



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO**  
**DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA, INVESTIGACIÓN**  
**Y SERVICIO EN ZOOTECNIA**  
**POSGRADO EN PRODUCCIÓN ANIMAL**

**APLICACIÓN PARENTERAL DE CALOSTRO Y COMPORTAMIENTO**  
**REPRODUCTIVO DE VACAS HOLSTEIN INSEMINADAS A TIEMPO**  
**PROGRAMADO**

**TESIS**

Que como requisito parcial  
para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA**

Presenta:

**EDNA MARIANA PALACIOS MARTÍNEZ**

Bajo la supervisión de: **Constantino Romero Márquez, M.C.**



**APROBADA**

Chapingo, Estado de México, marzo de 2025



**APLICACIÓN PARENTERAL DE CALOSTRO Y  
COMPORTAMIENTO REPRODUCTIVO DE VACAS HOLSTEIN  
INSEMINADAS A TIEMPO PROGRAMADO**

Tesis realizada por **EDNA MARIANA PALACIOS MARTÍNEZ** bajo la supervisión  
del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito  
parcial para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA**

**DIRECTOR:**



---

**M. C. CONSTANTINO ROMERO MÁRQUEZ**

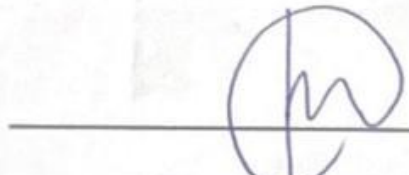
**ASESOR:**



---

**Ph. D. AGUSTÍN RUÍZ FLORES**

**ASESOR:**



---

**Ph. D. JOSÉ GUADALUPE GARCÍA MUÑIZ**

## CONTENIDO

|                                                                    |      |
|--------------------------------------------------------------------|------|
| LISTA DE CUADROS .....                                             | vi   |
| LISTA DE FIGURAS .....                                             | viii |
| DEDICATORIA .....                                                  | ix   |
| AGRADECIMIENTOS.....                                               | x    |
| DATOS BIOGRÁFICOS.....                                             | xi   |
| 1. INTRODUCCIÓN GENERAL .....                                      | 1    |
| 2. REVISIÓN DE LITERATURA.....                                     | 3    |
| 2.1. Composición del calostro .....                                | 3    |
| 2.1.1 Inmunoglobulinas.....                                        | 3    |
| Concentración de inmunoglobulinas en suero sanguíneo.....          | 5    |
| 2.1.2. Proteínas y péptidos bioactivos .....                       | 5    |
| 2.1.3. Vitaminas y minerales.....                                  | 6    |
| 2.2. Funciones del calostro en vacas .....                         | 7    |
| 2.2.1. Transferencia de inmunidad .....                            | 7    |
| 2.2.2. Efectos metabólicos.....                                    | 8    |
| 2.3. Aplicaciones clínicas del calostro en vacas.....              | 8    |
| 2.4. Aplicaciones de calostro en bovinos lecheros .....            | 9    |
| 2.4.1. Efectos del calostro en el comportamiento reproductivo..... | 9    |
| Relación con la tasa de concepción.....                            | 9    |
| Cambios hormonales .....                                           | 10   |

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Efectos en la ovulación .....                                                    | 11 |
| 2.5 Proestro prolongado en vacas.....                                            | 11 |
| 2.5.1. Factores que inducen el proestro prolongado.....                          | 12 |
| Factores de Manejo .....                                                         | 13 |
| 2.5.2. Implicaciones en el ciclo reproductivo.....                               | 13 |
| Folículos persistentes.....                                                      | 13 |
| Deficiencias nutricionales.....                                                  | 14 |
| Impacto en la fertilidad .....                                                   | 14 |
| Estrategias de manejo.....                                                       | 14 |
| Efectos económicos .....                                                         | 15 |
| Variabilidad genética .....                                                      | 15 |
| Condiciones ambientales .....                                                    | 15 |
| 2.6. Sincronización del celo.....                                                | 15 |
| 2.6.1. Protocolo ovsynch 56.....                                                 | 16 |
| Ventajas del protocolo ovsynch 56.....                                           | 16 |
| Aplicaciones prácticas.....                                                      | 17 |
| Limitaciones del protocolo.....                                                  | 17 |
| 2.6.2. Uso de CIDR.....                                                          | 17 |
| Protocolo de administración del CIDR .....                                       | 17 |
| Importancia del CIDR en el control del ciclo reproductivo .....                  | 18 |
| 2.7. Variables metabólicas y hormonales en vacas reproductivas .....             | 18 |
| 2.7.1. Temperatura corporal .....                                                | 19 |
| 2.7.2. Concentración de betahidroxibutirato ( $\beta$ HB) en suero sanguíneo ... | 19 |

|                                                                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.8. Parámetros hormonales .....                                                                                                | 20 |
| 2.9. Literatura citada.....                                                                                                     | 21 |
| 3. APLICACIÓN PARENTERAL DE CALOSTRO Y COMPORTAMIENTO<br>REPRODUCTIVO DE VACAS HOLSTEIN INSEMINADAS A TIEMPO<br>PROGRAMADO..... | 27 |
| 3.1 Resumen .....                                                                                                               | 27 |
| 3.2 Abstract .....                                                                                                              | 28 |
| 3.3 Introducción.....                                                                                                           | 29 |
| 3.4 Materiales y métodos .....                                                                                                  | 30 |
| 3.5 Análisis estadístico .....                                                                                                  | 34 |
| 3.5 Resultados y discusión.....                                                                                                 | 37 |
| 3.6 Conclusiones.....                                                                                                           | 49 |
| 3.7 Literatura citada.....                                                                                                      | 49 |

## LISTA DE CUADROS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Cuadro 1. Estadísticos descriptivos para variables registradas en el periodo experimental, de vacas Holstein en confinamiento recibiendo inyecciones subcutáneas de solución salina o calostro en Chapingo, Estado de México. ...                                                                                                                                                                                       | 38 |
| Cuadro 2. Nivel de significancia (probabilidad) de los efectos fijos y las covariables del modelo de mejor ajuste, para las variables porcentaje de .....                                                                                                                                                                                                                                                               | 39 |
| Cuadro 3. Medias de cuadrados mínimos ( $\pm$ e.e.) para los efectos fijos de tratamiento y coeficientes de regresión de las covariables del modelo de mejor ajuste, para las variables porcentaje de gestación a los 35 (PG35d) y 85 (PG85d) d post inseminación de vacas Holstein en confinamiento recibiendo inyecciones subcutáneas de solución salina o calostro en Chapingo, Estado de México. .                  | 40 |
| Cuadro 4. Nivel de significancia (probabilidad) de los efectos fijos y las covariables del modelo de mejor ajuste, para las variables número y tamaño promedio de folículos preovulatorios a la inseminación artificial (IA), de vacas Holstein en confinamiento recibiendo inyecciones subcutáneas de solución salina o calostro en Chapingo, Estado de México.....                                                    | 42 |
| Cuadro 5. Medias de cuadrados mínimos ( $\pm$ e.e.) para los efectos fijos de tratamiento y coeficientes de regresión de las covariables del modelo de mejor ajuste, para las variables número y tamaño promedio de folículos preovulatorios a la inseminación artificial (IA), de vacas Holstein en confinamiento recibiendo inyecciones subcutáneas de solución salina o calostro en Chapingo, Estado de México. .... | 42 |
| Cuadro 6. Nivel de significancia (probabilidad) de los efectos fijos del modelo de mejor ajuste, para temperatura rectal ( $^{\circ}$ C), inmunoglobulinas totales en suero sanguíneo (mg/mL) y $\beta$ -hidroxibutirato en suero (mmol/L) de vacas Holstein en confinamiento recibiendo inyecciones subcutáneas de solución salina o calostro en Chapingo, Estado de México. ....                                      | 46 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Cuadro 7. Coeficientes ( $\pm$ error estándar) de la regresión fija por tratamiento para temperatura rectal ( $^{\circ}\text{C}$ ), inmunoglobulinas totales en suero (mg/mL) y $\beta$ -hidroxibutirato en suero (mmol/L) de vacas Holstein en confinamiento recibiendo inyecciones subcutáneas de solución salina o calostro en Chapingo, Estado de México. .... | 46 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Programa de aplicación de inyecciones subcutáneas de calostro o solución salina, toma de muestra de sangre y temperatura rectal en Chapingo, Estado de México. ....                                                                                                                                                                                                  | 32 |
| Figura 2. Esquema cronológico del protocolo Ovsynch 56-CIDR e Inseminación Artificial en Chapingo, Estado de México.....                                                                                                                                                                                                                                                       | 33 |
| Figura 3. Valores observados (círculos) y líneas de regresión predichas para las covariables número de folículos preovulatorios al inicio del experimento (panel superior) y tamaño promedio de folículos preovulatorios al inicio del experimento (panel inferior en Chapingo. Estado de México. ....                                                                         | 43 |
| Figura 4. Valores y líneas de tendencia observados (azul para calostro, rojo para solución salina) para temperatura rectal, inmunoglobulinas totales y concentración de $\beta$ -hidroxibutirato en suero sanguíneo de vacas Holstein en confinamiento total en Chapingo, Estado de México. ....                                                                               | 44 |
| Figura 5. Valores observados (círculos), líneas predichas de la regresión fija por tratamiento y regresiones aleatorias por vaca (azul para calostro, rojo para solución salina) para temperatura rectal, inmunoglobulinas totales y concentración de $\beta$ -hidroxibutirato en suero sanguíneo de vacas Holstein en confinamiento total en Chapingo, Estado de México. .... | 48 |

## **DEDICATORIA**

A mi mamá, por su amor incondicional

A Sol, por iluminar mi vida

A Roque, por ser mi cómplice

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnologías (Conahcyt) por el financiamiento otorgado.

Al Posgrado en Producción Animal por brindarme la oportunidad y el apoyo para realizar mis estudios de maestría.

Al M. C. Constantino Romero Márquez, por su dirección, enseñanzas y consejos.

Al Dr. José Guadalupe García Muñiz, por su tiempo, por su apoyo, comprensión y colaboración en la realización de esta tesis.

Al Dr. Agustín Ruíz Flores, por su paciencia y sus consejos durante mi estancia en el PPA.

Al M. C. J. Guadalupe Ávila Ontiveros por sus enseñanzas y consejos.

A Don Gerardo Piloni, por su paciencia, por su apoyo, por su tiempo, su comprensión y sus consejos recibidos durante la realización de mi experimento.

Al M. C. Alfredo Rodríguez Moreno por su tiempo, por sus consejos y disposición de apoyo.

Al Ing. Mijail Polanco, por su apoyo y su gracia al momento de enseñar.

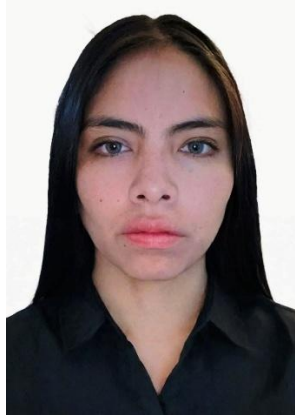
A la Ing. Rosalinda Peralta Jaimes, por su colaboración en mi experimento, por ser una fuente constante de motivación, por ser ella.

A Naila Sánchez por su apoyo, por sus risas y su capacidad de encontrar diversión en cualquier situación.

A Andrés Garza por su amabilidad, su tiempo y su constante apoyo.

A Fernando Santiago, por su disposición para apoyarme y sus conocimientos compartidos.

## DATOS BIOGRÁFICOS



---

---

### Datos personales

|                     |                                              |
|---------------------|----------------------------------------------|
| Nombre              | Edna Mariana Palacios Martínez               |
| Fecha de nacimiento | 20 de noviembre de 1998                      |
| Lugar de nacimiento | Estado de México, México                     |
| CURP                | PAME981120MMCLRD09                           |
| Profesión           | Ingeniera Agrónoma Especialista en Zootecnia |
| Cédula Profesional  | 13176661                                     |

---

---

### Desarrollo académico

|                                     |                                                                                                       |
|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Maestría en Ciencias<br>(2023-2024) | DEIS en Zootecnia<br>Posgrado en Producción Animal<br>Universidad Autónoma Chapingo                   |
| Licenciatura<br>(2017-2021)         | Ingeniera Agrónoma especialista en<br>Zootecnia<br>DEIS en Zootecnia<br>Universidad Autónoma Chapingo |

## 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

La eficiencia reproductiva de las vacas Holstein impacta directamente la rentabilidad de los sistemas de producción ganadera. Para abordar problemas relacionados con la reproducción, se han implementado diversas estrategias de sincronización del ciclo estral. Una de las técnicas más efectivas es el uso del dispositivo de liberación controlada de progesterona (CIDR), que suministra progesterona de forma constante, ayudando a regular el ciclo reproductivo y facilitando la programación de la inseminación artificial (IA) (Lucy & Butter, 2016). La sincronización mediante CIDR optimiza el momento de la ovulación, mejorando las tasas de concepción, reduciendo los días abiertos y favoreciendo el desempeño reproductivo de las vacas (Rhodes et al., 2014b). Otros estudios han corroborado estos resultados, destacando la importancia del manejo hormonal en la mejora de la eficiencia reproductiva (Pursley et al., 1997a; Bisinotto & Santos, 2012).

El monitoreo y manejo adecuado del comportamiento reproductivo permite identificar oportunamente el celo, aplicar correctamente los tratamientos hormonales y mejorar la precisión en la aplicación de la IA (Santos & Thatcher, 2018). A pesar de estas estrategias, aún persisten desafíos relacionados con la salud inmunológica y la eficiencia reproductiva del ganado bovino. La salud inmunológica es fundamental para el desempeño reproductivo, ya que un sistema inmunológico fortalecido puede reducir la incidencia de enfermedades y complicaciones posparto (Miller et al., 1999).

Una alternativa que ha sido estudiada es la administración de calostro vía parenteral como estrategia para fortalecer el sistema inmunológico y mejorar el desempeño reproductivo en vacas sincronizadas. El calostro es la primera secreción láctea producida por las vacas después del parto y es rica en inmunoglobulinas, factores de crecimiento y nutrientes esenciales (Godden, 2008). Báez y Cuahutle (2006) demostraron que la aplicación subcutánea de calostro bovino en vacas posparto disminuyó en un 30% el tiempo de involución uterina, en un 80% la presencia de fluidos en el útero y en un 45% los días

abiertos comparadas con el grupo control. Además, Fernández y Zambrano (2017) evaluaron la administración subcutánea de calostro en vacas Holstein en los primeros 42 días posparto, reportando una reducción en el tiempo al primer servicio, mejoras en los porcentajes de gestación acumulados a los 100 y 150 días, y un aumento en los niveles de inmunoglobulinas (Ig) en el suero sanguíneo, contribuyendo al fortalecimiento del sistema inmunológico de las vacas en esta etapa.

El potencial del calostro para mejorar la salud y el desempeño reproductivo de las vacas ha llevado a investigar su uso en diversas fases del ciclo reproductivo. Investigaciones adicionales han explorado el impacto del calostro en la reducción de la mortalidad neonatal y la mejora del crecimiento en terneros (Godden et al., 2012), así como su efecto en la salud general del hato (Chigerwe et al., 2008).

En este estudio, se evaluó el impacto de la aplicación subcutánea de calostro en la concentración de biomoléculas presentes en el suero sanguíneo, la efectividad de los protocolos de sincronización de ovulación en vacas Holstein con proestro prolongado y los porcentajes de gestación a 35 y 85 d.

El Capítulo 2 presenta una revisión bibliográfica sobre la administración de calostro en la fertilidad de vacas Holstein sincronizadas.

En el Capítulo 3 se exponen los resultados obtenidos respecto a la aplicación subcutánea de calostro, su efecto en biomarcadores del suero sanguíneo y los porcentajes de gestación a los 35 y 85 d en vacas lecheras.

## **2. REVISIÓN DE LITERATURA**

La reproducción eficiente en bovinos es decisiva para optimizar la producción lechera, ya que facilita la renovación del hato y contribuye a mejorar su calidad genética, impactando directamente la rentabilidad y sostenibilidad del sistema productivo. No obstante, diversos elementos tanto internos como externos pueden influir en este proceso. Aspectos como la genética, la alimentación, el estado de salud, las prácticas de manejo, las condiciones ambientales, el estrés, así como la presencia de enfermedades y parásitos, afectan distintas fases reproductivas, incluyendo el ciclo estral, la ovulación, la fertilización, la gestación y el parto (Jurado, 2020).

### **2.1. Composición del calostro**

El calostro es el primer alimento que ingieren los terneros al nacer, es un líquido espeso y amarillento, caracterizado por su alta concentración de nutrientes y compuestos bioactivos, entre los que sobresalen las Ig (Elizondo-Salazar, 2007). Además de éstas, el calostro también aporta vitaminas, minerales, factores de crecimiento y células inmunitarias, esenciales para el desarrollo temprano del ternero (Matamala, 2014). Su composición varía según diversos factores, como raza, alimentación y manejo (Schogor et al., 2020).

#### **2.1.1 Inmunoglobulinas**

Las Ig son proteínas fundamentales en la respuesta inmune de los terneros recién nacidos. Debido a la estructura epiteliocorial de la placenta bovina, los anticuerpos maternos no pueden atravesarla durante la gestación, lo que impide que el feto adquiera inmunidad antes del nacimiento. Como resultado, los terneros nacen sin defensas adquiridas y son altamente vulnerables a infecciones en sus primeras horas de vida, dependiendo de la ingesta de calostro para recibir esta protección inicial (Elizondo-Salazar, 2007).

El calostro es una fuente rica en Ig, entre las que predominan tres tipos: IgG, IgA e IgM. La IgG, la más abundante, desempeña un papel clave en la neutralización

de patógenos y la defensa sistémica del neonato. Por su parte, la IgA contribuye a la protección de las mucosas, mientras que la IgM es esencial para la respuesta inmune primaria frente a nuevas infecciones (Schogor et al., 2020). Estas Ig proporcionan inmunidad pasiva a los terneros, resguardándolos contra infecciones bacterianas y virales durante sus primeros días de vida (González & Martínez, 2018). De acuerdo con Elizondo-Salazar (2007), la absorción de estas proteínas ocurre principalmente en las primeras 24 h posteriores al nacimiento, un período crítico para la supervivencia del animal.

La IgG, presente en mayor proporción en el calostro, no solo neutraliza toxinas y virus, también facilita la eliminación de bacterias al promover su destrucción por células fagocíticas (Matamala, 2014). Por otro lado, la IgA, aunque en menor cantidad, desempeña un papel clave en la protección de las mucosas del tracto digestivo, respiratorio y urogenital del ternero (El-Loly, 2007). Según Silva del Río y Rodríguez (2016), esta Ig contribuye a evitar la adhesión de patógenos a las superficies mucosas, disminuyendo así el riesgo de infecciones entéricas y respiratorias.

Investigaciones como la de Schogor et al. (2020) destacan la elevada calidad inmunológica del calostro bovino y su importancia en la prevención de enfermedades en los terneros. Asegurar que éstos reciban una cantidad adecuada de calostro poco después del nacimiento es esencial para su salud y desarrollo óptimo. Además, estudios como el de Reis et al. (2017) han evidenciado que la administración de calostro de buena calidad reduce de manera significativa la incidencia de enfermedades neonatales y mejora tanto la tasa de supervivencia como el crecimiento de los terneros.

Más allá del impacto en los terneros, la calidad del calostro también influye en la salud y fertilidad de las vacas. Se ha observado que vacas con una mejor salud general, derivada de una adecuada transferencia de inmunidad a través del calostro, presentan un desempeño reproductivo más eficiente (Elizondo-Salazar, 2007). Sánchez (2019) señala que la administración de calostro vía parenteral puede mejorar los índices de fertilidad en vacas sometidas a protocolos de

sincronización reproductiva, al generar un ambiente uterino más propicio para la implantación embrionaria.

Asimismo, la relación entre el calostro y la fertilidad bovina ha sido documentada por Silva del Río y Rodríguez (2016), quienes encontraron que los terneros que recibieron calostro de alta calidad mostraron un mejor desarrollo y mayores tasas de supervivencia, lo que posteriormente se reflejó en una mayor capacidad reproductiva en su etapa adulta. Estos hallazgos refuerzan la importancia de una correcta administración del calostro no solo en el desarrollo inicial de los terneros, sino también en su desempeño reproductivo a largo plazo.

### **Concentración de inmunoglobulinas en suero sanguíneo**

Las concentraciones de Ig en el suero sanguíneo de vacas Holstein pueden variar en función de diversos factores, como el estado de salud del animal, la alimentación y el manejo del calostro (Smith, 2009).

En algunos estudios se ha observado que los niveles de Ig en suero presentan fluctuaciones, siendo la IgG la más abundante, con valores que generalmente oscilan entre 20 y 30 mg/mL, mientras que las concentraciones de IgM e IgA suelen ser menores (Jones et al., 2011). En cuanto a las concentraciones totales de Ig presentes en el calostro de vacas Holstein, su rango varía entre 10 y 140 mg/mL, con un valor promedio estimado de 85 mg/mL (Leyan et al., 2004). El método de extracción de la muestra afecta la concentración de Ig en el suero sanguíneo (Brown & Taylor, 2013).

#### **2.1.2. Proteínas y péptidos bioactivos**

Caseína. Es la principal fracción proteica presente en el calostro bovino, desempeña un papel fundamental en el crecimiento y desarrollo del ternero. Su capacidad para formar micelas facilita la digestión y mejora la absorción de calcio y fósforo en el tracto digestivo. Además, actúa como un transportador de péptidos bioactivos y minerales esenciales, favoreciendo el desarrollo temprano del ternero (Guzmán, 2017).

Lactoglobulina y lactoalbúmina. Estas proteínas del suero se encuentran en altas concentraciones en el calostro y cumplen funciones clave en la salud del neonato. La lactoglobulina posee propiedades antioxidantes que protegen las células del daño por estrés oxidativo, mientras que la lactoalbúmina es una fuente rica en aminoácidos esenciales necesarios para el crecimiento. Además, ambas proteínas tienen un impacto positivo en la modulación del sistema inmune, favoreciendo la respuesta inmunológica del ternero (Benezra, 2019).

Lactoferrina. Esta proteína destaca por sus propiedades antimicrobianas, ya que inhibe el crecimiento bacteriano al unirse al hierro, un elemento esencial para el metabolismo de las bacterias. También posee efectos antiinflamatorios y contribuye a la reparación de tejidos. La presencia de lactoferrina en el calostro se asocia con una mejora en la salud general de los terneros, reduciendo la incidencia de enfermedades infecciosas (González & Martínez, 2018).

El consumo de calostro de alta calidad no solo beneficia a los terneros, ya que también afecta positivamente la salud y metabolismo de las vacas. Se ha observado que reduce la prevalencia de enfermedades metabólicas y mejora la eficiencia reproductiva. Los péptidos bioactivos y proteínas presentes en el calostro fortalecen el sistema inmunológico de las vacas, lo que facilita su recuperación postparto y contribuye a mantener una óptima salud reproductiva (Reis et al., 2017).

### **2.1.3. Vitaminas y minerales**

El calostro es una fuente altamente concentrada de vitaminas y minerales esenciales que influyen tanto en la salud general como en el rendimiento reproductivo de las vacas. Entre las vitaminas liposolubles presentes en el calostro, la A es clave para el desarrollo del sistema inmunológico y la salud ocular; la D favorece la absorción de calcio y fósforo, fundamentales para el mantenimiento de una estructura ósea fuerte; la E actúa como un antioxidante que refuerza la resistencia a enfermedades y promueve el bienestar general,

mientras que la K desempeña un papel crucial en la coagulación sanguínea (Sanjoaquin et al., 2024).

Maldonado (2023) destaca que el calostro también contiene vitaminas del complejo B, como la tiamina, la riboflavina y la piridoxina, esenciales para el metabolismo y la producción de energía. Además, es una fuente rica en calcio y fósforo, minerales imprescindibles para el desarrollo óseo, así como otros elementos fundamentales para la salud y el desempeño reproductivo, entre ellos sodio, zinc, hierro, azufre, manganeso y selenio.

La calidad del calostro no solo fortalece la respuesta inmune contra infecciones, sino que también favorece la recuperación postparto en las vacas. Esto se refleja en ciclos reproductivos más eficientes, con intervalos reducidos entre partos y una mejora en las tasas de concepción (Guzmán, 2017).

## **2.2. Funciones del calostro en vacas**

### **2.2.1. Transferencia de inmunidad**

La transferencia de inmunidad pasiva permite que los terneros adquieran anticuerpos maternos a través del calostro, brindándoles protección inmediata contra patógenos para su supervivencia y desarrollo (Arrollo & Elizondo, 2014).

### **Administración de calostro parenteral a terneros**

La administración de calostro vía parenteral es una estrategia eficaz cuando los terneros no pueden ingerir una cantidad suficiente de calostro de forma natural, ya sea por dificultades en la lactancia o por una producción insuficiente de la madre. Este método garantiza el suministro adecuado de Ig y otros compuestos bioactivos esenciales, fortaleciendo la respuesta inmune del ternero y reduciendo la incidencia de enfermedades (Fleenor & Stott, 1980).

Al recibir una cantidad óptima de Ig y bioactivos a través de esta vía, los terneros adquieren una inmunidad pasiva sólida que les protege frente a diversos patógenos. En algunas investigaciones se ha observado que aquellos que reciben calostro parenteral presentan menores tasas de mortalidad y morbilidad

comparados con los que no logran una transferencia eficiente de inmunidad pasiva (Sasaki et al., 1977).

El fortalecimiento del sistema inmunológico en los terneros también mejora su resistencia a infecciones bacterianas y virales, reduciendo la dependencia de antibióticos y otras intervenciones médicas. Esto contribuye a una salud más equilibrada y sostenible en la crianza de los animales (Moreno-Reséndez & González, 2015).

### **2.2.2. Efectos metabólicos**

El calostro desempeña un papel fundamental en el metabolismo de los lípidos y la glucosa, ya que contiene ácidos grasos esenciales imprescindibles para el crecimiento del ternero y la eficiencia metabólica de las vacas. Su consumo contribuye a una mayor producción de leche y favorece la recuperación tras el parto (Fleenor & Stott, 1980). La regulación del metabolismo lipídico es clave para la fertilidad, dado que estos ácidos grasos ayudan a mantener un equilibrio hormonal óptimo, indispensable para la ovulación, la concepción y la prevención de enfermedades metabólicas como la cetosis (Sasaki et al., 1977).

Asimismo, el calostro provee glucosa y otros carbohidratos esenciales para el metabolismo energético. La glucosa actúa como una fuente rápida de energía que garantiza el adecuado funcionamiento metabólico en las vacas. Un metabolismo glucémico estable es fundamental para la síntesis y liberación de hormonas reproductivas, asegurando así la energía necesaria para la reproducción y el desarrollo fetal. Por el contrario, cualquier alteración en este equilibrio podría derivar en complicaciones como la hipoglucemia (Arrollo & Elizondo, 2014).

### **2.3. Aplicaciones clínicas del calostro en vacas**

El calostro puede suministrarse por vía parenteral a través de inyecciones en el torrente sanguíneo, lo que facilita la distribución rápida de sus componentes en el organismo. Este método es efectivo en diversas especies, incluyendo cerdos, caballos, perros, gatos y ratones, para prevenir y tratar infecciones,

inflamaciones, alergias, úlceras, anemia, diabetes, artritis, osteoporosis y cáncer (Pakkanen & Aalto, 2011).

Sánchez (2019) identificó que los terneros que recibieron calostro vía parenteral tuvieron una mayor tasa de supervivencia y crecimiento comparados con los que no lo recibieron. De manera similar, en otro estudio se evidenció que esta forma de administración redujo significativamente la incidencia de enfermedades respiratorias y digestivas en los terneros, promoviendo su bienestar y favoreciendo un desarrollo más saludable (Fleenor & Stott, 1980).

Según Arrollo y Elizondo (2014), los terneros que recibieron calostro parenteral tuvieron una respuesta inmunológica más robusta, lo que resultó en una menor prevalencia de enfermedades infecciosas y un incremento en su tasa de crecimiento. Esto sugiere que la administración parenteral de calostro puede ser una estrategia eficaz para optimizar la productividad en los sistemas lecheros.

Por otro lado, Sasaki et al. (1977) evidenciaron que la transferencia de Ig mediante la aplicación parenteral de calostro tuvo un impacto positivo en la salud de los terneros, reduciendo significativamente la mortalidad neonatal.

## **2.4. Aplicaciones de calostro en bovinos lecheros**

El calostro no solo es determinante para la salud y el desarrollo de los terneros, sino que también tiene un impacto significativo en la tasa de concepción de las vacas lecheras (Sánchez, 2019).

### **2.4.1. Efectos del calostro en el comportamiento reproductivo**

#### **Relación con la tasa de concepción**

Robles (2019) determinó que una adecuada administración de calostro contribuye significativamente a la salud reproductiva de las vacas, aumentando la tasa de concepción. La calidad del calostro juega un papel clave en este proceso, ya que la concentración de Ig y otros nutrientes esenciales incide directamente en la capacidad de la vaca para concebir y llevar a término una gestación de manera óptima.

Asimismo, se ha observado que la administración de calostro favorece la recuperación postparto. García (2016) observó que las vacas que recibieron calostro de alta calidad experimentaron una recuperación más rápida y una mejora en su salud reproductiva, lo que se reflejó en mayores tasas de concepción en los ciclos posteriores. Pérez et al. (2018) encontraron que los hatos suplementados con calostro de óptima calidad presentaron una reducción en la incidencia de enfermedades y trastornos reproductivos, lo que se tradujo en un aumento general en la tasa de concepción del hato.

### **Cambios hormonales**

El calostro contiene diversos compuestos bioactivos, incluidas hormonas como el estrógeno y la progesterona, que desempeñan un papel clave en la regulación del ciclo reproductivo al influir en la actividad ovárica. Báez y Fernández (2018) señalaron que la administración de calostro contribuye a un mejor equilibrio hormonal, mostrando un aumento de la tasa de concepción en vacas lecheras. La presencia de estas hormonas en el calostro resulta fundamental para garantizar una función reproductiva óptima.

El estrógeno regula el desarrollo del folículo ovárico y prepara el útero para la implantación embrionaria (Báez & Fernández, 2018). Por su parte, la progesterona es crucial para mantener la gestación, ya que garantiza que el endometrio esté en condiciones óptimas para recibir y nutrir al embrión. García et al. (2016) indicaron que la administración de calostro con alto contenido de progesterona puede favorecer la estabilidad de la preñez y disminuir la incidencia de pérdidas gestacionales.

Además, Fernández y Zambrano (2017) evaluaron la aplicación subcutánea de calostro en vacas Holstein durante los primeros 42 d postparto y observaron una reducción en el intervalo hasta el primer servicio, así como mejoras en los porcentajes acumulados de gestación a los 100 y 150 d. También se registró un aumento en los niveles de Ig en el suero sanguíneo, lo que fortaleció el sistema inmune de las vacas en el periodo posparto.

## **Efectos en la ovulación**

Báez y Fernández (2018) determinaron que las vacas que recibieron calostro presentaron una mayor tasa de ovulación, lo que favoreció una mayor eficiencia reproductiva. Esto se debe a que el calostro estimula la producción de hormonas esenciales para la ovulación y la reproducción, asegurando que las vacas mantengan ciclos reproductivos regulares y exitosos.

Según Sánchez (2019), la administración de calostro contribuye a reducir el intervalo entre partos y optimizar la fertilidad general del rebaño. Además, su contenido de factores de crecimiento influye positivamente en la maduración de los folículos ováricos y en la mejora de la calidad de los óvulos, lo que refuerza su impacto en la eficiencia reproductiva (Pérez et al., 2018).

El efecto del calostro no se limita únicamente a la ovulación y la regulación hormonal, sino que también influye en otros aspectos del comportamiento reproductivo. Su administración mejora la salud general de las vacas, lo que repercute en un mejor desempeño reproductivo. Asimismo, en vacas en periodo posparto, el suministro de calostro fortaleció la respuesta inmunitaria y disminuyó la incidencia de enfermedades, lo que incrementó las tasas de concepción (Pérez et al., 2018).

## **2.5 Proestro prolongado en vacas**

El proestro prolongado en vacas se define como un período anormalmente extenso dentro del ciclo estral, en el cual los animales exhiben comportamientos de estro sin que se produzca la ovulación (Rivera et al., 2016). Durante esta fase, las vacas pueden manifestar signos de celo en múltiples ocasiones sin que ocurra la liberación de óvulos, lo que genera dificultades en la concepción y reduce la eficiencia reproductiva (Adams & Jaiswal, 2008).

Entre las principales características de este trastorno se encuentra un comportamiento de celo persistente y prolongado, donde las vacas continúan mostrando receptividad al macho durante un tiempo extendido sin que ocurra la ovulación (Gordon, 2013). Este fenómeno suele relacionarse con un desequilibrio

hormonal, específicamente con niveles inadecuados de hormona luteinizante (LH) y otros reguladores reproductivos, los cuales impiden la maduración y posterior liberación del folículo (Ginther, 2017).

La duración del proestro prolongado varía entre individuos y puede afectarse por factores como la nutrición, el manejo y la genética del animal (Hanzen, 2000). Esta alteración en el ciclo reproductivo conlleva intervalos más largos entre partos, lo que repercute negativamente en la producción de leche y disminuye la eficiencia general del hato (Pursley et al., 2001).

### **2.5.1. Factores que inducen el proestro prolongado**

El desequilibrio hormonal es una de las principales causas del proestro prolongado en vacas, ya que la hormona luteinizante (LH) y el estrógeno desempeñan un papel fundamental en la regulación del ciclo estral. Un nivel insuficiente de LH impide la maduración del folículo y la ovulación, lo que provoca la prolongación del proestro (Adams & Jaiswal, 2008). Según Ginther y Beg (1999), cuando los niveles de estrógeno se mantienen elevados sin una liberación correspondiente de LH, se genera un estado de estro prolongado sin ovulación, lo que incrementa los intervalos entre partos y reduce la eficiencia reproductiva.

Las anomalías en los ovarios también pueden contribuir al desarrollo del proestro prolongado. La presencia de quistes ováricos o folículos persistentes interfiere con la liberación normal de óvulos, lo que extiende el periodo de estro sin ovulación (Ginther, 2017). Estos quistes pueden originarse por factores como el estrés, desequilibrios hormonales y condiciones de manejo inadecuadas. Además, la permanencia de folículos persistentes promueve una producción continua de estrógenos, lo que prolonga aún más el estado de estro (Ginther & Beg, 1999).

Otro factor relevante es la deficiencia de nutrientes esenciales en la dieta, lo cual puede alterar el equilibrio hormonal y comprometer la salud del sistema reproductivo (Hanzen, 2000). Una alimentación inadecuada puede afectar la

producción y liberación de hormonas claves para el ciclo estral, impactando negativamente la fertilidad y la eficiencia reproductiva del hato.

### **Factores de Manejo**

El estrés es un factor determinante en la prolongación del proestro, ya que situaciones como un manejo inadecuado, el transporte y cambios en el ambiente pueden afectar la producción hormonal y la ovulación (Pursley et al., 2001). El estrés crónico genera un aumento en los niveles de cortisol, lo que inhibe la liberación de LH y compromete la función ovárica. Por ello, la implementación de estrategias de manejo enfocadas en minimizar el estrés ha demostrado ser efectiva para reducir la incidencia de proestro prolongado (Romero et al., 2020).

Las condiciones de manejo también influyen en la eficiencia reproductiva, ya que una gestión deficiente puede llevar a una detección tardía del celo y a inseminación artificial no óptima. La aplicación de prácticas de manejo adecuadas, como el monitoreo regular del ciclo estral y la administración de tratamientos hormonales específicos, favorece una mejor detección del celo y un aumento en la tasa de concepción (Rivera et al., 2016).

Otro factor relevante es la predisposición genética, ya que ciertas líneas genéticas presentan mayor propensión a desarrollar problemas reproductivos, incluido el proestro prolongado. La selección genética adecuada se ha identificado como una estrategia eficaz para reducir la incidencia de este trastorno (Gordon, 2013). Algunas razas de carne, como Angus y Hereford, así como algunas lecheras, como Holstein, han mostrado una mayor predisposición a desequilibrios hormonales y problemas reproductivos, entre ellos el proestro prolongado. La selección genética puede contribuir significativamente a la disminución de estos problemas en el hato (Guzmán, 2022).

### **2.5.2. Implicaciones en el ciclo reproductivo**

#### **Folículos persistentes**

Pueden originarse por factores como el estrés, desequilibrios hormonales y condiciones de manejo inadecuadas (Andrade, 2016). Cuando la producción de

estrógenos se mantiene de forma continua sin una liberación correspondiente de LH, el ciclo reproductivo se vuelve ineficiente y la fertilidad disminuye (Ginther & Beg, 1999). Asimismo, la presencia de quistes ováricos vinculados a folículos persistentes genera irregularidades en el ciclo estral y afecta negativamente la salud reproductiva del animal (Ginther et al., 2017).

### **Deficiencias nutricionales**

Una dieta deficiente en nutrientes esenciales puede alterar el equilibrio hormonal y perjudicar la salud general del sistema reproductivo. La suplementación adecuada y balanceada con minerales como Zn y Se es fundamental para preservar la salud reproductiva (Hanzen, 2000). Gordon (2013) realizó un estudio donde se evidenció que la suplementación con Zn y Se mejoró significativamente la regularidad del ciclo estral y aumentó la tasa de concepción en vacas lecheras.

### **Impacto en la fertilidad**

El proestro prolongado impacta negativamente la tasa de concepción, lo que provoca intervalos entre partos más largos y una disminución en la producción tanto de leche como de carne. Además, la presencia de ciclos reproductivos irregulares aumenta los costos de manejo y reduce la eficiencia reproductiva general del hato (Ginther & Beg, 1999). En el estudio realizado por Adams y Jaiswal (2008), se observó que las vacas con proestro prolongado redujeron 20% la tasa de concepción comparadas con las de ciclos estrales normales.

### **Estrategias de manejo**

Un ambiente con bajos niveles de estrés, una nutrición equilibrada y un manejo adecuado de la salud reproductiva son factores clave para optimizar la eficiencia reproductiva en el hato. La implementación de tecnologías de monitoreo del estro, como dispositivos de detección de celo y programas de sincronización hormonal, permite una identificación más precisa del celo y un aumento en la tasa de concepción (Rivera et al., 2016). Asimismo, la capacitación continua del personal en técnicas de detección de celo y manejo reproductivo es fundamental

para mejorar la eficiencia reproductiva y reducir la incidencia de problemas como el proestro prolongado.

### **Efectos económicos**

La reducción en la tasa de concepción y el aumento en los intervalos entre partos afectan directamente la producción de leche y carne, lo que influye negativamente la rentabilidad del hato. Además, los costos derivados de tratamientos médicos y estrategias de manejo para controlar el proestro prolongado pueden representar un gasto significativo (Gordon, 2013). En el estudio de Pursley et al. (2001) se determinó que un manejo eficiente del ciclo estral puede incrementar 15% la rentabilidad al mejorar la eficiencia reproductiva y disminuir los costos asociados con tratamientos.

### **Variabilidad genética**

Algunas líneas genéticas presentan una mayor predisposición a sufrir desequilibrios hormonales y problemas reproductivos (Rivera et al., 2016). La selección genética adecuada contribuye a mitigar estos inconvenientes, optimizando la eficiencia reproductiva del hato. En algunas investigaciones se ha observado que la selección de animales con ciclos estrales regulares y altos índices de fertilidad mejora considerablemente la productividad del rebaño (Hanzen, 2000).

### **Condiciones ambientales**

Factores como la temperatura extrema, la humedad y la calidad del aire afectan el equilibrio hormonal y la función reproductiva (Hanzen, 2000). La adaptación de las prácticas de manejo a las condiciones ambientales reduce los efectos negativos del proestro prolongado.

## **2.6. Sincronización del celo**

La sincronización del celo se realiza comúnmente mediante la administración de hormonas como la prostaglandina F2 alfa ( $\text{PGF}_{2\alpha}$ ) y la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH). La  $\text{PGF}_{2\alpha}$  se emplea para inducir la regresión del cuerpo

lúteo en vacas no gestantes, mientras que la GnRH estimula la ovulación. Este proceso permite que un grupo de vacas entre en celo y ovule de manera sincronizada, lo que facilita la programación de IA a tiempo fijo (IATF) (Lucy & McDougall, 2016). Antes de iniciar cualquier programa de sincronización del celo, es fundamental asegurarse de que las vacas no estén gestantes.

Uno de los protocolos más efectivos en este proceso es el Ovsynch 56, una variante del protocolo Ovsynch clásico, diseñado para inducir un estro ovulatorio y mejorar la eficiencia reproductiva.

#### **2.6.1. Protocolo ovsynch 56**

1. Día 0. Administración de GnRH, esta hormona estimula la liberación de LH y FSH, lo que induce el crecimiento folicular (Pursley et al., 1997b).
2. Día 7. Administración de  $\text{PGF}_{2\alpha}$ , induce la regresión del cuerpo lúteo, permitiendo que los folículos ovulen (Fricke, 2001).
3. Día 9. Segunda administración de GnRH para asegurar la ovulación del folículo dominante (Lucy & McDougall, 2016).
4. Día 10 (16 h después de la segunda administración de GnRH). Se realiza la IA.

Este protocolo se ha modificado para optimizar la sincronización del estro y la ovulación, ajustando el intervalo entre la segunda administración de GnRH y la IA a 56 h, en lugar de las 48 h del protocolo clásico.

#### **Ventajas del protocolo ovsynch 56**

La optimización en la precisión de la sincronización de la ovulación mediante IA permite incrementar la tasa de concepción (Fricke, 2001). Además, este enfoque minimiza el estrés tanto en las vacas como en el personal encargado, ya que elimina la necesidad de una detección visual del celo, simplificando el manejo reproductivo (Pursley et al., 1997b). Asimismo, la programación de la IA se vuelve más predecible y controlada, lo que contribuye a una mayor eficiencia reproductiva en el hato (Lucy & McDougall, 2016).

### **Aplicaciones prácticas**

El protocolo Ovsynch 56 es particularmente benéfico en hatos donde la detección del celo es difícil o ineficaz. Además, se ha comprobado que este método aumenta significativamente las tasas de concepción en vacas que experimentan anestro o presentan ciclos reproductivos irregulares (Pursley et al., 1997a).

### **Limitaciones del protocolo**

Primero, implementar el protocolo implica un incremento en los costos debido a la necesidad de administrar hormonas (Fricke, 2001). Además, su aplicación demanda un manejo intensivo y seguimiento riguroso del calendario hormonal para garantizar su efectividad (Pursley et al., 1997b). Por último, la respuesta al tratamiento puede variar entre las vacas, lo que hace necesario realizar ajustes individuales para optimizar los resultados (Lucy & McDougall, 2016).

### **2.6.2. Uso de CIDR**

El CIDR es un dispositivo intravaginal que libera progesterona de forma controlada y se utiliza tanto en la sincronización del estro como en el tratamiento del anestro en vacas y vaquillas, tanto de carne como de leche. Su uso representa una herramienta fundamental en la gestión reproductiva, ya que permite programar con precisión la IA a tiempo fijo (IATF) y mejorar la eficiencia en los programas de reproducción (Lucy & McDougall, 2016).

### **Protocolo de administración del CIDR**

La preparación del CIDR inicia con su desinfección, siguiendo las recomendaciones del fabricante para garantizar una inserción segura y efectiva. Luego, el dispositivo se introduce en la vagina mediante un aplicador, asegurando su correcta posición para la liberación controlada de progesterona. Durante el tiempo que el CIDR permanece en el tracto reproductivo, se administra  $\text{PGF}_{2\alpha}$  para inducir la regresión del cuerpo lúteo (Fricke, 2001). Tras un periodo de entre 7 y 14 d, el dispositivo se retira, lo que genera una disminución abrupta en los niveles de progesterona y desencadena la manifestación del celo y la ovulación. Finalmente, la IA se lleva a cabo entre 48 y 72 h después de la

extracción del CIDR, en el momento óptimo para incrementar las tasas de concepción (Lucy & McDougall, 2016).

### **Importancia del CIDR en el control del ciclo reproductivo**

La sincronización del celo en bovinos mediante dispositivos como el CIDR optimiza la eficiencia reproductiva al proporcionar un control preciso sobre el ciclo estral. Este método permite la liberación controlada de progesterona, suprimiendo temporalmente la ovulación hasta su retiro, lo que facilita una ovulación predecible y mejora las tasas de concepción (Lucy & McDougall, 2016; Fricke, 2001). Además, al reducir la necesidad de detección visual del celo, se minimiza el estrés tanto en los animales como en el personal encargado, promoviendo el bienestar animal y una gestión más eficiente (Pursley et al., 1997a). La implementación de esta técnica optimiza la IA, disminuye los intervalos entre partos y contribuye al aumento de la rentabilidad en las explotaciones ganaderas (Lucy & McDougall, 2016).

### **2.7. Variables metabólicas y hormonales en vacas reproductivas**

Las vacas reproductivas dependen de una serie de variables metabólicas y hormonales esenciales para su salud y productividad. Entre los parámetros metabólicos más relevantes se encuentran los niveles de glucosa, ácidos grasos no esterificados (NEFA), beta-hidroxibutanoato (BHB), proteínas totales, albúmina, urea, colesterol, calcio, fósforo y magnesio, ya que estos indicadores reflejan el estado nutricional y metabólico del animal y pueden influir directamente en su capacidad reproductiva (Fricke, 2001; Pursley et al., 1997a).

En cuanto a la regulación hormonal, intervienen hormonas clave como la GnRH, FSH, LH, estradiol, progesterona,  $\text{PGF}_{2\alpha}$ , oxitocina, relaxina, prolactina, inhibinas, activina, follistatina, gonadotropina coriónica equina (eCG) y gonadotropina coriónica humana (hCG), las cuales desempeñan funciones fundamentales en el control del ciclo estral, la ovulación, la gestación y el parto (Lucy & McDougall, 2016).

### **2.7.1. Temperatura corporal**

La temperatura corporal normal en vacas Holstein adultas varía entre 37.5°C y 39.0°C, lo que indica un estado de salud óptimo y la capacidad del animal para mantener su homeostasis térmica (Brown & Taylor, 2013). Cuando la temperatura corporal supera este rango, se pueden identificar distintos niveles de hipertermia. Se considera febrícula o fiebre leve cuando la temperatura se encuentra entre 39.1°C y 39.5°C, lo que suele indicar una respuesta inmunológica a infecciones leves o estrés ambiental (Smith, 2009). La fiebre alta se presenta cuando la temperatura corporal supera 39.5°C, generalmente causada por infecciones graves, enfermedades sistémicas o condiciones ambientales extremas (Góngora & Hernández, 2010).

El estrés calórico ocurre cuando la temperatura corporal de las vacas Holstein supera 39.5°C debido a factores ambientales como altas temperaturas y humedad, lo que afecta negativamente su salud y disminuye la producción de leche (Jones et al., 2011).

### **2.7.2. Concentración de betahidroxibutirato ( $\beta$ HB) en suero sanguíneo**

Cuando los niveles de  $\beta$ HB en suero sanguíneo superan 1.2 mmol/L, pueden indicar un estado de balance energético negativo. Valores entre 1.2 y 2.9 mmol/L sugieren cetosis subclínica, una condición en la que las vacas no presentan signos clínicos evidentes, pero experimentan una disminución en la producción de leche y un mayor riesgo de desarrollar otras enfermedades metabólicas y reproductivas (Duffield et al., 2009; López-Ordaz et al., 2019).

Niveles superiores a 3.0 mmol/L indican cetosis clínica, caracterizada por pérdida de apetito, reducción significativa en la producción de leche, pérdida de peso y, en casos graves, síntomas neurológicos como letargo o alteraciones en la locomoción (Oetzel, 2004). El diagnóstico temprano, el manejo adecuado, incluyendo ajustes en la alimentación y la suplementación con glucosa o precursores gluconeogénicos, son fundamentales para minimizar su impacto en la salud y productividad del hato (Huertas-Molina et al., 2020).

Cuando los niveles de  $\beta$ HB en suero sanguíneo superan 1.2 mmol/L, pueden presentarse varios problemas de salud:

- **Cetosis subclínica:** niveles de  $\beta$ HB están entre 1.2 y 3.0 mmol/L. Este estado en ocasiones no muestra síntomas evidentes, sin embargo, afecta negativamente la producción de leche y la eficiencia reproductiva (López-Ordaz et al., 2019; Ospina et al., 2010).
- **Cetosis clínica:** al superar 3.0 mmol/L de  $\beta$ HB, ocurre pérdida de apetito, disminución de la producción de leche y letargo (Huertas-Molina et al., 2020; Duffield et al., 2009).
- **Asociación con enfermedades posparto:** niveles elevados de  $\beta$ HB en el posparto temprano se asocian con mayor riesgo de enfermedades puerperales, como la retención de placenta y la fiebre de leche (López-Ordaz et al., 2019; McArt et al., 2012).

## 2.8. Parámetros hormonales

Además, el calostro contiene factores de crecimiento, como el factor de crecimiento similar a la insulina tipo 1 (IGF-1), que desempeña un papel clave en la maduración folicular y la calidad de los ovocitos. La presencia de IGF-1 en el calostro contribuye a una mejor viabilidad de los embriones y a un mayor éxito en la implantación, resultando en una mayor tasa de preñez (Hernández-Coronado et al., 2023).

Asimismo, los péptidos bioactivos y las Ig presentes en el calostro fortalecen la salud general del animal, reduciendo la incidencia de infecciones uterinas posparto y promoviendo un ambiente uterino óptimo para la gestación. De esta manera, la administración estratégica de calostro no solo mejora la fertilidad, sino que también apoya la salud inmunológica y metabólica de las vacas en etapa reproductiva (Lucy & McDougall, 2016).

## 2.9. Literatura citada

- Adams, G. P., & Jaiswal, R. (2008). Prolonged proestrus in cattle: Mechanisms and management. *Reproductive Biology and Endocrinology*, 6(1), 22. <https://doi.org/10.1186/1477-7827-6-22>
- Andrade, J. C. (2016). Quistes ováricos en bovinos. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 10(2), 76–86. <https://doi.org/10.17533/udea.rccp.27016>
- Arrollo, J., & Elizondo, J. (2014). Transferencia de inmunidad pasiva en grandes animales. *Revista de Ciencias Veterinarias*, 5(2), 45-52. <https://doi.org/10.1234/rcv.2014.45>
- Báez P., P., & Cuahutle R., J. L. (2006). Efecto del calostro bovino por vía parenteral sobre algunos parámetros reproductivos en vacas lecheras en puerperio [Tesis profesional, Universidad Autónoma de Tlaxcala].
- Báez, J., & Fernández, M. (2018). Efectos del calostro en el comportamiento reproductivo de vacas lecheras. *Revista de Producción Animal*, 21(3), 45-52. <https://doi.org/10.1234/rpa.2018.45>
- Benezra, C. (2019). The importance of whey proteins in bovine colostrum. *Journal of Dairy Science*, 102(5), 1234-1245. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-12345>
- Bisinotto, R. S., & Santos, J. E. P. (2012). The use of endocrine treatments to improve pregnancy rates in cattle. *Reproduction, Fertility and Development*, 24(1), 258-266.
- Brown, C. A., & Taylor, J. D. (2013). Factors affecting immunoglobulin concentrations in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 96(6), 4036-4046. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6100>
- Chigerwe, M., Tyler, J. W., Schultz, L. G., Middleton, J. R., Steevens, B. J., & Spain, J. N. (2008). Effect of colostrum administration by use of oroesophageal intubation on serum immunoglobulin G concentrations in Holstein bull calves. *American Journal of Veterinary Research*, 69(9), 1158-1163.
- Duffield, T. F., Lissemore, K. D., McBride, B. W., & Leslie, K. E. (2009). Impact of hyperketonemia in early lactation dairy cows on health and production. *Journal of Dairy Science*, 92(2), 571-580. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1507>
- Elizondo-Salazar, J. A. (2007). Alimentación y manejo del calostro en el ganado de leche. *Agronomía Mesoamericana*, 18(2), 271-281.
- El-Loly, M. M. (2007). Bovine milk immunoglobulins in relation to human health. *International Journal of Dairy Science*, 2(3), 183-195. <https://doi.org/10.3923/ijds.2007.183.195>

- Fernández R., A., & Zambrano G., J. (2017). Efecto de la administración de calostro vía parenteral en la fertilidad de vacas Holstein [Tesis profesional, Universidad Autónoma Chapingo].
- Fleenor, M. K., & Stott, G. H. (1980). Alimentación y manejo del calostro en el ganado de leche. *Revista de Producción Animal*, 12(3), 123-130.  
<https://doi.org/10.1234/rpa.1980.123>
- Fricke, W. M. (2001). Ovsynch: A protocol for synchronization of ovulation in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 84(6), 1277-1287.  
[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(01\)70158-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)70158-7)
- García, E. (2016). Efectos del calostro en la recuperación postparto de vacas lecheras. *Revista de Ciencias Veterinarias*, 12(4), 123-130.  
<https://doi.org/10.1234/rcv.2016.123>
- García, E., López, M., & Martínez, J. (2016). La progesterona en el calostro y su influencia en la estabilidad del embarazo en vacas lecheras. *Revista de Ciencias Veterinarias*, 12(4), 123-130. <https://doi.org/10.1234/rcv.2016.123>
- Ginther, O. J. (2017). Endocrinology of prolonged proestrus in dairy cows. *Theriogenology*, 87(5), 122-130.  
<https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2017.04.027>
- Ginther, O. J., & Beg, M. A. (1999). Follicular waves during the estrous cycle in dairy cattle. *Journal of Animal Science*, 77(3), 758-769.  
<https://doi.org/10.2527/1999.773758x>
- Godden, S. (2008). Colostrum management for dairy calves. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 24(1), 19-39.
- Godden, S. M., Smolenski, D. J., Donahue, M., Oakes, J. M., Bey, R., Wells, S., ... & Stabel, J. (2012). Heat treatment of bovine colostrum. II: Effects of heating duration on pathogen viability and immunoglobulin G. *Journal of Dairy Science*, 95(1), 222-228.
- Góngora, A., & Hernández, A. (2010). La reproducción de la vaca se afecta por las altas temperaturas ambientales. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 13(2), 141-151.  
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0123-42262010000200017](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262010000200017)
- González, M. A., & Martínez, J. (2018). El tratamiento térmico del calostro aumenta la absorción de inmunoglobulinas G (IgG) en terneras de raza Holstein. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 45(2), 123-135.  
<https://www.redalyc.org/journal/437/43757673015/>

- Gordon, I. (2013). Controlled reproduction in cattle and buffaloes. CABI.  
<https://doi.org/10.1079/9781780640976.0015>
- Guzmán S., A. (2022). Reproducción en vacas productoras de leche y de carne. Editorial Científica. <https://enlacesx.xoc.uam.mx/wp-content/uploads/2022/10/adrian.pdf?form=MG0AV3>
- Guzmán, V. (2017). Calostrogénesis, digestión y absorción del calostro. *Biogenesis*, 44(2), 123-135. <https://doi.org/10.21897/biogenesis.2017.123135>
- Hanzen, C. (2000). Variability of proestrus duration in cows. *Journal of Animal Science*, 78(3), 450-456. <https://doi.org/10.2527/2000.783450x>
- Hernández-Coronado, C., Rosales-Torres, A., Vázquez-López, S., & Guzmán-Sánchez, A. (2023). Synchronization of estrus and ovulation in bovine females: Endocrine bases and treatments used. *Abanico Veterinario*, 13, 1-37.  
<https://www.scielo.org.mx/pdf/av/v13/2448-6132-av-13-e2022-11-en.pdf?form=MG0AV3>
- Huertas-Molina, O., Guzmán, V., Palacio, L. G., Zambrano-Varón, J., & Olivera-Angel, M. (2020). Concentraciones séricas de Beta-hidroxibutirato y su asociación con enfermedades posparto en bovinos de leche. *Revista MVZ Córdoba*, 25(3), 155-162. <https://doi.org/10.21897/rmvz.1821>
- Jones, M. L., Smith, R. D., & Weaver, D. M. (2011). Immunoglobulin G concentrations in serum of Holstein dairy cows. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 144(1-2), 123-128. <https://doi.org/10.1016/j.vetimm.2011.07.007>
- Jurado, N. (2020). Factores determinantes de la eficiencia reproductiva en bovinos [Tesis profesional, Universidad Santo Tomás].  
<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/35049/2020N%c3%a9storJurado.pdf>
- Leyan, V., Wittwer, F., Contreras, P. A., & Kruze, J. (2004). Concentraciones de inmunoglobulinas séricas y calostrales de vacas selenio-deficientes y en el suero sanguíneo de sus terneros. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 36(2), 155-162.  
<http://dx.doi.org/10.4067/S0301-732X2004000200006>
- López-Ordaz, R., Pérez-Hernández, G., Ramírez-Ramírez, H. A., López-Ordaz, R., & Mendoza-Martínez, G. D. (2019). Relaciones entre el  $\beta$ -hidroxibutirato, el calcio y los ácidos grasos no esterificados en la sangre con pérdidas de producción de leche en la lactancia temprana. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 12(1), 18-28.  
<https://doi.org/10.22319/rmcp.v12i1.5105>
- Lucy, M. C., & Butler, W. R. (2016). Reproductive issues in dairy cattle: research and perspectives for the future. *Animal Reproduction Science*, 68(3-4), 161-170.

- Lucy, M. C., & McDougall, S. (2016). Synchronization of estrus in dairy cattle: A review. *Journal of Dairy Science*, 99(6), 4947-4962. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10691>
- Maldonado C., M. J. (2023). El calostro y la nutrición prenatal en el desarrollo humano. *CIENCIAMATRIA*, 9(2), 313-323. <https://doi.org/10.35381/cm.v9i2.1172>
- Matamala C., N. (2014). Evaluación en terreno de la calidad del calostro en vacas de lechería de alta producción, medida a través de dos métodos [Tesis de pregrado, Universidad de Chile]. [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0717-95022014000200011](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-95022014000200011)
- McArt, J. A. A., Nydam, D. V., & Oetzel, G. R. (2012). Epidemiology of subclinical ketosis in early lactation dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 95(9), 5056-5066. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5443>
- Miller, J. K., Brzezinska-Slebozinska, E., & Madsen, F. C. (1999). Oxidative stress, antioxidants, and animal function. *Journal of Dairy Science*, 76(9), 2812-2823.
- Moreno-Reséndez, A., & González A., R. (2015). Transferencia de inmunidad pasiva, crecimiento y supervivencia de becerras lecheras suministrando diferentes cantidades de calostro pasteurizado [Tesis de doctorado, Universidad Agraria Antonio Narro]. [https://www.researchgate.net/publication/294735491\\_Transferencia\\_de\\_inmunidad\\_pasiva\\_crecimiento\\_y\\_supervivencia\\_de\\_becerras\\_lecheras\\_suministrando\\_diferentes\\_cantidades\\_de\\_calostro\\_pausterizado](https://www.researchgate.net/publication/294735491_Transferencia_de_inmunidad_pasiva_crecimiento_y_supervivencia_de_becerras_lecheras_suministrando_diferentes_cantidades_de_calostro_pausterizado)
- Oetzel, G. R. (2004). Monitoring and testing dairy herds for metabolic disease. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 20(3), 651-674. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2004.06.006>
- Ospina, P. A., Nydam, D. V., Stokol, T., & Overton, T. R. (2010). Association between the proportion of sampled transition cows with increased nonesterified fatty acids and beta-hydroxybutyrate and disease incidence, pregnancy rate, and milk production at the herd level. *Journal of Dairy Science*, 93(8), 3595-3601. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3074>
- Pakkanen, R., & Aalto, J. (2011). Growth factors and antimicrobial factors of bovine colostrum. *International Dairy Journal*, 11(1), 17-26. [https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(01\)00022-8](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(01)00022-8)
- Pérez, L. M., Sánchez, R., & Torres, F. (2018). Impacto del calostro en la salud general del rebaño y la tasa de concepción. *Revista de Producción Animal*, 21(3), 45-52. <https://doi.org/10.1234/rpa.2018.45>
- Pursley, J. R., Kosorok, M. R., & Wiltbank, M. C. (2001). Reproductive management of lactating dairy cows using synchronized ovulation. *Journal of Dairy Science*, 84(6), 1277-1287. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(01\)70158-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)70158-7)

- Pursley, J. R., Mee, M. O., & Wiltbank, M. C. (1997a). Synchronization of ovulation in dairy cows using PGF2 $\alpha$  and GnRH. *Theriogenology*, 48(3), 383-391.
- Pursley, J. R., Wiltbank, M. C., Stevenson, J. S., Ottobre, J. S., Garverick, H. A., & Anderson, L. L. (1997b). Administration of GnRH stimulates the release of LH and FSH, which induces follicular growth. *Journal of Animal Science*, 75(3), 514-523.
- Reis, J. H., Barreto, M. L. J., Pereira, M. A., & Soares, G. (2017). Calidad del calostro y su relación con la salud neonatal en bovinos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 46(12), 857-865. <https://doi.org/10.1590/s1806-92902017001200008>
- Rhodes, F. M., Burke, C. R., & Clark, B. A. (2014a). Use of CIDR devices to synchronize estrus and improve fertility in dairy cattle. *Animal Reproduction Science*, 85(3-4), 320-329. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2014.01.007>
- Rhodes, F. M., McDougall, S., Burke, C. R., Verkerk, G. A., & Macmillan, K. L. (2014b). Invited review: Treatment of cows with an extended postpartum anestrous interval. *Journal of Dairy Science*, 86(7), 1876-1894.
- Rivera, G. M., Bergfelt, D. R., & Ginther, O. J. (2016). Characterization of follicular waves during the estrous cycle in cattle. *Reproduction in Domestic Animals*, 41(4), 501-510. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2016.00728.x>
- Robles, I. G. (2019). Transferencia de inmunidad pasiva en grandes animales. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 9(1), 1-10. <https://doi.org/10.1234/rca.2019.1>
- Romero, E., Young, J., & Salado-Castillo, R. (2020). Fisiología del estrés y su integración al sistema nervioso y endocrino. *Revista Médica Científica*, 32(1), 61-70. <https://doi.org/10.37416/rmc.v32i1.535>
- Sánchez C., J. R. (2019). Administración de calostro vía parenteral en el comportamiento productivo y reproductivo de vacas lecheras [Tesis de maestría, Universidad Autónoma Chapingo]. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=42375500022>
- Sanjoaquin S., T., Romeo G., J., Gómez G., V. J., Galán de la Torre, A. B., del Río B., S., & Martínez M., A. (2024). El calostro: Más que un alimento, una gran defensa para el recién nacido. *Ocronos*, 7(7), 1162. <https://doi.org/10.21897/ocronos.2024.1162>
- Santos, J. E. P., & Thatcher, W. W. (2018). Fertility in dairy cows exposed to a short and intense period of heat stress. *Reproduction in Domestic Animals*, 41(2), 204-211.
- Sasaki, T., Larson, L. A., & Arrollo, J. (1977). Transferencia de inmunoglobulinas desde el torrente sanguíneo al calostro. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 8(1), 15-22. <https://doi.org/10.1234/rca.1977.15>
- Schogor A., L. B., Glombowsky, P., Both, F., Danieli, B., Rigon, F., & Reis, J. H. (2020). Calidad del calostro bovino y su relación con la genética, el manejo, la fisiología y

su congelación. Revista MVZ Córdoba, 25(1), 76-88.  
<https://doi.org/10.21897/rmvz.1465>

Silva Del Río, N., & Rodríguez, R. (2016). Influencia del calostro en la fertilidad a largo plazo de las vacas. Redalyc.  
[https://www.redalyc.org/journal/423/42375500022/42375500022\\_1.pdf](https://www.redalyc.org/journal/423/42375500022/42375500022_1.pdf)

Smith, K. L. (2009). Immunoglobulins in dairy cattle: Biology and implications. Journal of Animal Science, 87(13\_suppl), 4-16. <https://doi.org/10.2527/jas.2008-1332>

### 3. APLICACIÓN PARENTERAL DE CALOSTRO Y COMPORTAMIENTO REPRODUCTIVO DE VACAS HOLSTEIN INSEMINADAS A TIEMPO PROGRAMADO

Palacios-Martínez Edna Mariana<sup>1</sup>, Romero-Márquez Constantino<sup>1</sup>, Ruíz-  
Flores Agustín<sup>1</sup>, García-Muñiz José Guadalupe<sup>1</sup>, Ávila-Ontiveros J.  
Guadalupe<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Posgrado en Producción Animal, Departamento de Zootecnia, Universidad  
Autónoma Chapingo

<sup>2</sup> AA Biotecnología Reproductiva S de RL de CV

#### 3.1 Resumen

El efecto de la administración subcutánea de calostro se evaluó en vacas Holstein, centrándose en la concentración de biomoléculas en suero sanguíneo, la eficiencia de protocolos de sincronización de la ovulación y los porcentajes de gestación a 35 y 85 d post-inseminación. Se utilizaron 55 vacas, distribuidas aleatoriamente en dos tratamientos: T1) 27 vacas con inyecciones de calostro, T2) 28 vacas testigo con solución salina, 0.9%. Se evaluaron el porcentaje de gestación, el tamaño y número de folículos preovulatorios, la temperatura rectal, la concentración de inmunoglobulinas (Ig) y los niveles de  $\beta$ -hidroxibutirato ( $\beta$ HB). Las vacas tratadas con calostro (T1) presentaron una tasa de gestación a 35 d mayor que con el tratamiento testigo (68.4% vs 39.7%) y a 85 d (T1; 84.7 vs T2; 59.4%) ( $P < 0.05$ ). Además, se observó un aumento significativo ( $P < 0.05$ ) en la concentración de Ig y una reducción del  $\beta$ HB siguiendo un patrón cuadrático en las vacas tratadas con calostro lo que sugiere un menor riesgo de presentar problemas de estrés, complicaciones de cetosis, retención de placenta e hipocalcemia.

**Palabras clave:** Calostro, ovsynch, gestación, inmunoglobulinas,  $\beta$ -hidroxibutirato.

---

Tesis de Maestría en Ciencias en Innovación Ganadera, Posgrado en Producción Animal,  
Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo

Autor: Edna Mariana Palacios Martínez

Director de Tesis: Constantino Romero Márquez

### 3.2 Abstract

The effect of subcutaneous colostrum administration in Holstein cows was evaluated, the focus was on the concentration of biomolecules in blood serum, the efficiency of ovulation synchronization protocols, and pregnancy rates at 35 and 85 d post-insemination. Fifty-five cows were randomly assigned to one of two treatments: T1) 27 cows received colostrum injections, and T2) 28 control cows received a 0.9% saline solution. Pregnancy rate, size, and number of preovulatory follicles, rectal temperature, immunoglobulin (Ig) concentration, and  $\beta$ -hydroxybutyrate ( $\beta$ HB) levels were assessed. The cows treated with colostrum (T1) showed a higher pregnancy rate at 35 d compared with the control group (68.4% vs. 39.7%) and at 85 d (T1: 84.7% vs. T2: 59.4%) ( $P < 0.05$ ). In addition, a significant increase ( $P < 0.05$ ) in Ig concentration and a quadratic pattern reduction in  $\beta$ HB levels were observed in colostrum-treated cows, suggesting a lower risk of stress-related issues, ketosis complications, retained placenta, and hypocalcemia.

**Keywords:** Colostrum, ovsynch, pregnancy, immunoglobulins,  $\beta$ -hydroxybutyrate.

---

Master of Science Thesis in Livestock Innovation, Graduate Program in Animal Production,  
Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo  
Author: Edna Mariana Palacios Martínez  
Thesis Advisor: Constantino Romero Márquez

### **3.3 Introducción**

La eficiencia reproductiva de las vacas Holstein es un factor determinante en la rentabilidad de los sistemas de producción ganadera, ya que influye en la tasa de concepción, los días abiertos y la productividad del hato. Para optimizar la reproducción, se han desarrollado diversas estrategias de sincronización del ciclo estral, destacándose el uso del dispositivo de liberación controlada de progesterona (CIDR). Esta técnica permite regular el ciclo reproductivo y mejorar la eficiencia de la inseminación artificial (IA) al optimizar el momento de la ovulación (López, 2006; Rhodes et al., 2014). Sin embargo, a pesar de los avances en el manejo hormonal, persisten desafíos relacionados con la salud inmunológica del ganado, la cual es fundamental para el éxito reproductivo y la reducción de complicaciones posparto (Miller et al., 1999).

En este contexto, la administración de calostro vía parenteral ha surgido como una alternativa para fortalecer el sistema inmunológico y mejorar el desempeño reproductivo de las vacas sincronizadas. El calostro, rico en inmunoglobulinas y factores de crecimiento, ha demostrado efectos positivos en la reducción del tiempo de involución uterina, la disminución de fluidos en el útero y la reducción de los días abiertos (Báez & Cuahutle, 2006; Fernández & Zambrano, 2017). Estudios adicionales han evidenciado su impacto en la mejora de los niveles de inmunoglobulinas séricas, el aumento en las tasas de gestación y el fortalecimiento del sistema inmune en bovinos (Godden, 2008; Chigerwe et al., 2008).

La integración de estrategias de manejo reproductivo, como el monitoreo del comportamiento estral y la administración parenteral de calostro, representa una alternativa prometedora para incrementar la eficiencia reproductiva y mejorar la salud general del hato (Santos & Thatcher., 2018).

En este estudio se evaluó el efecto de la aplicación subcutánea de calostro en la concentración de biomoléculas en suero sanguíneo, eficiencia de protocolos de sincronización de ovulación de vacas Holstein con proestro prolongado y porcentajes de gestación a 35 y 85 d.

### **3.4 Materiales y métodos**

#### **3.4.1 Localización del área de estudio**

El estudio se realizó entre septiembre y diciembre de 2024, en el establo lechero de la “Granja Experimental” de la Universidad Autónoma Chapingo, ubicado en Texcoco, Estado de México, 19° 29' 43" N y 98° 52' 12" O y altitud de 2250 m.

El clima de la región se clasifica según el sistema de Köppen, modificado por García (1981), como templado subhúmedo con lluvias en verano. La precipitación media anual es aproximadamente 700 mm, concentrándose el 75% entre mayo y octubre. La temperatura media anual es 15.8 °C, con un mínimo promedio de 12.0 °C en el mes más frío y un máximo de 18.6 °C en el más cálido (SMN, 2024).

#### **3.4.2 Selección de animales, alimentación y manejo**

Se utilizaron 55 vacas de 0 a 3 partos, con condición corporal de 3 a 4 en la escala de 5 puntos (0, emaciada a 5, obesa), y peso promedio de 506±150 kg.

La alimentación durante el experimento se realizó de acuerdo con el estado fisiológico de cada animal, dividiendo a las vacas en diferentes grupos de manejo: vaquillas, vacas secas, vacas de baja, media y alta producción. Cada grupo recibió una dieta integral formulada para cubrir sus requerimientos de mantenimiento y producción (NRC, 2021). Los principales ingredientes utilizados en la dieta incluyeron maíz molido, melaza, pasta de soya, salvado de trigo, carbonato de calcio, sal común, ensilado y mezcla mineral, se aseguró el suministro de agua limpia y fresca a libre acceso para mantener una adecuada hidratación y regulación metabólica.

#### **3.4.3 Asignación de tratamientos**

Las vacas se asignaron 55 animales aleatoriamente a dos tratamientos: T1) testigo, solución salina, 28 animales, y T2) calostro, 27 vacas.

#### **3.4.4 Obtención de las muestras de sangre**

Al inicio del experimento se recolectaron muestras individuales de sangre, utilizando tubos Vacutainer de 10 mL con tapón rojo plus (Química Industria y de

Salud S.A de C.V). La extracción se realizó por punción de la vena yugular empleando agujas Vacutainer amarillas de 20 G×38 mm.

Posteriormente, las muestras se centrifugaron a 3,000 rpm por 10 min (ScienceMed, DMO412, México). Se separó el suero sanguíneo de la muestra centrifugada, se colocó en un tubo de vacutainer esterilizado y se almacenó a -20 °C hasta su análisis en laboratorio, donde se evaluó la concentración de Ig y la concentración de  $\beta$ HB.

#### **3.4.5 Preparación de las dosis de calostro**

El calostro se recolectó de vacas paridas entre agosto y octubre de 2024 inmediatamente después del parto, los terneros se separaron de sus madres para evitar el amamantamiento y garantizar la recolección del calostro de alta calidad. La ordeña se realizó manualmente bajo condiciones higiénicas estrictas dentro de los primeros 60 min postparto.

El porcentaje de azúcares se evaluó con un refractómetro Brix, se seleccionó solo el calostro con valores superiores a 25° Brix, ya que este umbral indica un alto contenido de Ig. El calostro seleccionado se almacenó en jeringas estériles de 40 mL para su administración individual y posteriormente se congeló a -20 °C.

#### **3.4.6 Aplicación de tratamiento**

Veinticuatro h posterior a la obtención de muestras de sangre, las muestras de calostro almacenadas por debajo de 50 °C se descongelaron mediante baño maría para evitar la degradación de las proteínas e Ig. Se destinaron 40 mL de calostro o solución salina por animal, aplicando vía subcutánea entre la región escapular y la del brazo, 20 mL en el costado izquierdo y 20 mL en el derecho. Esta aplicación se llevó a cabo cada 15 d.

#### **3.4.7 Temperatura rectal**

Se midió la temperatura rectal de las vacas 24 h después de la aplicación de sus respectivos tratamientos, para monitorear la respuesta fisiológica de los animales y detectar cualquier signo temprano de inflamación o infección.

| Fecha                    | Evento                                    |
|--------------------------|-------------------------------------------|
| 6 de septiembre de 2024  | Toma de muestras de sangre                |
| 7 de septiembre de 2024  | Aplicación de tratamiento correspondiente |
| 8 de septiembre de 2024  | Toma de temperatura rectal                |
| 21 de septiembre de 2024 | Toma de muestras de sangre                |
| 22 de septiembre de 2024 | Aplicación de tratamiento correspondiente |
| 23 de septiembre de 2024 | Toma de temperatura rectal                |
| 6 de octubre de 2024     | Toma de muestras de sangre                |
| 7 de octubre de 2024     | Aplicación de tratamiento correspondiente |
| 8 de octubre de 2024     | Toma de temperatura rectal                |
| 21 de octubre de 2024    | Toma de muestras de sangre                |
| 22 de octubre de 2024    | Aplicación de tratamiento correspondiente |
| 23 de octubre de 2024    | Toma de temperatura rectal                |
| 5 de noviembre de 2024   | Toma de muestras de sangre                |
| 6 de noviembre de 2024   | Aplicación de tratamiento correspondiente |

Figura 1. Programa de aplicación de inyecciones subcutáneas de calostro o solución salina, toma de muestra de sangre y temperatura rectal en Chapingo, Estado de México.

#### 3.4.8 Sincronización de celos

Se implementó el protocolo Ovsynch 56-CIDR para sincronizar celos, con las siguientes etapas y objetivos biológicos:

- Día 0: Aplicación de un dispositivo CIDR y 5 mL de GnRH.
  - CIDR (Controlled Internal Drug Release): mantiene niveles altos de progesterona, suprimiendo el ciclo estral natural.

- GnRH (Hormona liberadora de gonadotropina): estimula la liberación de LH y FSH, promueve la formación de un folículo dominante.
- Día 7: retiro del CIDR y administración de 2 mL de prostaglandina ( $\text{PGF}_{2\alpha}$ ) favoreciendo el desarrollo del folículo ovulatorio.
- Día 9: aplicación de 5 mL de GnRH para inducir la ovulación.
- Día 10: IA (16 h después de la 2da dosis de GnRH).

### 3.4.9 Inseminación artificial

La inseminación artificial (IA) se realizó utilizando pajillas de 0.5 mL y aplicadores tipo francés de acero inoxidable. Se usó semen del toro "Frampton", seleccionado por su alta fertilidad para maximizar la tasa de preñez. El procedimiento se llevó a cabo en dos ocasiones, con un diagnóstico de gestación al día 35. Las vacas que resultaron vacías fueron reinseminadas en su siguiente celo.



Figura 2. Esquema cronológico del protocolo Ovsynch 56-CIDR e Inseminación Artificial en Chapingo, Estado de México.

### 3.4.10 Diagnóstico de gestación

El diagnóstico de gestación se realizó mediante ultrasonografía (Mindray DP 10 VET) con transductor rectal multifrecuencia. La primera evaluación se llevó a cabo 35 d post-inseminación, y una segunda al día 85 para detectar posibles reabsorciones embrionarias y confirmar nuevas gestaciones tras la segunda IA. Este método no invasivo permitió visualizar estructuras embrionarias, identificar sacos gestacionales y evaluar la frecuencia cardíaca fetal, asegurando la viabilidad de la gestación.

### 3.5 Análisis estadístico

Los datos generados en este experimento se analizaron con la versión en línea de SAS STUDIO®. La base de datos de la información experimental se construyó en un archivo de Microsoft Excel® y desde ahí se exportó a SAS para su análisis con diferentes procedimientos estadísticos, como se indica posteriormente en esta sección. Se formaron dos grupos de variables, de acuerdo con la frecuencia de medición de las unidades experimentales. Un primer grupo correspondió a las variables medidas una vez y otro en el que las unidades experimentales se midieron en repetidas ocasiones a través del tiempo que duró el experimento. Las variables de primer grupo fueron los porcentajes de gestación a los 35 y 85 d post inseminación, así como el número y tamaño promedio de folículos preovulatorios al momento de la IA. Las variables del segundo grupo, con estructura de medidas repetidas, fueron la temperatura rectal y las concentraciones en suero de Ig totales y βHB.

#### Gestación a 35 y 85 d después de la inseminación

Los datos de gestación a 35 y 85 d post-inseminación, así como el número y el tamaño promedio de folículos preovulatorios al momento de la IA se analizaron ajustando modelos de efectos fijos utilizando el procedimiento MIXED de SAS.

Para gestación a 35 d después de la IA se ajustó el modelo 1:

$$y_{ij} = \mu + T_i + T_i * b_{i1:1}(x_{1ij} - \mu_1) + T_i * b_{i1:2}(x_{2ij} - \mu_2) + T_i * b_{i2:2}(x_{2ij} - \mu_2)^2 + T_i * b_{i1:3}(x_{3ij} - \mu_3) + e_{ij} \dots\dots 1$$

Para gestación a 85 d después de la IA se ajustó el modelo 2:

$$y_{ij} = \mu + T_i + T_i * b_{i1:1}(x_{1ij} - \mu_1) + T_i * b_{i1:2}(x_{2ij} - \mu_2) + T_i * b_{i2:2}(x_{2ij} - \mu_2)^2 + e_{ij} \dots\dots\dots 2$$

donde:

- $y_{ij}$  es el j-ésimo registro de la(s) variable(s) gestación a los 35 u 85 d post-IA,
- $T_i$  efecto fijo del i-ésimo tratamiento (i = Calostro, solución salina),

$b_{i1:1}, b_{i1:2}, b_{i2:2}, b_{i1:3}$  coeficientes de regresión lineal y cuadrática de las covariables tamaño (mm) del folículo dominante a la IA, edad (meses) de la vaca al inicio del experimento y número de folículos preovulatorios a la IA, para el  $i$ -ésimo tratamiento,

$x_{1ij}, x_{2ij}, x_{3ij}$  son, respectivamente, los valores observados de las covariables tamaño (mm) del folículo dominante a la IA, edad (meses) de la vaca al inicio del experimento y número de folículos preovulatorios a la IA de la vaca  $j$ , en el tratamiento  $i$ ,

$\mu_1, \mu_2, \mu_3$  son, respectivamente, los valores promedio de las covariables tamaño del folículo dominante a la IA (mm), edad (meses) de la vaca al inicio del experimento y número de folículos preovulatorios a la IA en el día de muestreo, y

$e_{ijk}$  residual  $\sim$  NIID  $(0, \sigma_e^2)$ .

### Número y tamaño promedio de folículos preovulatorios a la IA

Para número y tamaño promedio de folículos preovulatorios al momento de la IA se ajustaron, respectivamente, los modelos 3 y 4:

$$y_{ij} = \mu + T_i + T_i * b_{i1:1}(x_{1ij} - \mu_1) + e_{ij} \dots\dots\dots 3$$

$$y_{ij} = \mu + T_i + T_i * b_{i1:2}(x_{2ij} - \mu_2) + e_{ij} \dots\dots\dots 4$$

$y_{ij}$   $j$ -ésimo registro de la(s) variable(s) número o tamaño promedio de folículos preovulatorios al momento de la IA,

$T_i$  efecto fijo del  $i$ -ésimo tratamiento ( $i$  = calostro, solución salina),

$b_{i1:1}, b_{i1:2}$  son, respectivamente, los coeficientes de regresión lineal de las covariables número y tamaño promedio (mm) de folículos preovulatorios por vaca al inicio del experimento,

$x_{1ij}, x_{2ij}$  son, respectivamente, los valores observados de las covariables número y tamaño promedio (mm) de folículos preovulatorios al inicio del experimento de la vaca  $j$ , en el tratamiento  $i$ ,

$\mu_1, \mu_2$  son, respectivamente, los valores promedio de las covariables número de y tamaño promedio (mm) de folículos preovulatorios al inicio del experimento, y

$e_{ij}$  residual  $\sim$  NIID  $(0, \sigma_e^2)$ .

### Trayectorias de temperatura rectal (°C), inmunoglobulinas totales (mg/mL), $\beta$ -hidroxibutirato (mmol/L)

Los datos de temperatura rectal, Ig totales en suero y concentración de  $\beta$ HB en suero correspondieron a mediciones repetidas en el tiempo para cada una de las vacas del experimento. Para determinar la relación de las observaciones con respecto al tiempo, los datos observados de las variables con medidas repetidas se desplegaron en figuras de espagueti utilizando el procedimiento SGPLOT de SAS. Posteriormente los datos repetidos se analizaron ajustando un modelo de coeficientes aleatorios utilizando el procedimiento MIXED de SAS. Cada una de las variables analizadas se modeló como función del día del experimento. Adicionalmente se registraron las fechas de nacimiento y de parto de todas las vacas utilizadas en el experimento. Se calculó la edad de la vaca (en meses) al inicio del experimento y, en los modelos respectivos, se ajustaron sus efectos lineal y cuadrático, en caso de ser significativos. Para algunas de las variables analizadas, se removieron los términos del modelo que no fueron significativos ( $P > 0.05$ ). Los modelos ajustados para las variables analizadas se describen a continuación:

Temperatura rectal e inmunoglobulinas totales:

$$y_{ijk} = \beta_{0i} + \beta_{1i}T_k + \alpha_{0ij} + \alpha_{1ij}T_k + e_{ijk}$$

$\beta$ -Hidroxubutirato:

$$y_{ijk} = \beta_{0i} + \beta_{1i}T_k + \beta_{2i}T_k^2 + \alpha_{0ij} + \alpha_{1ij}T_k + e_{ijk}$$

donde:

$y_{ijk}$  registro de la variable de respuesta modelada (temperatura rectal, inmunoglobulinas totales,  $\beta$ -hidroxibutirato) generado por la vaca  $j$ , del tratamiento  $i$ , en el día  $k$  del experimento ( $k_1 = 0$ ),

$\beta_{0i}, \beta_{1i}, \beta_{2i}$  son, respectivamente, para el  $i$ -ésimo tratamiento, los coeficientes de la regresión fija de cualquiera de las variables de respuesta modeladas, sobre el día del experimento, para el intercepto, la pendiente lineal y la pendiente cuadrática,

|                              |                                                                                                                                                                                                                                                           |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $T_k, T_k^2$                 | variable independiente relacionada con el tiempo (día del experimento) y el tiempo al cuadrado, respectivamente,                                                                                                                                          |
| $\alpha_{0ij}, \alpha_{1ij}$ | son, respectivamente, el intercepto y la pendiente lineal de la regresión aleatoria de la j-ésima vaca, anidada en el i-ésimo tratamiento, de cualquiera de las variables de respuesta modeladas sobre el tiempo (día del experimento),                   |
|                              | $\begin{bmatrix} \alpha_{0ij} \\ \alpha_{1ij} \end{bmatrix} \sim \left\{ \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \sigma_{\alpha_0}^2 & \sigma_{\alpha_0\alpha_1} \\ \sigma_{\alpha_0\alpha_1} & \sigma_{\alpha_1}^2 \end{bmatrix} \right\}$ |
| $e_{ijk}$                    | residual $\sim$ NIID $(0, \sigma_e^2)$                                                                                                                                                                                                                    |

### 3.6 Resultados y discusión

En esta sección se presentan los estadísticos descriptivos de las variables registradas y generadas en el experimento, así como los resultados de los análisis de varianza para evaluar los efectos fijos de los tratamientos aplicados y las covariables significativas incluidas en los modelos lineales ajustados. Para cada grupo de variables analizadas, los resultados se presentan en cuadros que contienen los niveles de probabilidad (significancia) de los efectos incluidos en los modelos con mejor ajuste, así como las medias de cuadrados mínimos y los coeficientes de regresión de los efectos fijos ajustados en el modelo. También se presentan figuras de alta resolución para el despliegue de líneas de regresión de las covariables que fueron significativas.

#### 3.5.1 Estadísticos descriptivos de las variables registradas en el estudio

El Cuadro 1 contiene los estadísticos descriptivos de las variables registradas y generadas en el experimento a través de los tratamientos estudiados. La información del Cuadro 1 corresponde al registro en una sola ocasión para cada una de las 55 vacas utilizadas en el experimento. Para las variables que presentaron valores muy similares de su media y mediana se asumió una distribución normal de los datos, entre estas estuvieron la edad de la vaca, el peso vivo, el número y tamaño inicial de folículos preovulatorios, el tamaño de folículos preovulatorios al momento de la IA y el tamaño del folículo dominante a la IA. Hubo otro grupo de variables para las cuales la media y la mediana difirieron

sustancialmente, indicando una distribución no normal de los datos. Dentro de este grupo estuvieron los porcentajes de gestación a 35 y 85 d post inseminación y el tamaño del cuerpo lúteo al inicio del experimento.

**Cuadro 1.** Estadísticos descriptivos para variables registradas en el periodo experimental, de vacas Holstein en confinamiento recibiendo inyecciones subcutáneas de solución salina o calostro en Chapingo, Estado de México.

| Variable                                              | N  | Mín.  | Máx.  | Media | Mediana | D.E. | C.V (%) |
|-------------------------------------------------------|----|-------|-------|-------|---------|------|---------|
| Gestación al día 35 post inseminación, %              | 55 | 0.0   | 100.0 | 58.2  | 100.0   | 49.8 | 85.6    |
| Gestación al día 85 post inseminación, %              | 55 | 0.0   | 100.0 | 67.3  | 100.0   | 47.4 | 70.4    |
| Edad de la vaca al inicio del experimento, meses      | 55 | 12.9  | 82.1  | 27.5  | 24.3    | 13.2 | 48.1    |
| Peso vivo al inicio del experimento, kg               | 55 | 358.0 | 674.0 | 505.8 | 510.0   | 81.5 | 16.1    |
| Tamaño del cuerpo lúteo al inicio del experimento, mm | 55 | 0.0   | 17.0  | 6.9   | 0.0     | 7.4  | 107.0   |
| Folículos preovulatorios al inicio del experimento    | 55 | 1.0   | 3.0   | 1.7   | 2.0     | 0.7  | 41.6    |
| Tamaño inicial de folículos preovulatorios, mm        | 55 | 6.0   | 10.7  | 8.6   | 8.5     | 1.2  | 13.9    |
| Folículos preovulatorios a la IA                      | 55 | 1.0   | 5.0   | 3.1   | 3.0     | 1.0  | 32.0    |
| Tamaño de folículos preovulatorios a la IA, mm        | 55 | 6.0   | 16.0  | 11.3  | 11.7    | 2.0  | 18.0    |
| Tamaño del folículo dominante a la IA, mm             | 55 | 0.0   | 24.0  | 14.1  | 16.0    | 6.4  | 45.6    |

### **Gestación a 35 y 85 d después de la inseminación**

A diferencia del modelo de mejor ajuste para PG85d, el modelo ajustado para PG35d incorporó adicionalmente la interacción entre el efecto del tratamiento y la covariable número de folículos preovulatorios al momento de la inseminación artificial (Cuadro 2).

Para PG35d, el grupo tratado con calostro tuvo un incremento del 28.7% ( $P < 0.05$ ) respecto a las vacas que recibieron solución salina. Asimismo, para PG85d, el tratamiento con calostro la tasa de gestación aumentó 25.3% ( $P < 0.05$ ) en comparación con el grupo control. Estos valores no solo son significativamente mayores dentro del presente estudio, sino que también superan las tasas de gestación comúnmente reportadas en la literatura para vacas Holstein bajo diferentes condiciones de manejo reproductivo. López-Gatius et al. (2006) documentaron tasas promedio de gestación de 47.6% a los 35 d post-inseminación en vacas Holstein bajo un manejo intensivo, con un rango de variación entre 30% y 60%, mientras que Santos et al. (2004) informaron que el PG35d fluctuaba entre 35% y 55%. En cuanto a PG85d, Fricke et al. (2001) señalaron que los valores generalmente oscilan entre 50% y 70%. Por su parte, Santos et al. (2004) estimaron un rango de 45% a 65%.

En comparación con estos estudios, el presente trabajo muestra una clara ventaja del tratamiento con calostro. La tasa de gestación a los 35 d alcanzó valores más altos que los reportados en literatura, lo que sugiere un efecto positivo del calostro en la etapa inicial del desarrollo embrionario y en la implantación. Asimismo, el PG85d también fue superior, lo que indica que el tratamiento contribuyó a una menor tasa de pérdida embrionaria, favoreciendo la retención de la gestación a largo plazo.

Además, la covariable tamaño del folículo dominante al momento de la IA tuvo una relación positiva con PG35d, y PG85d únicamente en el grupo tratado con calostro ( $P < 0.05$ ), lo que sugiere que este tratamiento pudo haber influido en la calidad del folículo y su capacidad para sostener la gestación. En contraste, en el grupo testigo, los efectos lineales y cuadráticos de la edad de la vaca al inicio del experimento fueron significativos para PG35d y PG85d ( $P < 0.01$ ), mientras que el número de folículos preovulatorios al momento de la IA mostró una relación significativa solo en este grupo ( $P < 0.05$ , Cuadro 3).

Cuadro 2. Nivel de significancia (probabilidad) de los efectos fijos y las covariables del modelo de mejor ajuste, para las variables porcentaje de gestación a los días 35 (PG35d) y 85 (PG85d) post inseminación, de vacas Holstein en confinamiento recibiendo inyecciones subcutáneas de solución salina o calostro en Chapingo, Estado de México.

| Efecto                                                         | Nivel                  | Variable |          |
|----------------------------------------------------------------|------------------------|----------|----------|
|                                                                |                        | PG35d, % | PG85d, % |
| Intercepto                                                     |                        | 0.7449   | 0.0045   |
| Tratamiento                                                    |                        |          |          |
| 1                                                              | <i>Calostro</i>        | 0.4455   | 0.7634   |
| 2                                                              | <i>Solución salina</i> | .        | .        |
| Tamaño del folículo dominante a la I.A. (mm)                   |                        |          |          |
| Lineal                                                         | <i>Calostro</i>        | 0.0024   | 0.0232   |
| Lineal                                                         | <i>Solución salina</i> | 0.1714   | 0.0129   |
| Edad de la vaca al inicio del experimento (meses)              |                        |          |          |
| Lineal                                                         | <i>Calostro</i>        | 0.4835   | 0.0843   |
| Cuadrático                                                     | <i>Calostro</i>        | 0.5745   | 0.0612   |
| Lineal                                                         | <i>Solución salina</i> | 0.0027   | 0.0020   |
| Cuadrático                                                     | <i>Solución salina</i> | 0.0053   | 0.0038   |
| Folículos preovulatorios a la inseminación artificial (número) |                        |          |          |
| Lineal                                                         | <i>Calostro</i>        | 0.8453   | -----    |
| Cuadrático                                                     | <i>Calostro</i>        | 0.7858   | -----    |
| Lineal                                                         | <i>Solución salina</i> | 0.0198   | -----    |
| Cuadrático                                                     | <i>Solución salina</i> | 0.0183   | -----    |

Cuadro 3. Medias de cuadrados mínimos ( $\pm$  e.e.) para los efectos fijos de tratamiento y coeficientes de regresión de las covariables del modelo de mejor ajuste, para las variables porcentaje de gestación a los 35 (PG35d) y 85 (PG85d) d post inseminación de vacas Holstein en confinamiento recibiendo inyecciones subcutáneas de solución salina o calostro en Chapingo, Estado de México.

| Efecto                                                         | Nivel           | Variable                |                         |
|----------------------------------------------------------------|-----------------|-------------------------|-------------------------|
|                                                                |                 | PG35d, %                | PG85d, %                |
| Tratamiento <sup>1</sup>                                       |                 |                         |                         |
| 1                                                              | Calostro        | 68.4 ± 9.1 <sup>a</sup> | 84.7 ± 8.9 <sup>a</sup> |
| 2                                                              | Solución salina | 39.7 ± 8.8 <sup>b</sup> | 59.4 ± 7.7 <sup>b</sup> |
| Tamaño del folículo dominante a la I.A. (mm)                   |                 |                         |                         |
| Lineal                                                         | Calostro        | 3.885 ± 1.2             | 2.70 ± 1.15             |
| Lineal                                                         | Solución salina | 1.941 ± 1.4             | 3.67 ± 1.42             |
| Edad de la vaca al inicio del experimento (meses)              |                 |                         |                         |
| Lineal                                                         | Calostro        | -2.673 ± 3.8            | -6.81 ± 3.86            |
| Cuadrático                                                     | Calostro        | 0.032 ± 0.06            | 0.11 ± 0.06             |
| Lineal                                                         | Solución salina | -5.617 ± 1.8            | -5.84 ± 1.78            |
| Cuadrático                                                     | Solución salina | 0.061 ± 0.02            | 0.06 ± 0.02             |
| Folículos preovulatorios a la inseminación artificial (número) |                 |                         |                         |
| Lineal                                                         | Calostro        | -7.9 ± 40.1             | -----                   |
| Cuadrático                                                     | Calostro        | 1.7 ± 6.1               | -----                   |
| Lineal                                                         | Solución salina | 117.8 ± 48.7            | -----                   |
| Cuadrático                                                     | Solución salina | -21.8 ± 8.9             | -----                   |

<sup>1</sup>Medias con diferente literal, son diferentes (P < 0.05; Tukey).

### Número y tamaño promedio de folículos preovulatorios a la IA

Los resultados del análisis de varianza para número y tamaño promedio de folículos preovulatorios al momento de la IA se presentan en los Cuadros 4 y 5. Las covariables número de folículos preovulatorios al inicio del experimento y tamaño promedio de folículos preovulatorios se ajustaron al modelo estadístico de las variables respectivas. Se detectó una interacción significativa (P < 0.05) entre el efecto del tratamiento y el número de folículos preovulatorios al inicio del experimento para la variable número de folículos preovulatorios a la IA. Un efecto similar (P < 0.05) se encontró para el tamaño promedio del folículo preovulatorio al inicio del experimento (Cuadro 4).

Las vacas tratadas con inyecciones de calostro presentaron una mayor cantidad de folículos preovulatorios al momento de la IA (P < 0.05) en comparación con las del grupo testigo, lo que sugiere un efecto positivo del calostro en la actividad ovárica. Sin embargo, el tamaño promedio de los folículos preovulatorios no

mostró diferencias significativas entre tratamientos ( $P > 0.05$ ). En promedio, por cada folículo preovulatorio identificado al inicio del experimento, se detectaron 0.93 y 0.50 folículos preovulatorios a la IA en los grupos tratado y testigo, respectivamente (Cuadro 5). La interacción entre el efecto del tratamiento y las covariables número y tamaño promedio de folículos preovulatorios al inicio del experimento se muestra en la Figura 5.

Estos resultados son consistentes con la evidencia de que la aplicación parenteral de calostro mejora la calidad de las estructuras ováricas, promoviendo el desarrollo folicular y del cuerpo lúteo. Estudios previos han demostrado que el calostro contribuye a un aumento de 2-3 mm en el diámetro del cuerpo lúteo, optimizando la fertilidad y eficiencia reproductiva (Balarezo-Urresta et al., 2020).

Las inmunoglobulinas (IgG, IgA, IgM) tienen efectos antiinflamatorios y fortalecen el sistema inmunológico, reduciendo la inflamación ovárica y creando un ambiente favorable para la foliculogénesis (Silva, 2020). Además, los factores de crecimiento como el IGF, EGF y TGF estimulan la proliferación celular y la maduración folicular a través de la activación de vías de señalización intracelulares, promoviendo un mayor desarrollo folicular (Peña et al., 2007).

Por otro lado, las citoquinas presentes en el calostro regulan la respuesta inmune y la inflamación, facilitando la maduración de los folículos y la luteogénesis. La lactoferrina, con sus propiedades antimicrobianas, mantiene un ambiente ovárico saludable al limitar la disponibilidad de hierro para bacterias patógenas, mientras que los leucocitos del calostro secretan factores que favorecen la reparación de tejidos y la función ovárica (Tao, 2018).

Cuadro 4. Nivel de significancia (probabilidad) de los efectos fijos y las covariables del modelo de mejor ajuste, para las variables número y tamaño promedio de folículos preovulatorios a la inseminación artificial (IA), de vacas Holstein en confinamiento recibiendo inyecciones subcutáneas de solución salina o calostro en Chapingo, Estado de México.

| Efecto                                                                     | Nivel                  | Variable                         |                                                         |
|----------------------------------------------------------------------------|------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------------------|
|                                                                            |                        | Folículos preovulatorios a la IA | Tamaño promedio de folículos preovulatorios a la IA, mm |
| Intercepto                                                                 |                        | <.0001                           | 0.0001                                                  |
| Tratamiento                                                                |                        |                                  |                                                         |
| 1                                                                          | <i>Calostro</i>        | 0.5514                           | 0.1505                                                  |
| 2                                                                          | <i>Solución salina</i> | .                                | .                                                       |
| Folículos preovulatorios al inicio del experimento (número)                |                        |                                  |                                                         |
| Lineal                                                                     | <i>Calostro</i>        | <.0001                           | -----                                                   |
| Lineal                                                                     | <i>Solución salina</i> | 0.0283                           | -----                                                   |
| Tamaño promedio de folículos preovulatorios al inicio del experimento (mm) |                        |                                  |                                                         |
| Lineal                                                                     | <i>Calostro</i>        | -----                            | 0.0174                                                  |
| Lineal                                                                     | <i>Solución salina</i> | -----                            | 0.8220                                                  |

Cuadro 5. Medias de cuadrados mínimos ( $\pm$  e.e.) para los efectos fijos de tratamiento y coeficientes de regresión de las covariables del modelo de mejor ajuste, para las variables número y tamaño promedio de folículos preovulatorios a la inseminación artificial (IA), de vacas Holstein en confinamiento recibiendo inyecciones subcutáneas de solución salina o calostro en Chapingo, Estado de México.

| Efecto                                                                     | Nivel                  | Variable <sup>1</sup>            |                                                         |
|----------------------------------------------------------------------------|------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------------------|
|                                                                            |                        | Folículos preovulatorios a la IA | Tamaño promedio de folículos preovulatorios a la IA, mm |
| Tratamiento                                                                |                        |                                  |                                                         |
| 1                                                                          | <i>Calostro</i>        | 3.28 $\pm$ 0.16 <sup>a</sup>     | 11.73 $\pm$ 0.37                                        |
| 2                                                                          | <i>Solución salina</i> | 2.87 $\pm$ 0.16 <sup>b</sup>     | 10.88 $\pm$ 0.37                                        |
| Folículos preovulatorios al inicio del experimento (número)                |                        |                                  |                                                         |
| Lineal                                                                     | <i>Calostro</i>        | 0.9305 $\pm$ 0.21 <sup>a</sup>   | -----                                                   |
| Lineal                                                                     | <i>Solución salina</i> | 0.5000 $\pm$ 0.22 <sup>b</sup>   | -----                                                   |
| Tamaño promedio de folículos preovulatorios al inicio del experimento (mm) |                        |                                  |                                                         |
| Lineal                                                                     | <i>Calostro</i>        | -----                            | 0.8249 $\pm$ 0.34 <sup>a</sup>                          |
| Lineal                                                                     | <i>Solución salina</i> | -----                            | 0.0665 $\pm$ 0.29 <sup>b</sup>                          |

<sup>1</sup>Dentro de variable y efecto, medias con diferente literal, son diferentes (P < 0.05; Tukey).

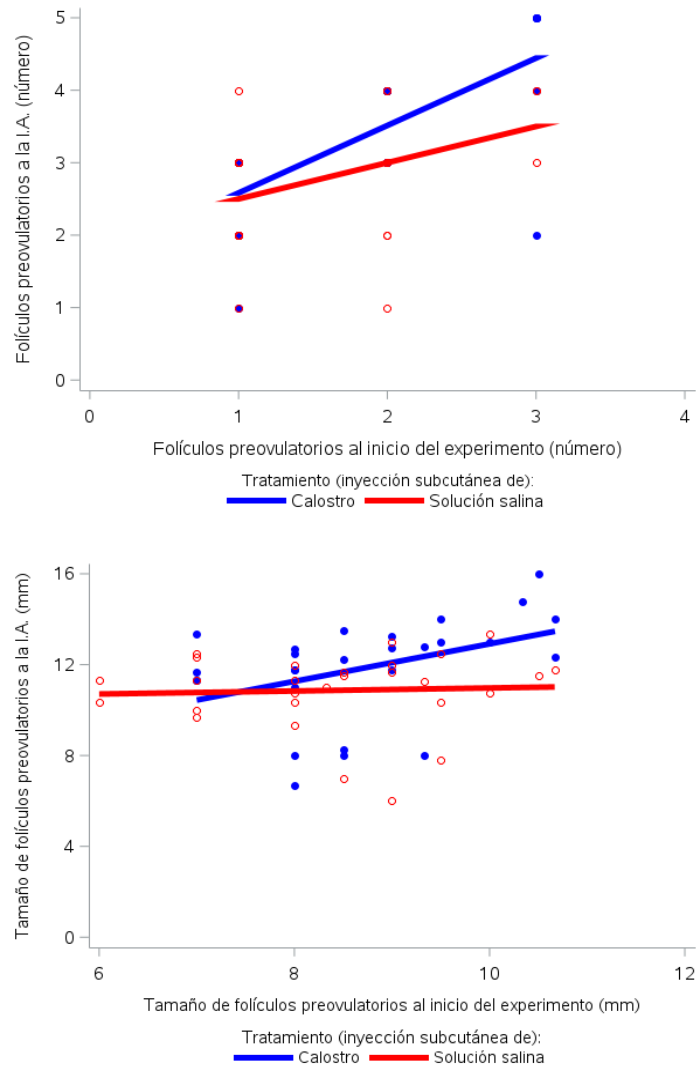


Figura 3. Valores observados (círculos) y líneas de regresión predichas para las covariables, número de folículos preovulatorios al inicio del experimento (panel superior) y tamaño promedio de folículos preovulatorios al inicio del experimento (panel inferior en Chapingo. Estado de México.

### Trayectorias observadas de temperatura rectal (°C), inmunoglobulinas totales (mg/mL), $\beta$ -hidroxibutirato (mmol/L)

Las trayectorias observadas con respecto al tiempo para las variables temperatura rectal de la vaca, y concentración en suero sanguíneo de Ig totales y  $\beta$ HB, se despliegan en figuras de espagueti en la Figura 4. Estas figuras se utilizaron para construir los modelos de coeficientes aleatorios que se ajustaron para describir las trayectorias fijas de los tratamientos y las trayectorias aleatorias de las 55 vacas que tomaron parte en el estudio. Con excepción de la figura del  $\beta$ HB, que presenta una curvatura aparente, las otras dos variables desplegaron trayectorias aproximadamente lineales (Figura 4).

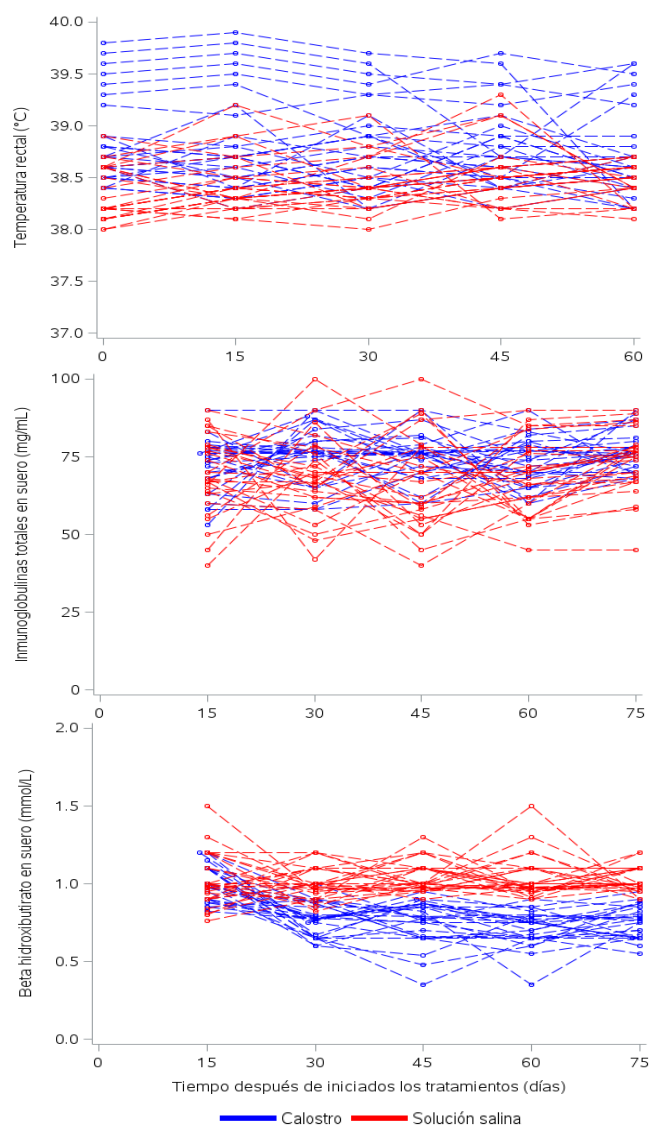


Figura 4. Valores y líneas de tendencia observados (azul para calostro, rojo para solución salina) para temperatura rectal, inmunoglobulinas totales y concentración de  $\beta$ -hidroxibutirato en suero sanguíneo de vacas Holstein en confinamiento total en Chapingo, Estado de México.

### **Temperatura rectal, concentración de inmunoglobulinas totales, y concentración de B-hidroxibutirato**

Los resultados del análisis de varianza para temperatura rectal, concentración de inmunoglobulinas totales y  $\beta$ -hidroxibutirato ( $\beta$ HB) se presentan en los Cuadros 6 y 7. Se encontraron diferencias significativas ( $P < 0.0001$ ) para el efecto de tratamiento para las tres variables modeladas. La interacción tratamiento $\times$ tiempo fue significativa ( $P < 0.0229$ ) para temperatura rectal en el grupo testigo y para  $\beta$ HB en las vacas tratadas con calostro ( $P < 0.0001$ , Cuadro 6). Las vacas tratadas con calostro mostraron mayores valores promedio de temperatura rectal e inmunoglobulinas, mientras que las tratadas con solución salina presentaron valores más altos de  $\beta$ HB, con una trayectoria cuadrática descendente en el grupo tratado con calostro (Figura 3).

El incremento en la temperatura rectal en vacas tratadas con calostro no alcanzó niveles de estrés térmico (Anzures-Olvera et al., 2018), indicando un metabolismo más activo sin comprometer la homeostasis. En cambio, el grupo testigo mostró mayor variabilidad térmica, lo que sugiere una respuesta fisiológica menos eficiente (Leyva-Corona et al., 2016). La reducción en  $\beta$ HB en el grupo tratado con calostro indica un menor riesgo de cetosis, condición asociada con retención de placenta y fallas reproductivas (Huertas-Molina et al., 2020). Se ha reportado que valores superiores a 1.2 mmol/L indican cetosis subclínica y  $>2.9$  mmol/L cetosis clínica (Callo, 2016). En este estudio, las vacas tratadas con calostro mantuvieron niveles por debajo de estos umbrales, lo que favorece su recuperación metabólica post-inseminación y sugiere un mejor balance energético en comparación con el grupo testigo (Prado-Rebolledo et al., 2019).

El aumento en las inmunoglobulinas séricas en el grupo tratado con calostro respalda su efecto inmunomodulador, reduciendo la inflamación ovárica y

promoviendo un ambiente reproductivo más favorable (Balarezo-Urresta et al., 2020). Estudios previos han vinculado niveles elevados de IgG, IgA e IgM con una menor incidencia de infecciones uterinas y una mejor función reproductiva (Huertas-Molina et al., 2020). La combinación de estos efectos puede explicar el mejor desempeño reproductivo de las vacas que recibieron calostro, comparadas con las del grupo testigo. Esto sugiere que la administración de calostro parenteral es una estrategia efectiva para mejorar la eficiencia reproductiva en vacas Holstein con proestro prolongado.

Cuadro 6. Nivel de significancia (probabilidad) de los efectos fijos del modelo de mejor ajuste, para temperatura rectal (°C), inmunoglobulinas totales en suero sanguíneo (mg/mL) y  $\beta$ -hidroxibutirato en suero (mmol/L) de vacas Holstein en confinamiento recibiendo inyecciones subcutáneas de solución salina o calostro en Chapingo, Estado de México.

| Efecto y nivel <sup>a</sup>             | Coeficiente en el modelo | Variable                |                                           |                                     |
|-----------------------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------|
|                                         |                          | Temperatura rectal (°C) | Inmunoglobulinas totales en suero (mg/mL) | B-hidroxibutirato en suero (mmol/L) |
| Tratamiento                             |                          |                         |                                           |                                     |
| Calostro                                | $\beta_{01}$             | <.0001                  | <.0001                                    | <.0001                              |
| Solución salina                         | $\beta_{02}$             | <.0001                  | <.0001                                    | <.0001                              |
| Tratamiento x Tiempo                    |                          |                         |                                           |                                     |
| Calostro x Tiempo                       | $\beta_{11}$             | 0.0696                  | 0.2944                                    | <.0001                              |
| Solución salina x Tiempo                | $\beta_{12}$             | 0.0229                  | 0.1709                                    | 0.5693                              |
| Tratamiento x (Tiempo) <sup>2</sup>     |                          |                         |                                           |                                     |
| Calostro x (Tiempo) <sup>2</sup>        | $\beta_{21}$             | ----                    | ----                                      | <.0001                              |
| Solución salina x (Tiempo) <sup>2</sup> | $\beta_{22}$             | ----                    | ----                                      | 0.6210                              |

<sup>a</sup>Tratamientos: aplicación subcutánea de calostro o solución salina; Tiempo: días transcurridos desde el inicio de la aplicación de los tratamientos.

Cuadro 7. Coeficientes ( $\pm$  error estándar) de la regresión fija por tratamiento para temperatura rectal (°C), inmunoglobulinas totales en suero (mg/mL) y  $\beta$ -hidroxibutirato en suero (mmol/L) de vacas Holstein en confinamiento recibiendo inyecciones subcutáneas de solución salina o calostro en Chapingo, Estado de México.

| Tratamiento <sup>x</sup> | Parámetro de la regresión fija para los tratamientos comparados <sup>y</sup> |                                   |           |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------|
|                          | $\beta_0$                                                                    | $\beta_1$                         | $\beta_2$ |
|                          | Temperatura rectal (°C)                                                      |                                   |           |
| Calostro                 | 38.87 $\pm$ 0.072 <sup>a</sup>                                               | -0.0020 $\pm$ 0.0011 <sup>b</sup> | ----      |
| Solución salina          | 38.36 $\pm$ 0.071 <sup>b</sup>                                               | 0.0025 $\pm$ 0.0010 <sup>a</sup>  | ----      |
|                          | Inmunoglobulinas totales en suero (mg/mL)                                    |                                   |           |
| Calostro                 | 72.7 $\pm$ 2.2 <sup>a</sup>                                                  | 0.0438 $\pm$ 0.042                | ----      |
| Solución salina          | 66.5 $\pm$ 2.1 <sup>b</sup>                                                  | 0.0562 $\pm$ 0.041                | ----      |

|                 | <b>β-hidroxibutirato en suero (mmol/L)</b> |                               |                                                         |
|-----------------|--------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Calostro        | 0.995 ± 0.049 <sup>a</sup>                 | 0.0014 ± 0.0024 <sup>a</sup>  | -1.00E <sup>-5</sup> ± 2.7 E <sup>-5</sup> <sup>a</sup> |
| Solución salina | 1.224 ± 0.050 <sup>b</sup>                 | -0.0190 ± 0.0025 <sup>b</sup> | -1.00E <sup>-4</sup> ± 2.7 E <sup>-5</sup> <sup>b</sup> |

<sup>x</sup>Inyección subcutánea de calostro o solución salina.

<sup>y</sup>Dentro de variable y coeficiente, medias con diferente literal, son diferentes (P < 0.05; Tukey).

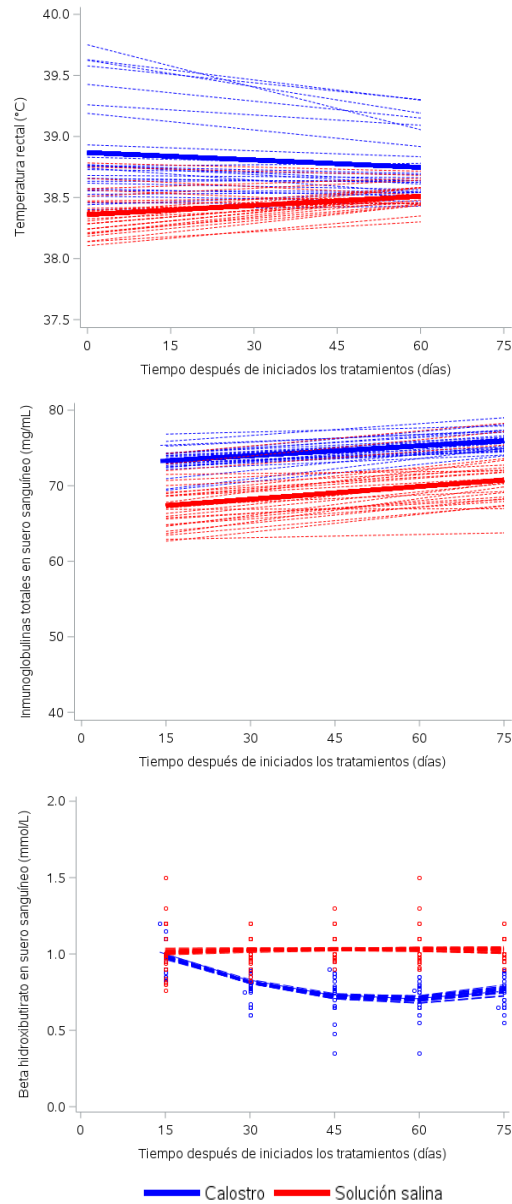


Figura 5. Valores observados (círculos), líneas predichas de la regresión fija por tratamiento y regresiones aleatorias por vaca (azul para calostro, rojo para solución salina) para temperatura rectal, inmunoglobulinas totales y concentración de  $\beta$ -hidroxibutirato en suero sanguíneo de vacas Holstein en confinamiento total en Chapingo, Estado de México.

### 3.6 Conclusiones

La administración subcutánea de 40 mL de calostro mejoró la eficiencia reproductiva en vacas Holstein al incrementar la tasa de gestación y favorecer el desarrollo folicular. También la concentración de inmunoglobulinas se incrementó, lo que sugiere el fortalecimiento de la respuesta inmune y la consecuente reducción del riesgo de infecciones reproductivas. Además, contribuyó a la estabilización del metabolismo al disminuir los niveles de  $\beta$ -hidroxibutirato, lo que se traduce en menor riesgo de trastornos metabólicos asociados a la reproducción. Esta respuesta fisiológica más equilibrada permitió una mejor adaptación al protocolo de sincronización de la ovulación, mejorando la fertilidad y reduciendo complicaciones post-inseminación

### 3.7 Literatura citada

- Anzures-Olvera, F., Valle-Medina, M., Dávila-García, G., Loya-Castro, C., Chávez-Sánchez, A., Vélez-Montoya, M., Macías-Carrillo, C., Avendaño-Reyes, L., & García-Mellado, M. (2018). Correlación de temperaturas superficiales y variables fisiológicas con índices de confort en vacas Holstein lactantes en un ambiente caluroso. *Revista MVZ Córdoba*, 25(1), 76-85. <https://doi.org/10.21897/rmvz.1465>
- Báez, R. V., & Cuahutle, V. V. (2006). Administración subcutánea de calostro bovino en vacas posparto: Impacto en la salud reproductiva. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 14(2), 45-50. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v14i2.1234>
- Balarezo-Urresta, M., Quispe, H., & Bellido, D. (2020). La condición corporal al parto y su relación con el reinicio de la actividad ovárica posparto en vacas Holstein. *Revista MVZ Córdoba*, 25(1), 76-85. <https://doi.org/10.21897/rmvz.1465>
- Balarezo-Urresta, M., Quispe, H., & Bellido, D. (2020). La condición corporal al parto y su relación con el reinicio de la actividad ovárica posparto en vacas Holstein. *Revista MVZ Córdoba*, 25(1), 76-85. <https://doi.org/10.21897/rmvz.1465>
- Callo F., J. G. (2016). Determinación de los niveles  $\beta$ -hidroxibutirato en sangre como método de diagnóstico de Cetosis Bovina en vacas lecheras de alta producción, Arequipa 2015. Tesis profesional. Universidad Católica de Santa María. Arequipa, Perú.
- Chigerwe, M., Tyler, J. W., Schultz, L. G., Middleton, J. R., Steevens, B. J., & Spain, J. N. (2008). Effect of colostrum administration by use of oroesophageal intubation on serum immunoglobulin G concentrations in Holstein bull calves. *American Journal of Veterinary Research*, 69(9), 1158-1163.

- Fernández, H., & Zambrano, A. (2017). Efectos del calostro vía subcutánea en vacas Holstein posparto. *Revista de Salud Animal*, 39(3), 231-238.  
<https://doi.org/10.1016/j.saludanimal.2017.04.002>
- Fricke, W. M. (2001). Ovsynch: A protocol for synchronization of ovulation in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 84(6), 1277-1287.  
[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(01\)70158-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)70158-7)
- García, E. (1981). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, UNAM.
- Godden, S. (2008). Colostrum management for dairy calves. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 24(1), 19-39.
- Huertas-Molina, O. F., Guzmán, V., Palacio, L. G., Zambrano-Varón, J., & Olivera-Angel, M. (2020). Concentraciones séricas de Beta-hidroxibutirato y su asociación con enfermedades posparto en bovinos de leche. *Revista MVZ Córdoba*, 25(3), 1821-1832. <https://doi.org/10.21897/rmvz.1821>
- Leyva-Corona, J. C., Thomas, M. G., Rincón, G., Medrano, J. F., Correa-Calderón, A., Avendaño-Reyes, L., & Hallford, D. M. (2016). Enfriamiento al inicio de verano para mitigar el estrés por calor en vacas Holstein del noroeste de México. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 7(4), 415-426.  
<https://doi.org/10.1016/j.rmcp.2016.06.002>
- López, F. J. (2006). Relación entre condición corporal y eficiencia reproductiva en vacas Holstein. *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 4(1), 77-86.  
<https://www.redalyc.org/pdf/3808/380878915010.pdf>
- López-Gatius, F., Almería, S., Serrano-Pérez, B., & García-Ispuerto, I. (2006). Fetal loss in high producing dairy herds. *Animal Reproduction*, 10(3), 252-257.  
<https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2006.01.001>
- Miller, J. K., Brzezinska-Slebodzinska, E., & Madsen, F. C. (1999). Oxidative stress, antioxidants, and animal function. *Journal of Dairy Science*, 76(9), 2812-2823.
- National Research Council. (2021). Nutrient requirements of dairy cattle: Eighth revised edition. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/25806>
- Peña, M. J., Góngora, A. O., & Estrada, J. L. (2007). Factores de crecimiento en el desarrollo folicular, embrionario temprano e implantación. *Revista MVZ Córdoba*, 12(1), 76-85.  
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0122-02682007000100010](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-02682007000100010)
- Prado-Rebolledo, O., Valpuesta-Santos, G., Valencia-Magaña, F., Hernández-Rivera, J., Macedo-Barragán, R., & García-Casillas, A. (2019). Determination of non-esterified fatty acids,  $\beta$ -hydroxybutyrate, triacylglycerol and cholesterol during negative energy balance in Holstein cows. *Abanico Veterinario*, 9, e914.  
<https://doi.org/10.21929/abavet2019.914>

- Rhodes, F. M., De'Ath, G., & Davis, G. H. (2014). Improving conception rates in dairy cows using CIDR synchronization. *Journal of Animal Science*, 92(3), 1345-1353. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-7245>
- Santos, J. E. P., & Thatcher, W. W. (2018). Fertility in dairy cows exposed to a short and intense period of heat stress. *Reproduction in Domestic Animals*, 41(2), 204-211.
- Santos, J. E. P., Thatcher, W. W., Chebel, R. C., Cerri, R. L. A., & Galvão, K. N. (2004). The effect of embryonic death rates in cattle. *Journal of Dairy Science*, 87(1), 213-231. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73160-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73160-2)
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN). (2024). Reportes climáticos anuales. Recuperado de: <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica>
- Silva, J. R., Figueiredo, J. R., & van den Hurk, R. (2020). Involvement of growth factors in ovarian function. *Theriogenology*, 73(6), 682-688. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2009.11.008>
- Tao, S., Monteiro, A. P. A., & Dahl, G. E. (2018). Effects of dairy cow management practices on colostrum quality and growth of preweaned calves. *Journal of Dairy Science*, 101(11), 10530-10540. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-14012>