatty acids in modulation of reproductive potential in livestock. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 14(1), 24. <https://doi.org/10.1186/s40104-022-00818-9>
- Zhang, F., Nan, X., Wang, H., Zhao, Y., Guo, Y., & Xiong, B. (2020). Effects of propylene glycol on negative energy balance of postpartum dairy cows. *Animals*, 10(9), 1–15. <https://doi.org/10.3390/ani10091526>
- Zhang, N., Wang, L., Luo, G., Tang, X., Ma, L., Zheng, Y., Liu, S., Price, C. A., & Jiang, Z. (2019). Arachidonic acid regulation of intracellular signaling pathways and target gene expression in bovine ovarian granulosa cells. *Animals*, 9(6), 374. <https://doi.org/10.3390/ani9060374>
- Zhou, X., Mo, Z., Li, Y., Huang, L., Yu, S., Ge, L., Hu, Y., Shi, S., Zhang, L., Wang, L., Gao, L., Yang, G., & Chu, G. (2022). Oleic acid reduces steroidogenesis by changing the lipid type stored in lipid droplets of ovarian granulosa cells. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 13(1), 27. <https://doi.org/10.1186/s40104-021-00660-5>
- Zolini, A. M., Block, J., Rabaglino, M. B., Rincon, G., Hoelker, M., Bromfield, J. J., Salilew-Wondim, D., & Hansen, P. J. (2020). Genes associated with survival of female bovine blastocysts produced in vivo. *Cell and Tissue Research*, 382(3), 665–678. <https://doi.org/10.1007/s00441-020-03257-y>