UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA, INVESTIGACIÓN Y SERVICIO EN ZOOTECNIA

POSGRADO EN PRODUCCIÓN ANIMAL

ADMINISTRACIÓN DE CALOSTRO VÍA PARENTERAL EN EL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y REPRODUCTIVO DE VACAS LECHERAS

TESIS

Que como requisito parcial
para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

Presenta:

JESÚS ROGELIO SÁNCHEZ COTA

Bajo la supervisión de: CONSTANTINO ROMERO MÁRQUEZ, M.C.

Chapingo, Estado de México, junio de 2019

ADMINISTRACIÓN DE CALOSTRO VÍA PARENTERAL EN EL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y REPRODUCTIVO DE VACAS LECHERAS

Tesis realizada por **JESÚS ROGELIO SÁNCHEZ COTA** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

DIRECTOR:

M.C. CONSTANTINO ROMERO MÁRQUEZ

ASESOR:

Ph.D. RAYMUNDO RODRÍGUEZ DE LARA

ASESOR:

Ph.D. AGUSTÍN RUÍZ FLORES

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS vi
LISTA DE FIGURAS vii
LISTA DE APÉNDICES viii
DEDICATORIAS ix
AGRADECIMIENTOS x
DATOS BIOGRÁFICOS xi
RESUMEN GENERAL xii
GENERAL *ABSTRACT* xiii
1 INTRODUCCIÓN GENERAL 1
2 REVISIÓN DE LITERATURA 3
2.1 Factores que influyen en el comportamiento reproductivo del ganado lechero 3
2.1.1 Nivel de producción de leche 3
2.1.2 Condición corporal 4
2.1.3 Estrés calórico 5
2.1.4 Reinicio de la actividad ovárica posparto 6
2.1.5 Edad y número de parto 6
2.1.6 Detección de estro y tiempo de inseminación 7
2.1.7 Desórdenes reproductivos 8
2.2 Nutrición de la vaca 11
2.2.1 Consumo voluntario 11
2.2.2 Nivel y calidad de proteína en la reproducción 12
2.2.3 Nivel y calidad de la energía en la reproducción 13
2.3 El calostro como estrategia para mejorar la salud y fertilidad de la vaca 14

2.3.1 Composición del calostro 14
2.3.2 Evaluación de la calidad del calostro 14
2.3.3 Aplicaciones clínicas del calostro bovino 14
2.3.4 Aplicación de calostro en bovinos lecheros 15
2.4 Literatura citada 16
3 EFECTO DE LA ADMINISTRACIÓN DE CALOSTRO VÍA PARENTERAL EN LA PRODUCCIÓN Y COMPOSICIÓN DE LECHE EN VACAS LECHERAS 23
3.1 Resumen 23
3.2 Abstract 24
3.3 Introducción 25
3.4 Materiales y métodos 27
3.4.1 Localización del área de estudio 27
3.4.2 Selección de animales, alimentación y manejo 27
3.4.3 Preparación de las dosis de calostro 28
3.4.4 Administración de los tratamientos 28
3.4.5 Obtención de muestras de sangre 28
3.4.6 Inseminación artificial 29
3.4.7 Diagnóstico de gestación 29
3.4.8 Análisis estadístico 29
3.5 Resultados y discusión 34
3.6 Conclusiones 41
3.7 Agradecimientos 41
3.8 Literatura Citada 42

4 ADMINISTRACIÓN DE CALOSTRO VÍA PARENTERAL EN LA SALUD Y FERTILIDAD DE VACAS LECHERAS 45
4.1 Resumen 45
4.2 Abstract 46
4.3 Introducción 47
4.4 Materiales y métodos 48
4.4.1 Localización del área de estudio 48
4.4.2 Selección de animales, alimentación y manejo 49
4.4.3 Preparación de las dosis de calostro 49
4.4.4 Administración de los tratamientos 50
4.4.5 Obtención de las muestras de sangre 50
4.4.6 Inseminación artificial 50
4.4.7 Diagnóstico de gestación 51
4.4.8 Análisis estadístico 51
4.5 Resultados y discusión 53
4.6 Conclusiones 58
4.7 Agradecimientos 58
4.8 Literatura Citada 58

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Medias de mínimos cuadrados para producción de leche diaria, ajustada a 305 días de lactancia y corregida al 4% de grasa para vacas lecheras tratadas y sin tratar con calostro. 35
Cuadro 2. Niveles de significancia para los efectos fijos incluidos en los modelos de regresión aleatoria con mejor ajuste para describir las curvas de producción de leche y porcentajes de grasa, proteína y lactosa, de vacas lecheras tratadas y sin tratar con calostro..... 35
Cuadro 3. Porcentaje de animales que presentaron enfermedad o no para vacas lecheras tratadas con calostro. 53
Cuadro 4. Incidencia en enfermedades presentadas para vacas lecheras tratadas con calostro..... 54
Cuadro 5. Efecto de la interacción tratamiento × estado de salud en el porcentaje de gestación de vacas lecheras tratadas con calostro..... 55
Cuadro 6. Efecto de la administración de calostro en el intervalo parto primer servicio, servicios por concepción y días abiertos en vacas lecheras..... 56
Cuadro 7. Porcentaje de gestación por número de servicio para vacas lecheras tratadas con calostro parenteral..... 57
Cuadro 8. Efecto de la administración de calostro en el estado reproductivo de vacas lecheras. 57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Curvas de lactancia promedio para vacas lecheras tratadas y sin tratar con calostro, ajustadas a un polinomio de Legendre de grado 5. 36
Figura 2. Curvas de lactancia promedio para vacas lecheras de primera a tercera lactancia ajustadas con un polinomio de Legendre de grado 5. 37
Figura 3. Curvas para porcentaje de grasa de vacas tratadas y sin tratar con calostro, ajustadas con un polinomio de Legendre de grado 4. 38
Figura 4. Curvas para porcentaje de proteína de vacas tratadas y sin tratar con calostro, ajustadas con un polinomio de Legendre de grado 5. 39
Figura 5. Curvas para porcentaje de proteína por mes de parto de vacas tratadas y sin tratar con calostro, ajustadas con un polinomio de Legendre de grado 5. 39
Figura 6. Curvas para porcentaje de lactosa de vacas tratadas y sin tratar con calostro, ajustadas con un polinomio de Legendre de grado 2. 40
Figura 7. Curvas para porcentaje de proteína por número de lactancia de vacas tratadas y sin tratar con calostro, ajustadas con un polinomio de Legendre de grado 2. 41

LISTA DE APÉNDICES

Apéndice 1. Indicadores de bondad de ajuste para polinomios de Legendre de diferente orden, ajustados a registros de producción y componentes de leche de vacas con y sin tratamiento de calostro. 61

DEDICATORIAS

A mi madre Sandra Cota Verdugo:

Por su apoyo, consejos, valores, y motivación, pero sobretodo, por su amor.

A mi padre Francisco Javier Sánchez Cota:

Por su guía, perseverancia y constancia que ha inspirado en mí para salir adelante.

A mis abuelas:

María Verdugo Avilés y Rosario Isabel Cota Taylor; por todo el amor que he recibido de ustedes por todos sus consejos y correcciones.

A mi Tía Irma y a su familia:

Por todo el apoyo y el cariño que de ustedes he recibido y que en los momentos difíciles me han inspirado y apoyado para concluir esta importante etapa de mi vida con éxito.

A mis hermanos:

Francisco Javier, Gabriela y Rosario Isabel por apoyarme siempre, los quiero mucho.

Jesús Rogelio

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el financiamiento otorgado, así como a la Universidad Autónoma Chapingo y al Posgrado en Producción Animal por brindarme la oportunidad y el apoyo para realizar estudios de maestría.

A mis asesores:

M.C. Constantino Romero Márquez por su dirección, confianza y enseñanzas brindadas para realizar la presente tesis.

Ph.D. Agustín Ruíz Flores por sus enseñanzas, confianza y consejos brindados para la realización de la presente tesis.

Ph.D. Raymundo Rodríguez de Lara por su tiempo y enseñanzas otorgadas durante la estancia en esta institución.

Ph.D. José Guadalupe García Muñiz, por sus enseñanzas, tiempo y consejos brindados para la culminación de la presente tesis.

Ph.D. Carlos L. Cíntora González, por el apoyo brindado durante la realización de la presente tesis.

Al establo lechero "Santa Clara":

Al Ing. Jaime Eloy Bretón y Bretón, propietario, por proporcionar las instalaciones, animales, materiales y equipos necesarios para la realización del estudio. Al Ph.D. Alberto Ortiz Márquez, al M.V.Z. Enrique Bretón y al personal del rancho; por todo el apoyo brindado durante la fase de campo.

A mis compañeros de maestría: Danibaán, Gustavo, Marco Antonio, Nury Marisol, Elba Martha, María de Lourdes, Florencia, Alfredo y Minerva Hayde.

Jesús Rogelio.

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos personales

Nombre:	Jesús Rogelio Sánchez Cota
Fecha de nacimiento:	5 de noviembre de 1980
Lugar de nacimiento:	La Paz, Baja California Sur
CURP:	SACJ801105HBSNTS02
Profesión:	Ingeniero Zootecnista
Cédula profesional:	4727954

Desarrollo académico

Maestría:	Maestría en Ciencias en Innovación Ganadera, Posgrado en Producción Animal, Universidad Autónoma Chapingo, 2017-2018
Licenciatura:	Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma de Baja California Sur, 2000-2004

RESUMEN GENERAL

ADMINISTRACIÓN DE CALOSTRO VÍA PARENTERAL EN EL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y REPRODUCTIVO DE VACAS LECHERAS

Para evaluar el efecto del calostro vía parenteral en el comportamiento productivo y reproductivo de vacas lecheras, se realizaron dos estudios. En el primero, se evaluó el efecto del calostro en la producción y composición de la leche; se utilizaron 98 vacas de una a seis lactancias con 60 d en leche, condición corporal de 2.5 a 4.0 y 608 kg. Las vacas se asignaron aleatoriamente a dos grupos; al primero se le administró vía parenteral 20 mL de calostro 60, 74, 88, 102, 116, 130, 144 y 158 d posparto, y al segundo no se le aplicó calostro. Se concluye que la administración de calostro vía parenteral en las fosas isquiorrectales, no mostró diferencias ($p>0.05$) para la cantidad de leche producida, ni para los porcentajes de grasa y lactosa. Sin embargo, el porcentaje de proteína fue mayor en la leche de vacas tratadas con calostro desde 60 hasta 158 d en leche, cuando el calostro tratado térmicamente se aplicó a intervalos de 14 d. En el segundo estudio, se evaluó el efecto del calostro en pre y posparto, en la salud y fertilidad; se utilizaron 41 vacas de dos a cuatro lactancias, condición corporal de 3.0 a 4.0 y 708 kg. Las vacas fueron asignadas aleatoriamente a dos tratamientos; en el primero, se le administró 20 mL de calostro en los días -60, -30, 0, 14, 28, 42, y 56 con relación al parto, y en el segundo, se le administró 40 mL de calostro los días -60, -30, 0, y 21; en ambos grupos, la aplicación del día cero fue 50 mL de calostro sin tratamiento térmico y proveniente del primer ordeño de la misma vaca. Se concluye que la administración de calostro vía parenteral en las fosas isquiorrectales, no afectó la salud y fertilidad de vacas lecheras.

Palabras Clave: vaca lechera, fertilidad, inmunidad, posparto, calostro[1].

---

[1] Tesis de Maestría en Ciencias en Innovación Ganadera, Posgrado en Producción Animal, Universidad Autónoma Chapingo

Autor: Jesús Rogelio Sánchez Cota

Director de Tesis: M.C. Constantino Romero Márquez

GENERAL *ABSTRACT*

ADMINISTRATION OF PARENTERAL COLOSTRUM IN THE PRODUCTIVE AND REPRODUCTIVE PERFORMANCE OF DAIRY COWS

Two studies were conducted to evaluate the effect of parenteral colostrum on the productive and reproductive performance of dairy cows. In the first study, the effect of colostrum on the production and composition of milk was evaluated; using 98 cows from one to six lactations with 60 d in milk, body condition from 2.5 to 4.0 and live weight average of 608 kg. The cows were randomly assigned to two groups; in the first, 20 mL of colostrum was administered parenterally at 60, 74, 88, 102, 116, 130, 144 and 158 d postpartum, and the second did not receive colostrum. The administration of parenteral colostrum in the ischiorectal pits, did not show differences ($p>0.05$) with control treatment, neither for the milk yield nor for the percentages of fat and lactose. However, the protein percentage was higher in the milk of cows treated with colostrum from 60 to 158 d in milk, when heat-treated colostrum was applied at intervals of 14 d. In the second study, the effect of colostrum on pre and postpartum health and fertility was evaluated; using 41 cows from two to four lactations, body condition from 3.0 to 4.0 and live weight average of 708 kg. The cows were randomly assigned to two groups; in the first, 20 mL of colostrum was administered on days -60, -30, 0, 14, 28, 42, and 56 in relation to calving, and in the second group, 40 mL of colostrum was administered on days - 60, -30, 0, and 21. In both treatments, the application of day zero was 50 mL of colostrum without heat treatment and from the first milking of the same cow. It is concluded that the administration of parenteral colostrum in the ischiorectal pits does not affect the health and fertility of dairy cows.

Key words: dairy cow, fertility, immunity, postpartum, colostrum[2].

---

[2] Master of Science Thesis, Master in Livestock Innovation, Universidad Autónoma Chapingo

Author: Jesús Rogelio Sánchez Cota

Advisor: M.C. Constantino Romero Márquez

1 INTRODUCCIÓN GENERAL

La industria lechera ha avanzado notoriamente en las últimas décadas para lograr una mayor producción de leche, debido a la selección genética (Miglior et al., 2017), al mejor manejo de la nutrición (Schingoethe, 2017; Schwab & Broderick, 2017), y a mejoras en el manejo de los animales, instalaciones y alojamientos (Bewley, Robertson, & Eckelkamp, 2017). Sin embargo, las vacas lecheras actuales se caracterizan por una fertilidad disminuida, con baja tasa de preñez, y elevada mortalidad embrionaria y fetal (Moore & Thatcher, 2006).

El proceso biológico de la lactancia está destinado a proporcionar nutrientes y protección inmunológica a la descendencia, este proceso es dinámico y dependiente del tiempo, por tanto, la cantidad y composición de la leche varían con la etapa de desarrollo de la cría. La producción de leche presenta una curva típica o estándar, mostrando una etapa inicial de incremento hasta llegar al máximo de producción o pico de lactancia, para posteriormente iniciar la fase descendente o de persistencia (Akers, 2017; Langer, 2008; Strucken, Laurenson, & Brockmann, 2015).

Los cambios en los rendimientos de grasa y proteína de la leche durante la lactancia están correlacionados positivamente con el volumen de producción. Sin embargo, al expresar estos valores en porcentaje muestran una correlación inversa, es decir, los porcentajes de grasa y proteína disminuyen conforme la producción aumenta (Silvestre, Martins, Santos, Ginja, & Colaço, 2009).

Se acepta que el esfuerzo metabólico que implica producir grandes volúmenes de leche, disminuye la eficiencia reproductiva de los hatos lecheros (Butler, 2003; Moore & Thatcher, 2006). Así mismo, el manejo reproductivo requiere que las vacas se inseminen y preñen de dos a cuatro meses posparto, mientras están en la fase de mayor producción de leche (Lucy, 2001), estando en balance energético negativo y con el consumo de materia seca aún bajo (Butler, 2003).

Sordillo y Aitken (2009) mencionaron que una variedad de especies moleculares reactivas de oxígeno se producen por procesos metabólicos (radicales libres ej., anión superóxido y peróxido de hidrógeno) y por ciertas poblaciones de leucocitos durante la defensa contra enfermedades, existiendo un daño oxidativo de los tejidos y los componentes celulares en tiempos de alta actividad metabólica, como el caracterizado por la alta producción en las vacas en transición. Recientemente, el interés en el estudio de la inmunidad y de la inflamación posparto ha aumentado, debido a que la severidad en estos eventos puede perjudicar la dinámica folicular (Sina, Dirandeh, Deldar, & Shohreh, 2018).

El calostro bovino es una mezcla compleja de proteínas, lípidos, carbohidratos, vitaminas y minerales que contienen inmunoglobulinas, factores de crecimiento y citosinas (Tacoma et al., 2017). Estos compuestos pueden beneficiar a otros animales, incluidos los humanos (Rathe, Müller, Sangild, & Husby, 2014). Báez y Cuahutle (2006) evaluaron el efecto del calostro bovino administrado vía subcutánea a vacas posparto, encontrando efectos benéficos en su salud y fertilidad. Por su parte, Fernández y Zambrano (2017) evaluaron el efecto de la administración de calostro vía subcutánea administrado semanalmente durante 42 d posparto, encontrando que se fortaleció el sistema inmune de vacas después del parto.

El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de la administración de calostro vía parenteral, en el comportamiento productivo y reproductivo de vacas lecheras.

En el Capítulo 2, se revisa literatura contemporánea relacionada con el tema estudiado en la tesis.

En el Capítulo 3, se presentan los resultados de la administración de calostro vía parenteral en la producción y composición de la leche en vacas lecheras.

En el Capítulo 4, se presentan los resultados de la administración de calostro vía parenteral en la salud y fertilidad de vacas lecheras.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Factores que influyen en el comportamiento reproductivo del ganado lechero

Las vacas lecheras se han seleccionado durante décadas para una alta producción láctea. Esto se ha asociado con una baja fertilidad (Butler, 1998); este fenómeno se ha observado en muchas regiones con diferentes sistemas de producción como Estados Unidos de América (Butler, 1998; Lucy, 2001; Walsh, Williams, & Evans, 2011); Reino Unido (Royal et al., 2000), Australia (Lucy, 2001; Macmillan, Lean, & Westwood, 1996), Nueva Zelanda (Macmillan et al., 1996) e Irlanda (Roche, Mackey, & Diskin, 2000). Sin embargo, la fertilidad es un rasgo multifactorial y su deterioro se ha atribuido a una serie de factores genéticos, ambientales y de manejo, los cuales se interrelacionan de manera compleja (Walsh et al., 2011). Dentro de los principales factores que influyen el comportamiento reproductivo están los genéticos, fisiológicos, nutricionales, tamaño del hato, salud de la vaca, del medio ambiente, y sus interacciones, lo que dificulta atribuir la baja fertilidad a una razón específica (Butler, 2003; Moore & Thatcher, 2006).

2.1.1 Nivel de producción de leche

La selección genética realizada en el siglo pasado para aumentar la producción de leche, aparentemente se ha asociado con una disminución en la fertilidad, debido principalmente al aumento de los problemas clínicos posparto, una expresión pobre del estro, ovocitos y embriones defectuosos, e infecciones uterinas (Dobson, Smith, Royal, Knight, & Sheldon, 2007).

Lucy (2001) mencionó que los efectos de la producción de leche en la reproducción se observan principalmente en las vacas de mayor producción, lo que probablemente sugiere que la disminución de fertilidad observada en los últimos años sea un reflejo del aumento de vacas altas productoras. En concordancia con lo anterior, Pryce, Royal, Garnsworthy, y Mao (2004) sugirieron

que existe una correlación genética desfavorable entre producción y fertilidad, y que un desequilibrio de nutrientes en vacas de alto mérito genético conduce a un desempeño reproductivo deficiente. Strucken, Bortfeldt, Tetens, Thaller, y Brockmann (2012) estimaron entre -0.24 y -0.26 ($p<0.0001$) la correlación genética entre producción de leche y características de fertilidad.

Royal et al. (2000) evaluaron en el Reino Unido las tasas de preñez al primer servicio entre 1975-1982 y 1995-1998, encontrando una disminución de 55.6 a 39.7%, correspondiente aproximadamente a 1% de reducción anual. Por su parte, Lucy (2001) observó una disminución de 0.5% anual para los Estados Unidos de América en un periodo similar, en el mismo periodo se incrementó 20% la producción de leche.

2.1.2 Condición corporal

Edmonson, Lean, Weaver, Farver y Webster (1989) desarrollaron un método subjetivo para evaluar la cantidad de energía metabolizable almacenada en la grasa y el músculo de las vacas lecheras, denominado grado de condición corporal (CC). El método consiste en asignar valores en escala de 1 (emaciada) a 5 (gorda), con incrementos de 0.25, a ocho características particulares del animal, y se considera un indicador de la severidad y duración del balance energético negativo (BEN) posparto.

Recientemente, Bedere, Cutullic, Delaby, Garcia-Launay y Disenhaus (2018) realizaron un metaanálisis de la asociación de la lactancia y la reproducción. Estos autores observaron que la actividad ovárica posparto se asoció principalmente con la CC al parto, mientras que la expresión del estro se asoció con el nivel de producción de leche. Además, la fertilidad fue modificada por la CC y por la producción, por lo que sugirieron que una CC de 3.0 al parto puede contribuir al reinicio de la actividad lútea antes del día 25 posparto.

Por su parte, López-Gatius, Yániz y Madriles-Helm (2003) mostraron que las vacas con alta CC al parto redujeron los días abiertos 5.8 y 11.7 d, en

comparación con los animales con CC intermedia o baja, respectivamente. Así mismo, se observó que en animales con CC alta en la primera inseminación artificial, los días abiertos disminuyeron 11.9 y 24.1, en comparación con las de CC intermedia o baja, respectivamente.

2.1.3 Estrés calórico

Balogh et al. (2012) mencionaron que tanto el aumento de ácidos grasos no esterificados (NEFA) y β-hidroxibutirato (BHB), como la disminución del IGF-I en las concentraciones plasmáticas, pueden reducir la fertilidad en verano, afectando la función ovárica y la calidad de los ovocitos. Posteriormente, Turk et al. (2015) investigaron el efecto térmico estacional en el metabolismo de los lípidos, actividad antioxidante y fertilidad. Estos autores encontraron que las concentraciones plasmáticas de triglicéridos, NEFA y BHB, aumentaron significativamente después del parto en verano en comparación con el invierno, lo que indica un mayor grado de BEN en las vacas en verano. Estos autores también observaron que la actividad de paraoxonasa-1 se redujo después del parto, tanto en verano como en invierno; la concentración total de antioxidantes fue menor en verano que en invierno; se necesitó un número mayor de servicios por concepción en verano en comparación con invierno; el intervalo parto-concepción fue mayor; y la fertilidad se correlacionó con la severidad del BEN, lo que sugiere que la movilización de los lípidos y el menor nivel de antioxidantes contribuyeron a la baja fertilidad en los meses calurosos.

Alhussien et al. (2018) estudiaron los factores inmunológicos que pueden contribuir a fallas en la implantación en diferentes temporadas (IV: invierno; HC: húmedo-caliente; CS: caliente-seca) en condiciones tropicales. Estos autores encontraron que la actividad inflamatoria de los neutrófilos, la interleucina-2 plasmática y el cortisol fueron más altas en HC, intermedias en CS y más bajas en IV. Sin embargo, la progesterona plasmática y la interleucina-10 fueron más altas en IV y más bajas en HC; mostrando que los neutrófilos sanguíneos detectan el embrión implantado y reducen su actividad para asegurar una

implantación exitosa. Sin embargo, en condiciones ambientales adversas, es un desafío para el sistema inmunológico mantener ese equilibrio y, por tanto, pueden afectar negativamente la gestación.

2.1.4 Reinicio de la actividad ovárica posparto

El reinicio de la actividad ovárica, la salud uterina, la gravedad del BEN y la síntesis de mediadores inflamatorios durante el período de transición están interrelacionados. Krause et al. (2014) evaluaron la asociación entre la reanudación de la actividad ovárica posparto y el porcentaje de células polimorfonucleares (PMN) en la citología endometrial, la movilización de lípidos y la secreción de proteínas de fase aguda, y concluyeron que las vacas que reanudaron la actividad ovárica temprano en el período posparto tuvieron concentraciones más altas de albúmina en el período periparto, las cuales se asociaron con un menor porcentaje de células PMN uterinas.

2.1.5 Edad y número de parto

Las vacas primíparas generalmente producen menor cantidad de leche que las multíparas, debido principalmente a la demanda de nutrientes para su crecimiento, lo que puede aumentar su BEN y su longitud del anestro posparto. Recientemente, Piñeyrúa, Fariña y Mendoza (2018) realizaron un estudio para determinar los efectos del número de parto en la producción, reproducción y estado metabólico de vacas Holstein en Uruguay, y observaron en primíparas menor producción de leche y sus componentes ($p<0.01$), menores pesos corporales ($p<0.05$) y mayores CC ($p<0.01$), así como mayores niveles de glucosa, insulina e IGF-1 y concentraciones más bajas de NEFA y BHB ($p<0.01$), que las vacas multíparas. Los intervalos del parto a la primera ovulación no fueron afectados por el número de parto; sin embargo, las vacas primíparas mostraron menos ciclos anormales (27.2%) que las vacas multíparas (50.0%) ($p<0.01$).

2.1.6 Detección de estro y tiempo de inseminación

El comportamiento durante el estro se produce por influencia de hormonas esteroides ováricas que estimulan los centros conductuales del cerebro (Roelofs, López-Gatius, Hunter, Van-Eerdenburg, & Hanzen, 2010). Estos autores señalan que el folículo madura debido al estímulo de las gonadotropinas y durante los últimos tres o cuatro días del ciclo sintetiza y secreta cantidades crecientes de estradiol que desencadenan la respuesta de comportamiento de estro y un pico de LH que provoca la ovulación comúnmente de 20 a 30 h más tarde.

Van Eerdenburg, Loeffler, y Van Vliet (1996) mencionan que el signo primario del estro es aceptar la monta, es decir, permanecer inmóvil cuando la vaca es montada. Este hecho se utiliza para determinar el momento correcto para inseminar bajo la norma am/pm, también existen otros signos denominados signos secundarios de estro que son inquietud, aumento de actividad física, olfatear la vulva de otra vaca, signo de Flehmen, reposar la barbilla en el lomo de otra vaca, lamer, frotar y el comportamiento agresivo como cabezazo.

Reith y Hoy (2017) señalan que la detección del estro es un factor fundamental que afecta la eficiencia reproductiva, especialmente cuando se utiliza inseminación artificial y el método tradicional para la detección es a través de la observación visual, difícil en hatos grandes debido a cortos períodos de observación durante la alimentación y el ordeño, y lo reducido en la duración del estro; lo que conduce a pérdidas debido a mayores intervalos entre partos y menor producción de leche, aumento de costos veterinarios, entre otros. Crowe (2018) menciona que las tasas de detección de estro varían entre hatos de 30 a 70%, por su parte Van Eerdenburg, Karthaus, Taverne, Mercis, y Szenci (2002) realizaron un estudio donde observaron 100 vacas para signos visuales de estro, dos veces día^{-1} por 30 minutos, el momento de la ovulación se evaluó mediante ecografía de los ovarios; observaron que sólo 50% de las vacas en estro fueron montadas por otras vacas.

Actualmente existen sistemas de detección de presión, medidores de actividad radiotelemétricos, cámaras de video, mediciones de la temperatura corporal y de concentración de progesterona en leche. Dransfield, Nebel, Pearson y Warnick (1998) determinaron el tiempo óptimo de inseminación en hatos que utilizan sistemas radiotelemétricos con tasas de detección de 80 a 90% de estros, las tasas de concepción más altas ocurrieron entre 4 y 12 h después del inicio de la monta, la probabilidad de preñez fue mayor para las vacas con más de 100 d en leche.

2.1.7 Desórdenes reproductivos

2.1.7.1 Partos distócicos

Mee (2008) menciona que el término distocia significa parto difícil que resulta prolongado y puede requerir extracción asistida, comparado con eutocia que es un parto espontáneo y de duración normal, siendo más largo en primíparas que en multíparas. Este mismo autor señala que la incidencia a nivel internacional es generalmente menor que 5%, sin embargo, tiende aumentar.

Ghavi (2016) evaluó el efecto de la distocia en el desempeño reproductivo y la sobrevivencia en vacas Holstein en Irán de 1987 a 2014; mostrando que la distocia tuvo efectos negativos para desempeño reproductivo ($p<0.05$) y para la sobrevivencia ($p<0.0001$).

Para estudiar los factores que afectan la distocia y sus efectos en el comportamiento productivo y reproductivo, Gaafar, Shamiah, El-Hamd, Shitta y El-Din (2011) realizaron un estudio en Egipto con vacas Frisonas de 1997 a 2004, la incidencia de distocia fue 6.9%, el mayor porcentaje se detectó en invierno y el menor en verano (8.5 y 4.8, $p<0.05$); la incidencia fue mayor ($p<0.05$) con partos gemelares que con un solo ternero (15.5 vs. 6.5%) sin encontrar diferencias entre sexos; el primer estro (26 y 22 d), el primer servicio (58.1 y 49.2 d), el período de servicio (92.5 y 74 d), los días abiertos (150.5 y 123.2 d) y el intervalo de parto (428.5 y 400.6 d) fueron significativamente mayores ($p<0.05$),

la tasa de concepción más baja (60.5 y 73.0%, $p<0.05$), el número de servicios por concepción mayor (3.4 vs. 2.7, $p<0.05$) y el rendimiento promedio diario de leche fue 1 kg menor ($p<0.05$) para las vacas que tuvieron de distocia comparadas con las vacas de parto normal.

De acuerdo con De Amicis, Veronesi, Robbe, Gloria y Carluccio (2018), en Italia de 2005 a 2015, las causas de distocia de origen fetal fueron mayores a las de origen materno (80.2 y 19.8%), la incidencia fue 5.6% siendo mayor en primíparas que multíparas (10.7 y 3.7%) y el manejo realizado con corrección manual en el 96% de los casos, se asoció con 25% de la mortalidad de terneros y 11% de la mortalidad materna.

2.1.7.2 Infecciones uterinas

El proceso del parto es un período de alto riesgo para la vaca debido a la contaminación microbiana uterina que puede conllevar a posteriores infecciones o enfermedades. Sheldon, Williams, Miller, Nash y Herath (2008) reportaron que entre 80 y 100% de las vacas tienen bacterias en el útero dentro de las primeras dos semanas posparto; aunque las respuestas inmunitarias eliminan progresivamente los microbios, se ha detectado que hasta 40% pueden mantener la infección bacteriana tres semanas posparto. Además, la infertilidad asociada con la enfermedad uterina la causa el daño al endometrio y la interrupción de la actividad cíclica del ovario. Las bacterias modulan la secreción de prostaglandinas del endometrio, y perturban el crecimiento y la función del folículo ovárico.

La microbiota en la vagina de vacas lecheras Holstein durante el período de transición fue descrita por Bicalho et al. (2017). Los *philos* asociados como factores de riesgo para enfermedad uterina fueron Proteobacterias, Fusobacterias y Bacteroidetes; las vacas con metritis tuvieron una carga más alta de Proteobacterias una semana antes y en el parto, además de una mayor carga de Fusobacterias en el posparto. Además, la carga de Bacteroidetes en el día

siete posparto fue mayor para las vacas con endometritis. Las cargas estimadas más altas de Fusobacterias y Bacteroidetes también fueron evidentes en vacas con fiebre posparto, en primíparas con parto asistido, y en las que parieron mellizos.

Bicalho, Marques, Gilbert y Bicalho (2017) encontraron que la concentración de glucosa en plasma está asociada con la aparición de metritis y endometritis clínica. Además, las vacas con mayor intervalo parto-concepción, >150 d, presentaron mayores concentraciones de glucosa en plasma, que las que concibieron en los primeros 150 d, mientras que BHB y NEFA no se asociaron con la aparición de ningún trastorno uterino. La glucosa a los tres días en leche fue el mejor predictor para el diagnóstico de metritis y endometritis, así mismo reportaron una correlación negativa entre el rendimiento en leche en la primera y segunda semana de lactancia y las concentraciones de glucosa en plasma medidas en los días 7 y 14 (0.31 y 0.27; $p<0.001$), respectivamente.

2.1.7.3 Quistes ováricos

Los quistes ováricos se definen como la presencia de uno o más folículos mayores que 20 mm de diámetro en uno o ambos ovarios, que persisten hasta 10 días sin tejido lúteo, interrumpiendo el ciclo reproductivo normal, debido a una falla del hipotálamo para desencadenar la oleada preovulatoria de LH en respuesta al estradiol (Braw-Tal, Pen, & Roth, 2009; Vanholder, Opsomer, & De Kruif, 2006). Los quistes pueden clasificarse funcionalmente como lúteos o foliculares según la concentración de progesterona en suero o en leche al momento del diagnóstico (Silvia, Hatler, Nugent, & Da Fonseca, 2002).

La incidencia varía de 5 a 30% (Garverick, 1997; Silvia et al., 2002; Vanholder et al., 2006), generando pérdidas económicas por el aumento de 22 a 64 d abiertos (Peter, 2004), de 6 a 11 d más para el primer servicio y de 20 a 30 d más para la concepción (Fourichon, Seegers, & Malher, 2000).

2.1.7.4 Fertilidad del semen

La fertilidad de los toros se evalúa después de que su semen ha sido colectado, procesado y congelado para su uso en la inseminación artificial, esta evaluación implica la motilidad, morfología y concentración estas pruebas establecen los estándares para la utilización. Gillan, Kroetsch, Maxwell y Evans (2008) evaluaron la fertilidad de toros Holstein, la cual se correlacionó con las características motilidad post-descongelación: motilidad ($r=0.672$, $p\leq=0.033$), velocidad de línea recta ($r=0.636$, $p\leq0.048$), morfología espermática ($r=-0.762$, $p\leq0.010$), viabilidad espermática ($r=0.635$, $p\leq0.048$), concentración de espermatozoides ($r=0.649$, $p\leq 0.042$), morfología espermática ($r=-0.687$, $p\leq0.028$), número de espermatozoides que migran a moco cervical artificial ($r=0.632$, $p\leq0.050$) y distancia migrada por el espermatozoide en moco artificial ($r=0.701$, $p\leq0.024$), encontrando una correlación mayor que 0.9 con fertilidad.

Gliozzi, Turri, Manes, Cassinelli y Pizzi (2017) evaluaron semen congelado de 18 toros italianos Holstein-Friesian probados mediante análisis de semen asistido por computadora y citometría de flujo, los toros se dividieron en grupos de fertilidad alta y baja, encontraron diferencias entre grupos para: motilidad total, células activas, linealidad, viabilidad y porcentaje de esperma fragmentado de ADN.

2.2 Nutrición de la vaca

La nutrición tiene un papel primordial en vacas lecheras ya que un excesivo BEN reduce las concentraciones de insulina e IGF-1 y aumenta la hormona del crecimiento, lo que provoca retrasos en la ciclicidad del celo y una disminución de la calidad de los ovocitos y la función del cuerpo lúteo en el reinicio de la actividad ovárica (Robinson, Ashworth, Rooke, Mitchell, & McEvoy, 2006).

2.2.1 Consumo voluntario

El consumo de materia seca (CMS) es importante ya que establece la cantidad de nutrientes disponibles para la salud, producción y reproducción. En la vaca

lactante el gasto energético para producción de leche alcanza un máximo dentro de cuatro a ocho semanas posparto, y el pico de CMS se retrasa hasta las 10 a 14 semanas (NRC, 1989). Consecuentemente las vacas estarán normalmente en balance energético negativo durante el periodo reproductivo (Butler, 2005).

En el posparto se generan cambios endocrinos y metabólicos que facilitan el desvío de nutrientes de las reservas maternas hacia la síntesis de la leche, generando gran estrés. En este periodo es común que las vacas lecheras produzcan 10 veces más leche de lo que se requiere para satisfacer los requerimientos de nutrientes de las crías, durante este período el CMS se encuentra en el punto más bajo del ciclo de lactancia-gestación (Grummer, Mashek, & Hayirli, 2004).

Dentro de los factores que afectan el CMS se encuentran los físicos que dependen de la capacidad y volumen del retículo-rumen y están determinados por la tasa de digestión del alimento, la tasa de pasaje y el efecto de llenado, la fibra detergente neutra, fibra detergente ácida, contenido de agua y la motilidad (Tahir, 2008). Este autor menciona que cuando el alimento cumple con los requisitos de energía o proteína de las vacas lecheras, la ingesta adicional se detiene o reduce como resultado de la retroalimentación a través de un mensaje del centro de saciedad en el sistema nervioso central.

2.2.2 Nivel y calidad de proteína en la reproducción

De acuerdo con NRC (2001), la proteína para la alimentación se denomina proteína cruda (PC). Para determinar la PC de una muestra de alimento o ingrediente, su contenido de nitrógeno se multiplica por 6.25, bajo el supuesto de que contiene 16 g de nitrógeno por 100 g de proteína; incluyendo proteína verdadera y nitrógeno no proteico. Butler (1998) mencionó que un aumento en los niveles de proteína por encima de los requisitos del animal, mejoran la producción de leche y el CMS pero afectan la reproducción y se asocian a cambios en la fisiología ovárica y uterina; señalando que concentraciones

plasmáticas de nitrógeno ureico mayores que 19 mg dl^{-1} se asociaron con una disminución de aproximadamente 20% en la tasa de preñez después de la inseminación artificial en vacas lactantes.

Las vacas lecheras altas productoras requieren altos niveles de proteína para satisfacer sus demandas. Lean, Celi, Raadsma, McNamara, y Rabiee (2012) mencionaron que el aumento de la ingesta de proteína cruda o su mayor digestibilidad redujeron las tasas de concepción. Así mismo, McCormick et al. (1999) evaluaron el efecto del contenido de proteína en la dieta, las vacas alimentadas con un exceso de proteína (23%) mostraron menor tasa de preñez al primer servicio (24.1 vs. 41.0%) y menor tasa de preñez general (53.4 vs. 75.4%) que aquellas con una dieta de 17%, lo que aumentó 15 d abiertos $vaca^{-1}$.

2.2.3 Nivel y calidad de la energía en la reproducción

La energía de la dieta es la base de la producción de leche obtenida por lactancia, en el posparto temprano la disminución del CMS no permite que la vaca cubra sus requerimientos de energía. Butler (2000) mencionó que el BEN retrasa el tiempo de la primera ovulación mediante la inhibición de la frecuencia del pulso LH y niveles bajos de glucosa en la sangre, insulina y factor de crecimiento similar a la insulina I (IGF-I) que colectivamente restringen la producción de estrógenos por los folículos dominantes.

Las estrategias nutricionales, pueden reducir los efectos del estrés metabólico y mejorar la producción y reproducción (De Veth, Bauman, Koch, Mann, Pfeiffer, & Butler, 2009). La inclusión de grasas en la dieta durante el período de transición mejoró el rendimiento reproductivo (Thatcher, Bilby, Bartolome, Silvestre, Staples, & Santos, 2006), mejoró el balance energético (Von Soosten, Meyer, Piechotta, Flachowsky, & Dänicke, 2012), redujo la incidencia de enfermedades metabólicas, y permitió que la densidad de energía se mantuviera en las dietas sin aumentar el uso de carbohidratos de fermentación rápida.

2.3 El calostro como estrategia para mejorar la salud y fertilidad de la vaca

2.3.1 Composición del calostro

El calostro es una mezcla compleja de proteínas, lípidos, carbohidratos, vitaminas y minerales, además de inmunoglobulinas, factores de crecimiento y citocinas, que pueden influenciar el desarrollo de inmunidad en los terneros que lo consumen después del nacimiento (Tacoma et al., 2017). Estos factores se secretan activamente durante las últimas semanas de la gestación en los mamíferos (Baumrucker, Burkett, Magliaro-Macrina, & Dechow, 2010). Las inmunoglobulinas (o anticuerpos) son glicoproteínas producidas por células B plasmáticas que reconocen y se unen específicamente a los antígenos presentes en los microorganismos (Ulfman, Leusen, Savelkoul, Warner, & van Neerven, 2018).

2.3.2 Evaluación de la calidad del calostro

El contenido de IgG del calostro es un componente importante para lograr una buena transferencia pasiva de la inmunidad a los terneros. La calidad del calostro puede variar en concentración de IgG. De acuerdo con McGuirk y Collins (2004), los terneros necesitan recibir de 100 a 200 g de IgG para mejorar las posibilidades de éxito en la transferencia de inmunidad pasiva (definida como IgG sérica ≥10 g L^{-1} obtenida 1 a 7 d después del nacimiento) con 3 a 4 L de calostro suministrado dentro de las 6 h posteriores al nacimiento.

2.3.3 Aplicaciones clínicas del calostro bovino

El calostro bovino contiene alta concentración de factores de crecimiento y componentes inmunomoduladores, lo que hace que estas secreciones sean importantes fuentes de productos inmunitarios que pueden beneficiar a otros animales incluidos los humanos. Purup, Vestergaard, Pedersen, y Sejrsen (2007) mostraron que el calostro bovino contiene una serie de componentes biológicamente activos que afectan el crecimiento y el desarrollo del tejido intestinal humano.

Rathe et al. (2014) realizaron un metaanálisis de estudios relacionados con los efectos del calostro bovino en la salud humana, observaron que los estudios que sugieren beneficios clínicos de la suplementación con calostro fueron de calidad metodológica deficiente y otros no pudieron confirmar los resultados. Sin embargo, estos autores mencionan que el calostro bovino puede proporcionar beneficios gastrointestinales e inmunológicos, pero se requieren estudios adicionales antes de hacer recomendaciones para la aplicación clínica. Por tanto, los modelos animales pueden ayudar a comprender los mecanismos de la suplementación con calostro bovino, los regímenes de dosificación necesarios para obtener beneficios clínicos y los métodos óptimos para probar estos efectos en humanos.

2.3.4 Aplicación de calostro en bovinos lecheros

Báez y Cuahutle (2006) evaluaron el efecto del calostro bovino administrado vía subcutánea (50 mL) a vacas posparto (0, 15 y 30 d) como tratamiento profiláctico, para estimular el sistema inmunológico y reducir los procesos patológicos posparto en vacas; concluyendo que las vacas que recibieron calostro tardaron 30% menos tiempo de involución uterina, 80% no presentaron fluidos en el útero lo que indicó menor infección, y tuvieron 45% menos días abiertos que las vacas testigo; por lo que la administración de calostro parenteral mostró un efecto benéfico en vacas en puerperio.

Recientemente Fernández y Zambrano (2017) evaluaron el efecto de la administración de calostro vía subcutánea en vacas Holstein, administrado semanalmente durante 42 d posparto encontrando que la administración de 20 mL redujo los días al primer servicio, mejoró los porcentajes de gestación acumulados a 100 y 150 d e incremento los niveles de inmunoglobulinas en suero sanguíneo fortaleciendo el sistema inmune de vacas en posparto.

2.4 Literatura citada

Akers, R. M. (2017). A 100-year review: Mammary development and lactation. *Journal of Dairy Science*, 100(12), 10332-10352, doi:10.3168/jds.2017-12983.

Alhussien, M. N., Kamboj, A., Aljader, M. A., Panda, B. S., lal Yadav, M., Sharma, L., ... & Mohanty, A. K. (2018). Effect of tropical thermal stress on peri-implantation immune responses in cows. *Theriogenology*, 114, 149-158, doi:10.1016/j.theriogenology.2018.03.036.

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, México).

Balogh, O., Fébel, H., Huszenicza, G., Kulcsár, M., Abonyi-Tóth, Z., Endrődi, T., & Gábor, G. (2012). Seasonal fertility differences in synchronised dairy cows: ultrasonic, metabolic and endocrine findings. *Acta Veterinaria Hungarica*, 60(1), 131-143, doi:10.1556/AVet.2012.011.

Baumrucker, C. R., Burkett, A. M., Magliaro-Macrina, A. L., & Dechow, C. D. (2010). Colostrogenesis: Mass transfer of immunoglobulin G1 into colostrum. *Journal of Dairy Science*, 93(7), 3031-3038, doi:10.3168/jds.2009-2963.

Bedere, N., Cutullic, E., Delaby, L., Garcia-Launay, F., & Disenhaus, C. (2018). Meta-analysis of the relationships between reproduction, milk yield and body condition score in dairy cows. *Livestock Science*, 210, 73-84, doi:10.1016/j.livsci.2018.01.017.

Bewley, J. M., Robertson, L. M., & Eckelkamp, E. A. (2017). A 100-Year Review: Lactating dairy cattle housing management. *Journal of Dairy Science*, 100(12), 10418-10431, doi:10.3168/jds.2017-13251.

Bicalho, M. L. S., Marques, E. C., Gilbert, R. O., & Bicalho, R. C. (2017). The association of plasma glucose, BHBA, and NEFA with postpartum uterine diseases, fertility, and milk production of Holstein dairy cows. *Theriogenology*, 88, 270-282, doi:10.1016/j.theriogenology.2016.09.036.

Bicalho, M. L. S., Santin, T., Rodrigues, M. X., Marques, C. E., Lima, S. F., & Bicalho, R. C. (2017). Dynamics of the microbiota found in the vaginas of dairy cows during the transition period: Associations with uterine diseases and reproductive outcome. *Journal of Dairy Science*, 100(4), 3043-3058, doi:10.3168/jds.2016-11623.

Braw-Tal, R., Pen, S., & Roth, Z. (2009). Ovarian cysts in high-yielding dairy cows. *Theriogenology*, 72(5), 690-698, doi:10.1016/j.theriogenology.2009.04.027.

Butler, W. R. (1998). Effect of protein nutrition on ovarian and uterine physiology in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 81(9), 2533-2539, doi:10.3168/jds.S0022-0302(98)70146-8.

Butler, W. R. (2000). Nutritional interactions with reproductive performance in dairy cattle. *Animal Reproduction Science*, 60-61, 449-457, doi:10.1016/S0378-4320(00)00076-2.

Butler, W. R. (2003). Energy balance relationships with follicular development, ovulation and fertility in postpartum dairy cows. *Livestock Production Science*, 83(2-3), 211-218, doi:10.1016/S0301-6226(03)00112-X.

Butler, W. R. (2005). Nutrition, negative energy balance and fertility in the postpartum dairy cow. *Cattle Practice*, 13(1), 13-18.

Crowe, M. A., Hostens, M., & Opsomer, G. (2018). Reproductive management in dairy cows-the future. *Irish Veterinary Journal*, 71(1), 1-13, doi:10.1186/s13620-017-0112-y.

De Amicis, I., Veronesi, M. C., Robbe, D., Gloria, A., & Carluccio, A. (2018). Prevalence, causes, resolution and consequences of bovine dystocia in Italy. *Theriogenology*, 107, 104-108, doi:10.1016/j.theriogenology.2017.11.001.

De Veth, M. J., Bauman, D. E., Koch, W., Mann, G. E., Pfeiffer, A. M., & Butler, W. R. (2009). Efficacy of conjugated linoleic acid for improving reproduction: A multi-study analysis in early-lactation dairy cows. Journal of Dairy Science, 92(6), 2662-2669, doi:10.3168/jds.2008-1845.

Diskin, M. G., & Sreenan, J. M. (2000). Expression and detection of oestrus in cattle. *Reproduction Nutrition Development*, 40(5), 481-491, doi:10.1051/rnd:2000112.

Dobson, H., Smith, R. F., Royal, M. D., Knight, C. H., & Sheldon, I. M. (2007). The high-producing dairy cow and its reproductive performance. *Reproduction in Domestic Animals*, 42, 17-23, doi:10.1111/j.1439-0531.2007.00906.x.

Dransfield, M. B. G., Nebel, R. L., Pearson, R. E., & Warnick, L. D. (1998). Timing of insemination for dairy cows identified in estrus by a radiotelemetric estrus detection system. *Journal of Dairy Science*, 81(7), 1874-1882, doi:10.3168/jds.S0022-0302(98)75758-3.

Edmonson, A. J., Lean, I. J., Weaver, L. D., Farver, T., & Webster, G. (1989). A body condition scoring chart for Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 72(1), 68-78, doi:10.3168/jds.S0022-0302(89)79081-0.

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, México).

Fourichon, C., Seegers, H., & Malher, X. (2000). Effect of disease on reproduction in the dairy cow: a meta-analysis. *Theriogenology*, 53(9), 1729-1759, doi:10.1016/S0093-691X(00)00311-3.

Fricke, P. M., Carvalho, P. D., Giordano, J. O., Valenza, A., Lopes, G., & Amundson, M. C. (2014). Expression and detection of estrus in dairy cows:

the role of new technologies. *Animal*, 8(s1), 134-143, doi:10.1017/S1751731114000299.

Gaafar, H. M. A., Shamiah, S. M., El-Hamd, M. A., Shitta, A. A., & El-Din, M. T. (2011). Dystocia in Friesian cows and its effects on postpartum reproductive performance and milk production. *Tropical Animal Health and Production*, 43(1), 229-234, doi:10.1007/s11250-010-9682-3.

Garverick, H. A. (1997). Ovarian follicular cysts in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 80(5), 995-1004, doi:10.3168/jds.S0022-0302(97)76025-9.

Ghavi Hossein-Zadeh, N. (2016). Prevalence and risk factors for dystocia in dairy cattle: a review. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 100(5), 860-867, doi:10.1111/jpn.12460.

Gillan, L., Kroetsch, T., Maxwell, W. C., & Evans, G. (2008). Assessment of in vitro sperm characteristics in relation to fertility in dairy bulls. *Animal Reproduction Science*, 103(3-4), 201-214, doi:10.1016/j.anireprosci.2006.12.010.

Gliozzi, T. M., Turri, F., Manes, S., Cassinelli, C., & Pizzi, F. (2017). The combination of kinetic and flow cytometric semen parameters as a tool to predict fertility in cryopreserved bull semen. *Animal*, 11(11), 1975-1982, doi:10.1017/S1751731117000684.

Grummer, R. R., Mashek, D. G., & Hayirli, A. (2004). Dry matter intake and energy balance in the transition period. *Veterinary Clinics: Food Animal Practice*, 20(3), 447-470, doi:10.1016/j.cvfa.2004.06.013.

Krause, A. R., Pfeifer, L. F., Montagner, P., Weschenfelder, M. M., Schwegler, E., Lima, M. E., … & Schneider, A. (2014). Associations between resumption of postpartum ovarian activity, uterine health and concentrations of metabolites and acute phase proteins during the transition period in Holstein cows. *Animal Reproduction Science*, 145(1-2), 8-14, doi:10.1016/j.anireprosci.2013.12.016.

Langer, P. (2008). The phases of maternal investment in eutherian mammals. *Zoology*, 111(2), 148-162, doi:10.1016/j.zool.2007.06.007.

Lean, I. J., Celi, P., Raadsma, H., McNamara, J., & Rabiee, A. R. (2012). Effects of dietary crude protein on fertility: Meta-analysis and meta-regression. *Animal Feed Science and Technology*, 171(1), 31-42, doi:10.1016/j.anifeedsci.2011.09.017.

López-Gatius, F., Yániz, J., & Madriles-Helm, D. (2003). Effects of body condition score and score change on the reproductive performance of dairy cows: a meta-analysis. *Theriogenology*, 59(3-4), 801-812, doi:10.1016/S0093-691X(02)01156-1.

Lucy, M. C. (2001). Reproductive loss in high-producing dairy cattle: where will it end? *Journal of Dairy Science*, 84(6), 1277-1293, doi:10.3168/jds.S0022-0302(01)70158-0.

Macmillan, K. L., Lean, I. J., & Westwood, C. T. (1996). The effects of lactation on the fertility of dairy cows. *Australian Veterinary Journal*, 73(4), 141-147, doi:10.1111/j.1751-0813.1996.tb10007.x.

McCormick, M. E., French, D. D., Brown, T. F., Cuomo, G. J., Chapa, A. M., Fernandez, J. M., ... & Blouin, D. C. (1999). Crude protein and rumen undegradable protein effects on reproduction and lactation performance of Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 82(12), 2697-2708, doi:10.3168/jds.S0022-0302(99)75526-8.

McGuirk, S. M., & Collins, M. (2004). Managing the production, storage, and delivery of colostrum. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 20(3), 593-603, doi:10.1016/j.cvfa.2004.06.005.

Mee, J. F. (2008). Prevalence and risk factors for dystocia in dairy cattle: A review. *The Veterinary Journal*, 176(1), 93-101, doi:10.1016/j.tvjl.2007.12.032.

Miglior, F., Fleming, A., Malchiodi, F., Brito, L. F., Martin, P., & Baes, C. F. (2017). A 100-Year Review: Identification and genetic selection of economically important traits in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 100(12), 10251-10271, doi:10.3168/jds.2017-12968.

Moore, K., & Thatcher, W. W. (2006). Major advances associated with reproduction in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 89(4), 1254-1266, doi:10.3168/jds.S0022-0302(06)72194-4.

NRC. (1989). *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 6th Rev. Ed. National Academy. Science. Washington, D. C. USA.

NRC. (2001). *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 7th Rev. Ed. National Academy. Science. Washington, D. C. USA.

Peter, A. T. (2004). An update on cystic ovarian degeneration in cattle. *Reproduction in Domestic Animals*, 39(1), 1-7, doi:10.1046/j.0936-6768.2003.00466.x.

Piñeyrúa, J. T. M., Fariña, S. R., & Mendoza, A. (2018). Effects of parity on productive, reproductive, metabolic and hormonal responses of Holstein cows. *Animal Reproduction Science*, 191, 9-21, doi:10.1016/j.anireprosci.2018.01.017.

Pryce, J. E., Royal, M. D., Garnsworthy, P. C., & Mao, I. L. (2004). Fertility in the high-producing dairy cow. *Livestock Production Science*, 86(1-3), 125-135, doi:10.1016/S0301-6226(03)00145-3.

Purup, S., Vestergaard, M., Pedersen, L. O., & Sejrsen, K. (2007). Biological activity of bovine milk on proliferation of human intestinal cells. *Journal of Dairy Research*, 74(1), 58-65, doi:10.1017/S0022029906002093.

Rathe, M., Müller, K., Sangild, P. T., & Husby, S. (2014). Clinical applications of bovine colostrum therapy: a systematic review. *Nutrition Reviews*, 72(4), 237-254, doi:10.1111/nure.12089.

Reith, S., & Hoy, S. (2017). Behavioral signs of estrus and the potential of fully automated systems for detection of estrus in dairy cattle. *Animal*, 12(2), 398-407, doi:10.1017/S1751731117001975.

Robinson, J. J., Ashworth, C. J., Rooke, J. A., Mitchell, L. M., & McEvoy, T. G. (2006). Nutrition and fertility in ruminant livestock. *Animal Feed Science and Technology*, 126(3-4), 259-276, doi:10.1016/j.anifeedsci.2005.08.006.

Roche, J. F., Mackey, D., & Diskin, M. D. (2000). Reproductive management of postpartum cows. *Animal Reproduction Science*, 60, 703-712, doi:10.1016/S0378-4320(00)00107-X.

Roelofs, J., López-Gatius, F., Hunter, R. H. F., Van Eerdenburg, F. J. C. M., & Hanzen, C. (2010). When is a cow in estrus? Clinical and practical aspects. *Theriogenology*, 74(3), 327-344, doi:10.1016/j.theriogenology.2010.02.016.

Royal, M. D., Darwash, A. O., Flint, A. P. F., Webb, R., Woolliams, J. A., & Lamming, G. E. (2000). Declining fertility in dairy cattle: changes in traditional and endocrine parameters of fertility. *Animal Science*, 70(3), 487-501, doi:10.1017/S1357729800051845.

Schingoethe, D. J. (2017). A 100-Year Review: Total mixed ration feeding of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 100(12), 10143-10150, doi:10.3168/jds.2017-12967.

Schwab, C. G., & Broderick, G. A. (2017). A 100-Year Review: Protein and amino acid nutrition in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 100(12), 10094-10112, doi:10.3168/jds.2017-13320.

Sheldon, I. M., Williams, E. J., Miller, A. N., Nash, D. M., & Herath, S. (2008). Uterine diseases in cattle after parturition. *The Veterinary Journal*, 176(1), 115-121, doi:10.1016/j.tvjl.2007.12.031.

Sherwin, V. E., Hudson, C. D., Henderson, A., & Green, M. J. (2016). The association between age at first calving and survival of first lactation heifers within dairy herds. *Animal*, 10(11), 1877-1882, doi:10.1017/S1751731116000689.

Silvestre, A. M., Martins, A. M., Santos, V. A., Ginja, M. M., & Colaço, J. A. (2009). Lactation curves for milk, fat and protein in dairy cows: A full approach. *Livestock Science*, 122(2-3), 308-313, doi:10.1016/j.livsci.2008.09.017.

Silvia, W. J., Hatler, T. B., Nugent, A. M., & Da Fonseca, L. L. (2002). Ovarian follicular cysts in dairy cows: an abnormality in folliculogenesis. *Domestic Animal Endocrinology*, 23(1-2), 167-177, doi:10.1016/S0739-7240(02)00154-6.

Sina, M., Dirandeh, E., Deldar, H., & Shohreh, B. (2018). Inflammatory status and its relationships with different patterns of postpartum luteal activity and reproductive performance in early lactating Holstein cows. *Theriogenology*, 108, 262-268, doi:10.1016/j.theriogenology.2017.12.020.

Sordillo, L. M., & Aitken, S. L. (2009). Impact of oxidative stress on the health and immune function of dairy cattle. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 128(1-3), 104-109, doi: 10.1016/j.vetimm.2008.10.305.

Strucken, E. M., Bortfeldt, R. H., Tetens, J., Thaller, G., & Brockmann, G. A. (2012). Genetic effects and correlations between production and fertility traits and their dependency on the lactation-stage in Holstein Friesians. *BioMed Central Genetics*, 13(1), 108, doi: 10.1186/1471-2156-13-108.

Strucken, E. M., Laurenson, Y. C., & Brockmann, G. A. (2015). Go with the flow—biology and genetics of the lactation cycle. *Frontiers in Genetics*, 6, 118, doi:10.3389/fgene.2015.00118.

Tacoma, R., Gelsinger, S. L., Lam, Y. W., Scuderi, R. A., Ebenstein, D. B., Heinrichs, A. J., & Greenwood, S. L. (2017). Exploration of the bovine colostrum proteome and effects of heat treatment time on colostrum protein profile. *Journal of Dairy Science*, 100(11), 1-10, doi:10.3168/jds.2017-13211.

Tahir, M. N. (2008). Voluntary feed intake by dairy cattle (No. 2008: 3). Consultada en:https://www.researchgate.net/publication/28610031_Voluntary_feed_intake_by_dairy_cattle.

Thatcher, W. W., Bilby, T. R., Bartolome, J. A., Silvestre, F., Staples, C. R., & Santos, J. E. P. (2006). Strategies for improving fertility in the modern dairy cow. *Theriogenology*, 65(1), 30-44, doi:10.1016/j.theriogenology.2005.10.004.

Turk, R., Podpečan, O., Mrkun, J., Flegar-Meštrić, Z., Perkov, S., & Zrimšek, P. (2015). The effect of seasonal thermal stress on lipid mobilisation, antioxidant status and reproductive performance in dairy cows. *Reproduction in Domestic Animals*, 50(4), 595-603, doi:10.1111/rda.12534.

Ulfman, L. H., Leusen, J. H., Savelkoul, H. F., Warner, J. O., & van Neerven, R. J. (2018). Effects of bovine immunoglobulins on immune function, allergy and infection. *Frontiers in Nutrition*, 5, 52, doi:10.3389/fnut.2018.00052.

Van Eerdenburg, F. J. C. M., Karthaus, D., Taverne, M. A. M., Mercis, I., & Szenci, O. (2002). The relationship between estrous behavioral score and time of ovulation in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 85(5), 1150-1156, doi:10.3168/jds.S0022-0302(02)74177-5.

Van Eerdenburg, F. J. C. M., Loeffler, H. S. H., & Van Vliet, J. H. (1996). Detection of oestrus in dairy cows: a new approach to an old problem. *Veterinary Quarterly*, 18(2), 52-54, doi:10.1080/01652176.1996.9694682.

Vanholder, T., Opsomer, G., & De Kruif, A. (2006). Aetiology and pathogenesis of cystic ovarian follicles in dairy cattle: a review. *Reproduction Nutrition Development*, 46(2), 105-119, doi:10.1051/rnd:2006003.

Von Soosten, D., Meyer, U., Piechotta, M., Flachowsky, G., & Dänicke, S. (2012). Effect of conjugated linoleic acid supplementation on body composition, body fat mobilization, protein accretion, and energy utilization in early lactation dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 95(3), 1222-1239, doi:10.3168/jds.2011-4548.

Walsh, S. W., Williams, E. J., & Evans, A. C. O. (2011). A review of the causes of poor fertility in high milk producing dairy cows. *Animal Reproduction Science*, 123(3-4), 127-138, doi:10.1016/j.anireprosci.2010.12.001.

3 EFECTO DE LA ADMINISTRACIÓN DE CALOSTRO VÍA PARENTERAL EN LA PRODUCCIÓN Y COMPOSICIÓN DE LECHE EN VACAS LECHERAS

3.1 Resumen

Con el objetivo de evaluar el efecto de la administración de calostro vía parenteral en la producción y composición de la leche, se utilizaron 98 vacas de una a seis lactancias con 60 d en leche, condición corporal de 2.5 a 4.0 y 608 kg de peso. Las vacas se asignaron aleatoriamente a dos grupos, tratamiento y testigo; al primero se le administró vía parenteral 20 mL de calostro 60, 74, 88, 102, 116, 130, 144 y 158 d posparto, y al segundo no se le aplicó calostro. Previo a la administración del tratamiento se tomaron muestras de sangre por venopunción coccígea para determinar la concentración hormonal y metabolitos en suero. El peso de las vacas, se registró en los días de tratamiento. Se observó que la producción promedio de leche para vacas tratadas y sin tratar fue 33.42 vs 33.73 kg d^{-1} ($p<0.11$), el porcentaje de grasa en leche fue 3.64 vs 3.53% ($p<0.35$), el porcentaje de proteína fue 3.31 vs 3.21% ($p<0.03$) y el porcentaje de lactosa fue 4.72 vs 4.68% ($p<0.16$). Se concluye que la administración de calostro vía parenteral en las fosas isquiorrectales, no mostró diferencias significativas para la cantidad de leche producida, ni para los porcentajes de grasa y lactosa de la leche. Sin embargo, el porcentaje de proteína fue mayor en la leche de vacas tratadas con calostro desde 60 hasta 158 d en leche, cuando el calostro tratado térmicamente se aplicó a intervalos de 14 d.

Palabras Clave: vaca lechera, leche, inmunidad, posparto, calostro.[3]

[3] Tesis de Maestría en Ciencias en Innovación Ganadera, Posgrado en Producción Animal, Universidad Autónoma Chapingo

Autor: Jesús Rogelio Sánchez Cota

Director de Tesis: M.C. Constantino Romero Márquez

EFFECT OF THE ADMINISTRATION OF PARENTERAL COLOSTRUM IN THE PRODUCTION AND COMPOSITION OF MILK IN DAIRY COWS

3.2 Abstract

In order to evaluate the effect of parenteral administration of colostrum on the production and composition of milk, 98 cows from one to six lactations with 60 d in milk were used. Body condition was from 2.5 to 4.0 and 608 kg live weight. The cows were randomly assigned to two groups, treatment and control; in the first, 20 mL of colostrum was administered parenterally on 60, 74, 88, 102, 116, 130, 144, and 158 d postpartum; the second group did not receive colostrum. Prior to the administration of the treatment, blood samples were taken by coccygeal venipuncture to determine hormone concentration and serum metabolites. Weight of all cows was recorded on the days of treatment. It was observed that average milk production for treated and untreated cows was 33.42 vs 33.73 kg d-1 ($p<0.11$), percentage of milk fat was 3.64 vs 3.53% ($p<0.35$), percentage of protein was 3.31 vs. 3.21% ($p<0.03$), and the percentage of lactose was 4.72 vs 4.68% ($p<0.16$). It was concluded that the administration of parenteral colostrum in the ischiorectal fossae, did not affect significantly milk production, nor the percentages of milk fat and lactose; however, the percentage of protein was higher in the milk of treated cows with colostrum during the treatment stage from 60 to 158 d in milk when heat-treated colostrum was applied at 14 d intervals.

Key words: dairy cow, milk, immunity, postpartum, colostrum.[4]

---

[4] Master of Science Thesis, Master in Livestock Innovation, Universidad Autónoma Chapingo

Author: Jesús Rogelio Sánchez Cota

Advisor: M.C. Constantino Romero Márquez

3.3 Introducción

La lactancia es un proceso biológico destinado a proporcionar nutrientes y protección inmunológica a la descendencia; este proceso es dinámico y dependiente del tiempo, por tanto, la cantidad y composición de la leche varían con la etapa de desarrollo de la cría (Strucken, Laurenson, & Brockmann, 2015).

Algunos autores (Hayssen, 1993; Langer, 2008) mencionan que la demanda de nutrientes de la cría y la importancia de la leche como única fuente de alimento inicial, se reflejan tanto en el aumento de la producción de leche entre la cuarta y octava semana (pico de lactancia), como en la posterior fase de disminución en su producción, cuando la cría satisface sus necesidades nutricionales con otros alimentos.

Los cambios en los rendimientos de la grasa y proteína de la leche durante la lactancia están correlacionados positivamente con el volumen de producción, sin embargo, al expresar estos valores en porcentaje muestran una correlación inversa, es decir, la grasa y proteína disminuyen conforme la producción aumenta (Silvestre, Martins, Santos, Ginja, & Colaço, 2009).

La industria láctea ha hecho grandes avances en las últimas décadas para lograr una mayor producción de leche, debido a la selección genética (Miglior et al., 2017), la nutrición (Schingoethe, 2017; Schwab & Broderick, 2017), el manejo y alojamiento (Bewley, Robertson & Eckelkamp, 2017), y el uso de la somatotropina bovina recombinante (rbST), que se ha demostrado que aumenta la producción de leche de un 10 a 15% (Etherton y Bauman, 1998). Sin embargo, la percepción de los consumidores al uso de hormonas para aumentar la producción de leche no ha sido favorable y la rbST ha sido prohibida en países como la Unión Europea y Canadá (Ozhikandathil et al., 2015).

Por tanto, se han buscado alternativas que no afecten la salud de los animales y consumidores como es el caso del calostro bovino, el cual es una mezcla compleja de proteínas, lípidos, carbohidratos, vitaminas y minerales que

contienen inmunoglobulinas, factores de crecimiento y citosinas (Tacoma et al., 2017), el cual puede beneficiar a otros animales y a los humanos (Rathe, Müller, Sangild, & Husby, 2014).

Báez y Cuahutle (2006) mostraron que el calostro estimula el sistema inmunológico y reduce los procesos patológicos en el posparto en vacas del parto a los 30 días; así mismo, Fernández y Zambrano (2017) concluyeron que el calostro mejora la fertilidad, reduciendo los días al primer servicio, mejorando los porcentajes de gestación e incrementando los niveles de inmunoglobulinas en suero sanguíneo, lo que fortalece el sistema inmune de vacas en posparto temprano del parto a los 42 días.

Con base en lo anterior, el objetivo del estudio fue evaluar el efecto de la administración de calostro vía parenteral, en la producción de leche y composición de vacas lecheras posterior al pico de lactancia de 60 a 158 días.

3.4 Materiales y métodos

3.4.1 Localización del área de estudio

El estudio se realizó de enero a agosto de 2018, en el establo “Santa Clara”, ubicado en el municipio de Huamantla, Tlaxcala, con coordenadas 19° 19’ 8.21″ N y 97° 52’ 47.38″ O, en la región “El gran llano de Huamantla”, en el eje neovolcánico, a 2420 msnm. El clima según la clasificación de Köppen, modificada por García (1981), corresponde a Cw, templado subhúmedo con lluvias en verano. La precipitación media anual es 616 mm y ocurre principalmente (85%) de marzo a octubre. La temperatura media anual es 14.2 ºC, la del mes más frío 10.9 ºC y la del más cálido 16.6 ºC (SMN, 2018).

3.4.2 Selección de animales, alimentación y manejo

Se utilizaron 98 vacas de una a seis lactancias con 60 d en leche, con condición corporal de 2.5 a 4.0 en la escala de 5 puntos y 608 kg de peso promedio. La alimentación de las vacas se realizó de acuerdo con el estado fisiológico, con base en una dieta integral cubriendo las necesidades de mantenimiento y producción (NRC, 2001). Los principales ingredientes fueron: soya, canola, maíz molido, melaza, pre mezclas minerales y vitaminas. Se les proporcionó agua limpia y fresca *ad libitum*. El ordeño se realizó dos veces al día, de 3:00 am a 9:00 am y de 3:00 pm a 9:00 pm; la producción de leche se obtuvo mediante pesadores automáticos y los datos se almacenaron en el programa Afifarm (Afimilk Ltd., Kibbutz Afikim, Israel). Los datos de composición de leche se obtuvieron de los informes de resultados de muestras de leche colectadas de manera mensual (enero a agosto de 2018) analizados por la empresa Alpura®, considerando la muestra de los ordeños de mañana y tarde, de las vacas individuales en ordeño en esos momentos. El peso corporal se registró a 60, 74, 88, 102, 116, 130, 144 y 158 d posparto, a la salida del ordeño de la tarde en una báscula Revuelta® (Modelo RGI-20C-DVZ, México).

3.4.3 Preparación de las dosis de calostro

El calostro se obtuvo de vacas paridas en marzo de 2018; una vez concluido el parto, los terneros se separaron de su madre en los siguientes 20 a 30 min, evitando que ocurriera el amamantamiento. Posteriormente se realizó la ordeña manual higiénica entre 30 y 60 min posparto, se evaluó la concentración de inmunoglobulinas por medio de calostrómetro, seleccionando el calostro con más de 120 mg mL^{-1} de IgG, para después conservarlo a 4 °C por 90 min y posteriormente a -20 °C hasta obtener un lote de 20 litros; luego se descongeló y se mezcló para realizar un tratamiento térmico y reducir la contaminación con patógenos, consistente en mantener a 60 °C por 60 min, utilizando un sistema de pasteurización comercial en granja (Dairy Tech Inc, ProVU4, Windsor, CO, USA). Una vez que se enfrió el lote, se almacenó en jeringas estériles de 20 mL, se refrigeró a 4 °C por 60 min y luego se mantuvo a -20 °C para su posterior aplicación en los días programados; se conservó una muestra para realizar un análisis de IgG y cultivo bacteriano.

3.4.4 Administración de los tratamientos

Las vacas se asignaron aleatoriamente a los grupos tratamiento o testigo. El grupo de vacas tratado (T) recibió una aplicación de 20 mL del lote de calostro en los días 60, 74, 88, 102, 116, 130, 144 y 158 posparto, por vía parenteral en las fosas isquiorrectales de la cola, a la altura del hueso sacro, a una temperatura de 38.5 °C. Las vacas testigo (C) no recibieron calostro.

3.4.5 Obtención de muestras de sangre

Se obtuvieron muestras de sangre en tubos de vacío Enrotainer® de 7 mL (Veterinary Equipment, S. A. de C. V., México), por punción de la vena coccígea en la porción ventral de la cola. La muestra se centrifugó a 3,000 rpm por 12 min (ScienceMed, DMO412, México); se tomó el suero sanguíneo para su almacenamiento a 4 °C por 60 min y posteriormente a -20 °C, hasta su envío al laboratorio para analizar su concentración hormonal y de metabolitos.

3.4.6 Inseminación artificial

La inseminación artificial se realizó 12 h después de detectado el celo con ayuda de collares Heatime® (SCR® Engineers Ltd., Hadarim, Netanya) que monitorean rumia y actividad física. Las inseminaciones se realizaron con semen congelado comercial de toros de fertilidad conocida. Se utilizaron pajillas de 0.5 mL y se siguió el protocolo tradicional de inseminación con aplicador tipo francés de acero inoxidable.

3.4.7 Diagnóstico de gestación

Se realizó el diagnóstico de gestación a los 32, 100 y 150 d después del servicio, con ayuda de un ultrasonido y un transductor rectal de 5 MHz de frecuencia (United imaging healthcare®, Beijing).

3.4.8 Análisis estadístico

Para cada variable analizada se construyó un modelo de regresión aleatoria. La parte fija del modelo incluyó los efectos de genotipo, número de lactancia, mes de parto y sexo de la cría por las expresiones de los polinomios de Legendre del modelo de mejor ajuste. En la parte aleatoria del modelo, además del término de error, se evaluó el ajuste de los polinomios de Legendre de grado cero hasta el de mejor ajuste. En este último caso, para obtener las regresiones aleatorias de cada vaca, se usó la identificación única del animal “IDVACA” en el análisis de varianza. Los modelos de regresión aleatoria se ajustaron con el procedimiento MIXED de SAS versión 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA).

Para elegir el modelo con mejor ajuste, se probaron modelos de complejidad creciente en la parte de los polinomios fijos y aleatorios del modelo de regresión aleatoria. Para la descripción de la producción diaria de leche y composición de leche, se inició con el ajuste del modelo considerando un polinomio de Legendre de grado 1; se continuó con análisis sucesivos adicionando un grado más del polinomio por corrida hasta que el ajuste de un polinomio extra ya no generó un coeficiente de regresión significativo. En cada corrida del modelo se registraron

los criterios de bondad de ajuste de Akaike (AIC), Bayesiano (BIC) y residual de la función de verosimilitud (-2 Res log likelihood); valores más pequeños de estos criterios indican mejor ajuste del modelo que los produjo.

En el enunciado “model” del programa, se especificaron las opciones “noint”, “solution”, “outp”, “outpm” y “residual” para generar, respectivamente, el ajuste de un modelo sin una media general, las soluciones de los efectos fijos del modelo, los valores predichos para las regresiones aleatorias de cada vaca, los valores predichos de las regresiones fijas para cada una de las tres clases de número de lactancia, así como los residuales de las regresiones aleatorias por “Vaca-Lactancia”.

Los valores predichos y residuales obtenidos con el modelo de mejor ajuste se utilizaron para producir figuras de las trayectorias de las regresiones aleatorias de cada vaca, las regresiones fijas por número de lactancia, y estación de parto; así como el despliegue gráfico de valores observados y predichos con el modelo final. Las figuras de alta resolución se generaron utilizando el procedimiento SGPLOT de SAS versión 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)

El modelo estadístico de la Ecuación 1 se ajustó a los registros de producción de leche, mientras que los porcentajes de grasa, proteína y lactosa, se ajustaron con las Ecuaciones 2, 3 y 4, respectivamente.

El modelo estadístico utilizado para predecir las curvas de producción de leche correspondió a un polinomio de grado 5, como se muestra en la Ecuación 1.

$$Y_{ij} = L_i + G_j + S_k + M_l + \sum_{n=1}^{5} L_i \beta_n P_n(x)_{ij} + \sum_{n=0}^{5} \propto_{ni} P_n(x)_{im} + e_{ij}$$

donde;

Y_{ijklmt} es el valor de producción de leche diaria (kg), registrado el día *t* después del parto para la vaca *m*, en su lactancia *i*, genotipo *j*, sexo de la cría *k*, y mes de parto *l*;

L_i = efecto fijo del i-ésimo número de lactancia, (i = 1, 2 o 3);

G_j = efecto fijo del j-ésimo genotipo, (j = cruza con Jersey o cruza con Holstein);

SC_k = efecto fijo del k-ésimo sexo de la cría, (k = macho o hembra);

MP_l = efecto fijo del l-ésimo mes de parto, (l = enero, febrero o marzo);

β_{ni} = n-ésimo coeficiente de la regresión fija, (n = 1, … , 5) para el i-ésimo tratamiento;

α_{nim} = n-ésimo coeficiente de la regresión aleatoria, (n = 0, … , 5) de la m-ésima vaca (m = 1, … , 98) en su i-ésimo tratamiento;

$\mathrm{Pn}(x)$ = n-ésimo orden del polinomio de Legendre;

e_{ijklmt} = residual.

Para describir las curvas de producción de grasa en porcentaje, se utilizó el modelo que se describe en la Ecuación 2 con grado del polinomio fijo y aleatorio, ajustándose a uno de grado 4.

Ecuación 2:

$$Y_{ii} = L_i + G_j + S_k + M_l + \sum_{n=1}^{4} L_i \beta_n P_n(x)_{ii} + \sum_{n=0}^{4} \propto_{ni} P_n(x)_{in} + e_{ii}$$

donde;

Y_{ijklmt} es el valor de producción de grasa en porcentaje; registrado el día *t* después del parto para la vaca *m*, en su lactancia *i*, genotipo *j*, sexo de la cría *k*, y mes de parto *l*;

L_i = efecto fijo del i-ésimo numero de lactancia, (i = 1, 2 o 3);

G_j = efecto fijo del j-ésimo genotipo, (j = cruza con Jersey o cruza con Holstein);

SC_k = efecto fijo del k-ésimo sexo de la cría, (k = macho o hembra);

MP_l = efecto fijo del l-ésimo mes de parto, (l = enero, febrero o marzo);

β_{ni} = n-ésimo coeficiente de la regresión fija, (n = 1, … , 4) para el i-ésimo tratamiento;

α_{nim} = n-ésimo coeficiente de la regresión aleatoria, (n = 0, … , 4 de la m-ésima vaca (m =1, … , 98) en su i-ésimo tratamiento;

$Pn(x)$ = n-ésimo orden del polinomio de Legendre;

e_{ijklmt} = residual.

Para describir las curvas de producción de proteína en porcentaje, se utilizó el modelo que se describe en la Ecuación 3 con grado del polinomio fijo y aleatorio, ajustándose a uno de grado 5.

Ecuación 3:

$$Y_{ijklmt} = L_i + G_j + SC_k + MP_l + \sum_{n=1}^{5} L_i \beta_n P_n(x)_{ijklmt} + \sum_{n=0}^{5} \alpha_{nim} P_n(x)_{ijklmt} + e_{ijklmt}$$

donde;

Y_{ijklmt} es el valor de producción de proteína en porcentaje; registrado el día *t* después del parto para la vaca *m*, en su lactancia *i*, genotipo *j*, sexo de la cría *k*, y mes de parto *l*;

L_i = efecto fijo del i-ésimo numero de lactancia, (i = 1, 2 o 3);

G_j = efecto fijo del j-ésimo genotipo, (j = cruza con Jersey, cruza con Holstein);

SC_k = efecto fijo del k-ésimo sexo de la cría, (k = macho o hembra);

MP_l= efecto fijo del l-ésimo mes de parto, (l = enero, febrero o marzo);

β_{ni} = n-ésimo coeficiente de la regresión fija, (n = 1, … , 5) para el i-ésimo tratamiento;

α_{nim} = n-ésimo coeficiente de la regresión aleatoria, (n = 0, … , 5) de la m-ésima vaca (m = 1, … , 98) en su i-ésimo tratamiento;

$Pn(x)$ = n-ésimo orden del polinomio de Legendre;

e_{ijklmt} = residual.

Para describir las curvas de producción de lactosa en porcentaje se utilizó el modelo que se describe en la Ecuación 4 con grado del polinomio fijo y aleatorio, ajustándose a uno de grado 2.

Ecuación 4:

$$Y_{iji} = L_i + G_j + S_k + M_l + \sum_{n=1}^{2} L_i \beta_n P_n(x)_{ii} + \sum_{n=0}^{2} \propto_{ni} P_n(x)_{in} + e_{iji}$$

donde;

Y_{ijklmt} es el valor de producción de lactosa en porcentaje; registrado el día *t* después del parto para la vaca *m*, en su lactancia *i*, genotipo *j*, sexo de la cría *k*, y mes de parto *l*;

L_i = efecto fijo del i-ésimo numero de lactancia, (i = 1, 2 o 3);

G_j = efecto fijo del j-ésimo genotipo, (j = cruza con Jersey, cruza con Holstein);

SC_k = efecto fijo del k-ésimo sexo de la cría, (k = macho o hembra);

MP_l= efecto fijo del l-ésimo mes de parto, (l = enero, febrero o marzo);

β_{ni} = n-ésimo coeficiente de la regresión fija, (n = 1, … , 2) para el i-ésimo tratamiento;

α_{nim} = n-ésimo coeficiente de la regresión aleatoria, (n = 0, … , 2 de la m-ésima vaca (m =1, … , 98) en su i-ésimo tratamiento;

$Pn(x)$ = n-ésimo orden del polinomio de Legendre;

e_{ijklmt} = residual.

3.5 Resultados y discusión

En general para las características productivas y de composición de leche, los modelos que incluyeron los efectos fijos del número de lactancia, genotipo, sexo de la cría y mes de parto tuvieron el mejor ajuste. Los mejores ajustes fueron cuando se usaron los coeficientes de regresión fija de un polinomio de Legrendre grado cinco para producción de leche, grado cuatro para porcentaje de grasa, grado cinco para porcentaje de proteína y grado dos para porcentaje de lactosa; dichos modelos tuvieron los menores valores en los indicadores (residual de la función de verosimilitud, AIC, BIC) de los criterios de bondad de ajuste (Apéndice 1), lo que indica una mejor descripción del fenómeno a través de ellos.

No se encontraron diferencias significativas ($p>0.10$) entre las curvas de producción de leche de vacas tratadas con calostro y las testigo durante la etapa de tratamiento desde 60 hasta 158 d en leche, cuando el calostro tratado térmicamente se aplicó a intervalos de 14 días.

En el Cuadro 1 se presentan estadísticos descriptivos de las variables analizadas para vacas tratadas o sin tratar con calostro. No se encontraron diferencias en la producción de leche promedio entre vacas tratadas o sin tratar (33.42 vs 33.73 kg; $p>0.10$); la producción de leche ajustada a 305 d fue de (10193.51 vs 10286.97 kg) y para el caso de producción de leche corregida al 4% de grasa (9908.95 vs 9943.03 kg).

Cuadro 1. Medias de mínimos cuadrados para producción de leche diaria, ajustada a 305 días de lactancia y corregida al 4% de grasa para vacas lecheras tratadas y sin tratar con calostro.

Tratamientos	n	PL[z]	PL 305[y]	PLAG[x]
Aplicación subcutánea de calostro	54	33.42 a[w]	10193.51 a	9908.95 a
Testigo	44	33.73 a	10286.97 a	9943.03 a

[z] Producción diaria de leche ajustada a 305 días (kg vaca^{-1} día^{-1}).
[y] Producción de leche ajustada a 305 días (kg vaca^{-1} lactancia^{-1}).
[x] Producción de leche por lactancia corregida al 4% de grasa (kg vaca^{-1} lactancia^{-1}).
[w] Medias con distinta literal, son diferentes ($p<0.05$).

En el Cuadro 2 se presentan los niveles de significancia para los efectos fijos incluidos en los modelos de mejor ajuste para la producción de leche y los porcentajes de grasa, proteína y lactosa; para producción de leche, el número de lactancia fue importante ($p<0.01$) en la descripción de la variabilidad de la producción. Para porcentaje de proteína en leche, los efectos del tratamiento ($p<0.03$) y mes de parto ($p<0.01$) fueron significativos. Igualmente, para porcentaje de lactosa el efecto del número de lactancia ($p<0.01$) y el mes de parto ($p<0.02$) fueron importantes.

Cuadro 2. Niveles de significancia para los efectos fijos incluidos en los modelos de regresión aleatoria con mejor ajuste para describir las curvas de producción de leche y porcentajes de grasa, proteína y lactosa, de vacas lecheras tratadas y sin tratar con calostro.

Variable	Tratamiento	Genotipo	Lactancia	Sexo de la cría	Mes de parto
Producción de leche (kg día^{-1})	0.1032	0.1004	<.0001	0.1585	0.0913
Grasa (%)	0.3403	0.4183	0.1484	0.1346	0.6464
Proteína (%)	0.0228	0.9835	0.0596	0.1488	0.0076
Lactosa (%)	0.1547	0.6731	0.0003	0.3685	0.0140

La curva de lactancia obtenida coincide con la curva típica o estándar reportada por otros autores que han estudiado esta curva en ganado lechero, mostrando una etapa inicial de incremento hasta llegar al máximo de producción o pico de lactancia, para posteriormente iniciar la fase descendente o de persistencia (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**; Hayssen, 1993; Langer, 2008; Strucken et al., 2015).

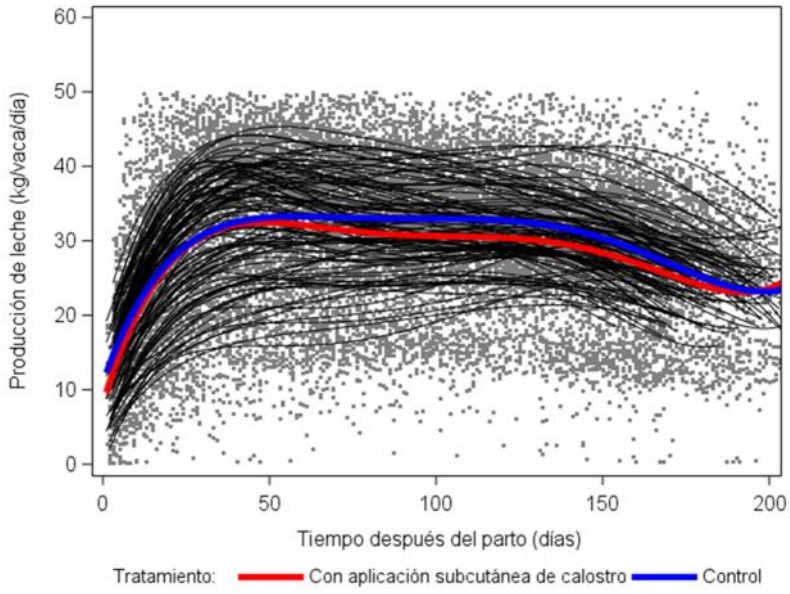

Figura 1. Curvas de lactancia promedio para vacas lecheras tratadas y sin tratar con calostro, ajustadas a un polinomio de Legendre de grado 5.

La producción de leche fue afectada por el número de lactancia, lo que coincide con otros autores (Figura 2; Piñeyrúa, Fariña, & Mendoza, 2018). Esto se explica principalmente debido a la demanda de nutrientes en la primera lactancia, cuando las vacas primíparas generalmente producen menor cantidad de leche que las multíparas, por la necesidad de utilizar los nutrimentos tanto para crecimiento como para producción.

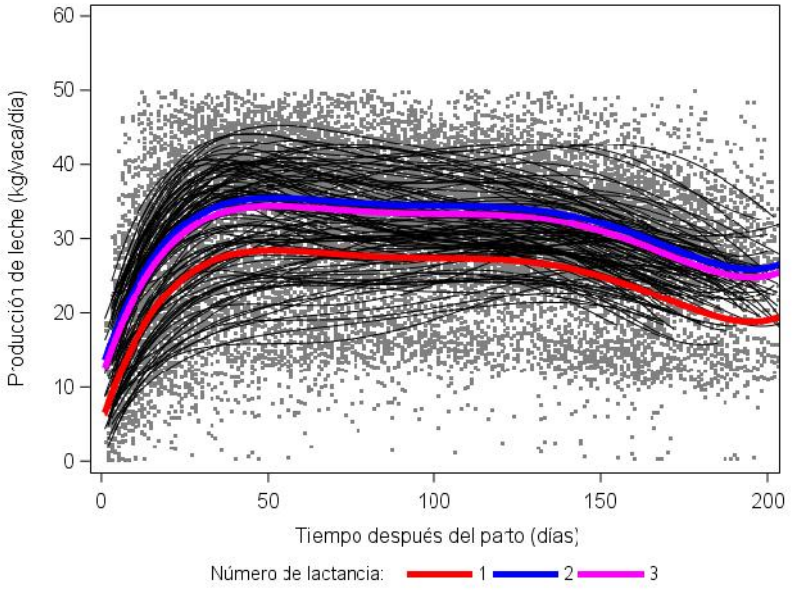

Figura 2. Curvas de lactancia promedio para vacas lecheras de primera a tercera lactancia ajustadas con un polinomio de Legendre de grado 5.

El porcentaje de grasa en leche mostró la relación inversa típica con producción de leche, mostrando altos valores iniciales mientras la producción de leche era baja y posteriormente valores bajos mientras la producción de leche alcanzaba el pico de producción, para después mantenerse durante la persistencia; este comportamiento de la producción es similar al reportado por otros autores (Akers, 2017; Knight & Wilde, 1987).

No se encontraron efectos de tratamiento sobre la variable de porcentaje de grasa en la leche (3.64 vs 3.53, $p>0.34$, Figura 3); los efectos fijos de genotipo ($p>0.41$), número de lactancia ($p>0.14$), sexo de la cría ($p>0.13$) y mes de parto ($p>0.64$), tampoco mostraron efectos sobre la producción de grasa durante el estudio.

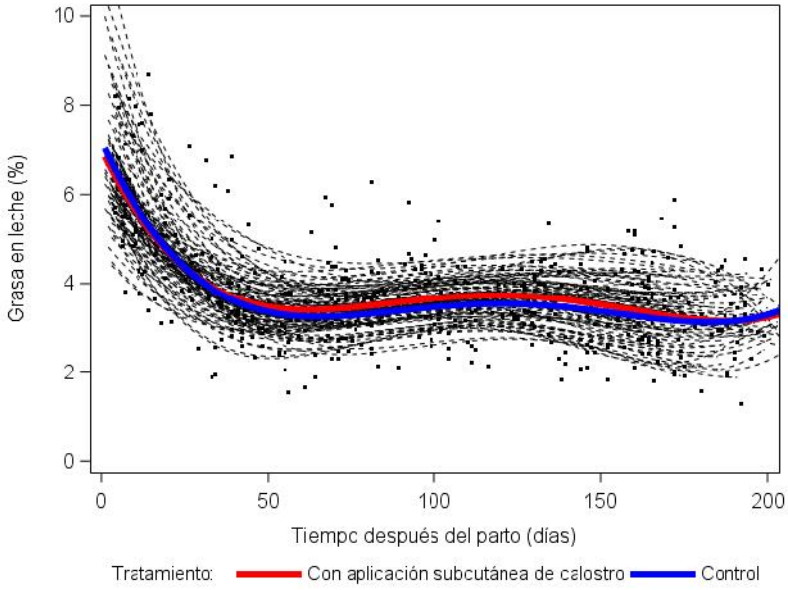

Figura 3. Curvas para porcentaje de grasa de vacas tratadas y sin tratar con calostro, ajustadas con un polinomio de Legendre de grado 4.

Los porcentajes de proteína fueron diferentes para los tratamientos (3.31 vs 3.2%, $p<0.03$) y mostraron un comportamiento similar al descrito para porcentaje de grasa durante el transcurso de la lactancia (Figura 4); así mismo, el efecto del mes de parto fue significativo ($p<0.01$) e influyó en el porcentaje de proteína, observándose que las vacas que parieron en febrero tuvieron los mayores valores para esta variable (Figura 5). Estos resultados indican una mejor cantidad de proteína, la cual se relaciona con la calidad de la leche producida, ya que el 80% de las proteínas de la leche son caseínas y el 20% restante séricas, esto indica una mayor calidad y por tanto un mejor precio por componentes de la leche para el productor (Haug, Høstmark, & Harstad, 2007).

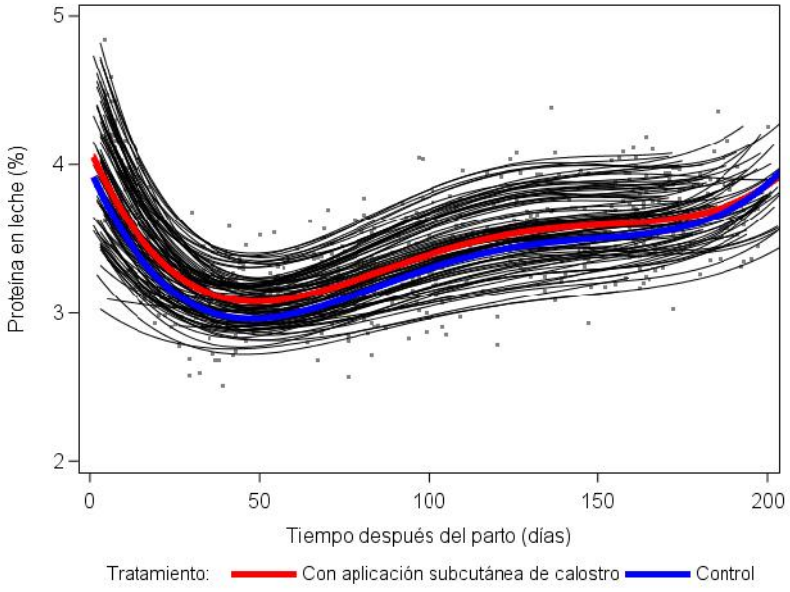

Figura 4. Curvas para porcentaje de proteína de vacas tratadas y sin tratar con calostro, ajustadas con un polinomio de Legendre de grado 5.

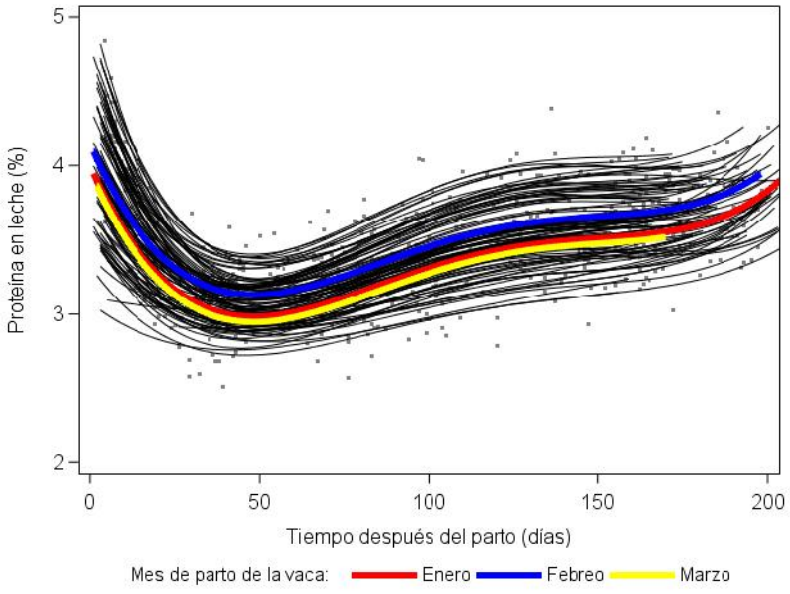

Figura 5. Curvas para porcentaje de proteína por mes de parto de vacas tratadas y sin tratar con calostro, ajustadas con un polinomio de Legendre de grado 5.

El porcentaje de lactosa en leche tuvo un comportamiento similar al de la curva de lactancia, lo que coincide con lo observado por otros autores (Miglior, Sewalem, Jamrozik, Lefebvre, & Moore, 2006; Ptak, Brzozowski, & Bieniek, 2012), quienes encontraron que la curva de lactosa es muy similar a la curva de rendimiento de leche, con un valor máximo entre 30 y 60 días y una disminución gradual en los días restantes.

No se encontraron diferencias significativas para tratamiento ($p>0.15$, Figura 6); se encontró efecto del número de lactancia ($p<0.01$), observándose que las vacas de primer y segundo parto mostraron los mayores valores, mientras que las de tercer o más partos mostraron valores más bajos (Figura 7); para mes de parto hubo diferencias significativas ($p<0.02$), observándose que las vacas que parieron en enero mostraron los mayores valores para esta variable.

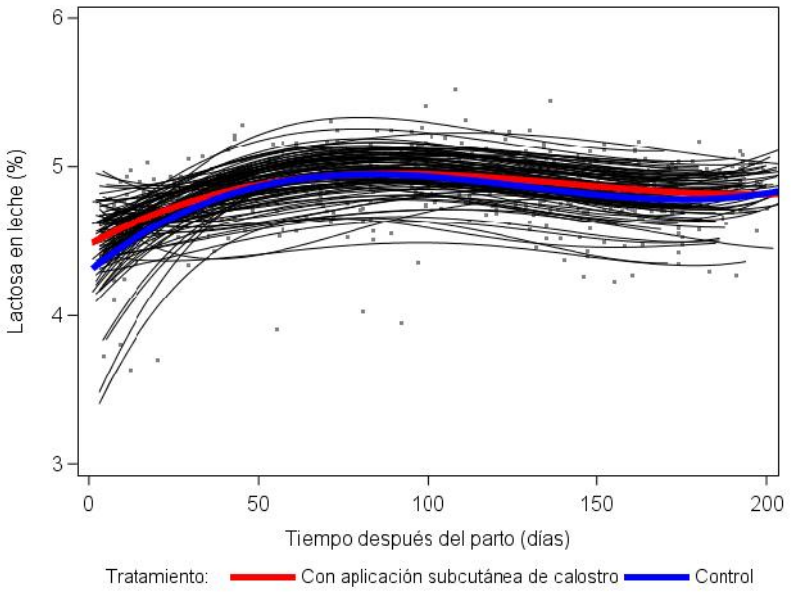

Figura 6. Curvas para porcentaje de lactosa de vacas tratadas y sin tratar con calostro, ajustadas con un polinomio de Legendre de grado 2.

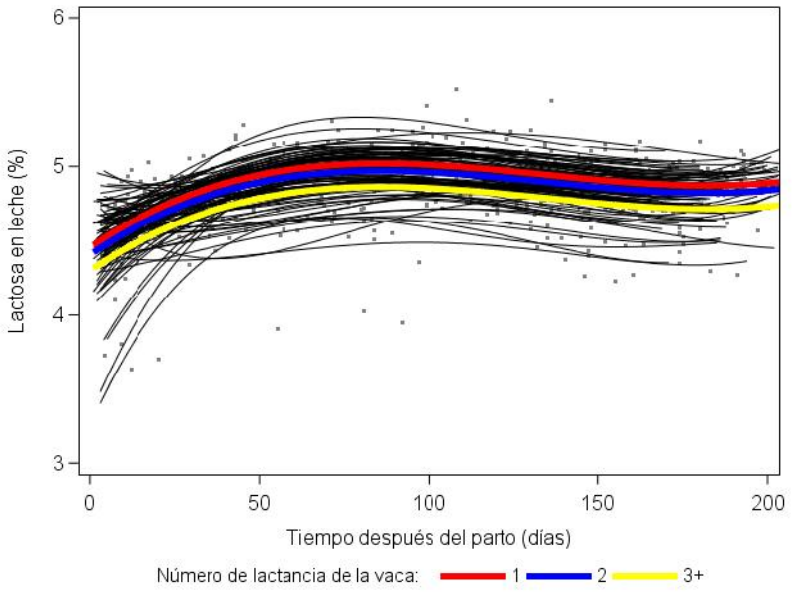

Figura 7. Curvas para porcentaje de proteína por número de lactancia de vacas tratadas y sin tratar con calostro, ajustadas con un polinomio de Legendre de grado 2.

3.6 Conclusiones

El porcentaje de proteína de la leche fue mayor en vacas tratadas con calostro desde los 60 hasta los 158 días en leche, cuando el calostro tratado térmicamente se aplicó a intervalos de 14 días.

La administración de calostro vía parenteral en las fosas isquiorrectales, no tuvo un efecto positivo para la cantidad de leche producida.

Los porcentajes de grasa y lactosa fueron estadísticamente similares en la leche durante la etapa de tratamiento desde los 60 hasta los 158 días en leche, cuando el calostro tratado térmicamente se aplicó a intervalos de 14 días.

3.7 Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el financiamiento otorgado para la realización de este proyecto; a la Universidad Autónoma Chapingo por el apoyo y facilidades brindadas; así mismo, al Ing. Jaime Eloy Bretón y Bretón, propietario del establo lechero “Santa Clara”,

por proporcionar las instalaciones, animales, materiales y equipos necesarios para la realización del estudio.

3.8 Literatura Citada

Akers, R. M. (2017). A 100-year review: Mammary development and lactation. *Journal of Dairy Science*, 100(12), 10332-10352, doi:10.3168/jds.2017-12983.

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, México).

Bewley, J. M., Robertson, L. M., & Eckelkamp, E. A. (2017). A 100-Year Review: Lactating dairy cattle housing management. Journal of Dairy Science, 100(12), 10418-10431, doi:10.3168/jds.2017-13251.

Etherton, T. D., & Bauman, D. E. (1998). Biology of somatotropin in growth and lactation of domestic animals. *Physiological Reviews*, 78(3), 745-761, doi:10.1152/physrev.1998.78.3.745.

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, México).

García, M. E. (1981). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geografía de la UNAM. México, D. F. 252 p.

Haug, A., Høstmark, A. T., & Harstad, O. M. (2007). Bovine milk in human nutrition–a review. *Lipids in Health and Disease*, 6(1), 25, doi:10.1186/1476-511X-6-25.

Hayssen, V. (1993). Empirical and theoretical constraints on the evolution of lactation. *Journal of Dairy Science*, 76(10), 3213-3233, doi:10.3168/jds.S0022-0302(93)77659-6.

Knight, C. H., & Wilde, C. J. (1987). Mammary growth during lactation: implications for increasing milk yield. *Journal of Dairy Science*, 70(9), 1991-2000, doi:10.3168/jds.S0022-0302(87)80241-2.

Langer, P. (2008). The phases of maternal investment in eutherian mammals. *Zoology*, 111(2), 148-162, doi:10.1016/j.zool.2007.06.007.

McGuffey, R. K. (2017). A 100-year review: metabolic modifiers in dairy cattle nutrition. *Journal of Dairy Science*, 100(12), 10113-10142, doi:10.3168/jds.2017-12987.

Miglior, F., Fleming, A., Malchiodi, F., Brito, L. F., Martin, P., & Baes, C. F. (2017). A 100-Year Review: Identification and genetic selection of economically

important traits in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 100(12), 10251-10271, doi:10.3168/jds.2017-12968.

Miglior, F., Sewalem, A., Jamrozik, J., Lefebvre, D. M., & Moore, R. K. (2006). Analysis of milk urea nitrogen and lactose and their effect on longevity in Canadian dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 89(12), 4886-4894, doi:10.3168/jds.S0022-0302(06)72537-1.

Moore, K., & Thatcher, W. W. (2006). Major advances associated with reproduction in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 89(4), 1254-1266, doi:10.3168/jds.S0022-0302(06)72194-4.

NRC. (2001). *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 7th Rev. Ed. National Academy. Science. Washington, D. C. USA.

Ozhikandathil, J., Badilescu, S., & Packirisamy, M. (2015). A portable on-chip assay system for absorbance and plasmonic detection of protein hormone in milk. *Journal of Dairy Science*, 98(7), 4384-4391, doi:10.3168/jds.2014-8934.

Piñeyrúa, J. T. M., Fariña, S. R., & Mendoza, A. (2018). Effects of parity on productive, reproductive, metabolic and hormonal responses of Holstein cows. *Animal Reproduction Science*, 191, 9-21, doi:10.1016/j.anireprosci.2018.01.017.

Ptak, E., Brzozowski, P., & Bieniek, J. (2012). Genetic parameters for lactose percentage in the milk of Polish Holstein-Friesians. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 21(2), 251-262, doi:10.22358/jafs/66072/2012.

Rathe, M., Müller, K., Sangild, P. T., & Husby, S. (2014). Clinical applications of bovine colostrum therapy: a systematic review. *Nutrition Reviews*, 72(4), 237-254, doi:10.1111/nure.12089.

SAS (Statistical Analysis System). (2016) SAS Institute Inc. SAS® 9.4User's Guide Cary, NC: SAS Institute Inc. Cary, N.C., USA.

Schingoethe, D. J. (2017). A 100-Year Review: Total mixed ration feeding of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 100(12), 10143-10150, doi:10.3168/jds.2017-12967.

Schwab, C. G., & Broderick, G. A. (2017). A 100-Year Review: Protein and amino acid nutrition in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 100(12), 10094-10112, doi:10.3168/jds.2017-13320.

Silvestre, A. M., Martins, A. M., Santos, V. A., Ginja, M. M., & Colaço, J. A. (2009). Lactation curves for milk, fat and protein in dairy cows: A full approach. *Livestock Science*, 122(2-3), 308-313, doi:10.1016/j.livsci.2008.09.017.

SMN (Sistema Meteorológico Nacional). (2018). Consultada en: http://smn.cna.gob.mx/es/informacion-climatologica-ver-estado?estado=tlax

Strucken, E. M., Laurenson, Y. C., & Brockmann, G. A. (2015). Go with the flow—biology and genetics of the lactation cycle. *Frontiers in Genetics*, 6, 118, doi:10.3389/fgene.2015.00118.

Tacoma, R., Gelsinger, S. L., Lam, Y. W., Scuderi, R. A., Ebenstein, D. B., Heinrichs, A. J., & Greenwood, S. L. (2017). Exploration of the bovine colostrum proteome and effects of heat treatment time on colostrum protein profile. *Journal of Dairy Science*, 100(11), 1-10, doi:10.3168/jds.2017-13211.

4 ADMINISTRACIÓN DE CALOSTRO VÍA PARENTERAL EN LA SALUD Y FERTILIDAD DE VACAS LECHERAS

4.1 Resumen

Con el objetivo de evaluar el efecto de la administración de calostro vía parenteral en pre y posparto en la salud y fertilidad de vacas lecheras, se utilizaron 41 vacas de dos a cuatro lactancias, condición corporal de 3.0 a 4.0 y 708 kg de peso promedio. Las vacas fueron asignadas aleatoriamente a dos tratamientos; al primero se le administró por vía parenteral 20 mL de calostro con tratamiento térmico en los días -60, -30, 0, 14, 28, 42, y 56 con relación al parto, y al segundo se le administró vía parenteral una dosis de 40 mL de calostro con tratamiento térmico los días -60, -30, 0, y 21; en ambos grupos la aplicación del día cero fue 50 mL de calostro sin tratamiento térmico y proveniente del primer ordeño de la misma vaca. Previo a la administración del tratamiento, se tomaron muestras de sangre por venopunción coccígea para la determinación de concentración hormonal y metabolitos en suero; se registró el peso de todas las vacas en los días de tratamiento. Se observó que la administración de calostro vía parenteral en las fosas isquiorrectales bajo las condiciones del presente estudio, no mostró efecto en el estado de salud general o la incidencia de enfermedades presentadas en posparto; tampoco tuvo efecto en el intervalo parto-primer servicio, número de servicios por concepción, días abiertos y porcentajes de gestación a 100 y 150 días. Se concluye que la administración de calostro vía parenteral en las fosas isquiorrectales, no afectó la salud y fertilidad de vacas lecheras.

Palabras Clave: vaca lechera, persistencia, fertilidad, posparto, inflamación uterina.[5]

[5] Tesis de Maestría en Ciencias en Innovación Ganadera, Posgrado en Producción Animal, Universidad Autónoma Chapingo

Autor: Jesús Rogelio Sánchez Cota

Director de Tesis: M.C. Constantino Romero Márquez

ADMINISTRATION OF PARENTERAL COLOSTRUM IN THE HEALTH AND FERTILITY OF DAIRY COWS

4.2 Abstract

In order to evaluate the effect of parenteral administration of colostrum in the pre- and postpartum period on health and fertility, 41 dairy cows from two to four lactations, body condition from 3.0 to 4.0 and 708 kg of live weight were used. The cows were randomly assigned to two treatments. The first was administered parenterally with 20 mL of heat treated colostrum the days -60, -30, 0, 14, 28, 42, and 56 postpartum, and the second with 40 mL of heat treated colostrum in -60, -30, 0, and 21; in both groups, the application of day zero was 50 mL of colostrum without heat treatment and from the first milking of the same cow. Prior to the administration of the treatment, blood samples were taken by coccygeal venipuncture for the determination of hormone concentration and serum metabolites; the weight of all cows was recorded on the days of treatment. It was observed that the administration of parenteral colostrum in the ischiorectal pits under the conditions of the present study did not affect the calving first service interval, number of services per conception, days open and gestation percentages at 100 and 150 days. It is concluded that administration of parenteral colostrum in the ischiorectal fossae did not affect the health and fertility of dairy cows.

Key words: dairy cows, persistency, fertility, postpartum, uterine inflammation.[6]

---

[6] Master of Science Thesis, Master in Livestock Innovation, Universidad Autónoma Chapingo

Author: Jesús Rogelio Sánchez Cota

Advisor: M.C. Constantino Romero Márquez

4.3 Introducción

Las vacas lecheras especializadas se caracterizan por un alto rendimiento, pero con una fertilidad disminuida, ya que presentan baja tasa de preñez, y elevada mortalidad embrionaria y fetal (Butler, 2003; Walsh, Williams, & Evans, 2011). Durante décadas se ha realizado selección genética para aumentar la producción de leche, lo que se ha correlacionado negativamente (-0.26, $p<0.01$) con la fertilidad (Strucken, Bortfeldt, Tetens, Thaller, & Brockmann, 2012). Lo anterior posiblemente se explique por el esfuerzo metabólico que implica producir grandes volúmenes de leche, ocasionando una disminución en la eficiencia reproductiva de los hatos lecheros (Butler, 2003; Moore & Thatcher, 2006). Así mismo, el manejo reproductivo requiere que las vacas se inseminen y preñen entre dos a cuatro meses posparto, mientras están en la fase de mayor producción de leche y en balance energético negativo (BEN) (Butler, 2003), y cuando el consumo de materia seca aún es bajo (Lucy, 2001).

Entre los factores que causan la baja fertilidad están un mayor intervalo parto-primera ovulación, por la disminución de la frecuencia en pulsos de LH, bajos niveles de glucosa, insulina y factor de crecimiento tipo I similar a la insulina en sangre (IGF-I), a causa del BEN que las vacas experimentan posterior al parto (Butler, 2000). Este mismo autor indica que el BEN se caracteriza por la alta demanda de nutrientes para la producción de leche, la cual, combinada con la reducción del consumo voluntario de alimentos, genera un déficit en la ingesta de nutrientes, por lo que la vaca tiene que movilizar reservas, ocasionando una consecuente pérdida de condición corporal.

Por su parte, Sordillo y Aitken (2009) mencionaron que una variedad de especies moleculares reactivas de oxígeno se producen por procesos metabólicos (radicales libres ej., anión superóxido y peróxido de hidrógeno) y por ciertas poblaciones de leucocitos durante la defensa contra enfermedades, existiendo un daño oxidativo de los tejidos y los componentes celulares en tiempos de alta

actividad metabólica, como el caracterizado por la alta producción en las vacas en transición.

Recientemente ha aumentado el interés en el estudio de la inmunidad y de la inflamación posparto, debido a que la severidad en estos eventos puede perjudicar la dinámica folicular (Sina, Dirandeh, Deldar, & Shohreh, 2018).

Tacoma et al. (2017) mencionan que el calostro bovino contiene inmunoglobulinas, factores de crecimiento y citosinas, el cual puede beneficiar a otros animales y a los humanos (Rathe, Müller, Sangild, & Husby, 2014).

Se ha estudiado el efecto del calostro bovino administrado por vía subcutánea a vacas posparto, reportando que existe un efecto benéfico en la salud y fertilidad (Báez & Cuahutle, 2006) y que fortalece el sistema inmune (Fernández & Zambrano, 2017).

El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de la administración de calostro vía parenteral en la salud y fertilidad de vacas lecheras.

4.4 Materiales y métodos

4.4.1 Localización del área de estudio

El estudio se realizó de mayo a agosto de 2018, en el establo “Santa Clara”, ubicado en el municipio de Huamantla, Tlaxcala, con coordenadas 19° 19’ 8.21″ N y 97° 52’ 47.38″ O, en la región “El gran llano de Huamantla”, en el eje neovolcánico, a 2420 msnm. El clima, según la clasificación de Köppen, modificada por García (1981), corresponde a Cw, templado subhúmedo con lluvias en verano. La precipitación media anual es 616 mm y ocurre principalmente (85%) de marzo a octubre. La temperatura media anual es 14.2 ºC, la del mes más frío 10.9 ºC y la del más cálido 16.6 ºC (SMN, 2018).

4.4.2 Selección de animales, alimentación y manejo

Se utilizaron 41 vacas lecheras de dos a cuatro lactancias en periodo pre y posparto, con una condición corporal de 3.0 a 4.0 en la escala de 5 puntos (1, emaciada, a 5, gorda), y peso promedio de 708 kg. La alimentación de las vacas se realizó de acuerdo con el estado fisiológico, con base en una dieta integral cubriendo las necesidades de mantenimiento y producción (NRC, 2001). Los principales ingredientes fueron: soya, canola, maíz molido, melaza, pre mezclas minerales y vitaminas. Se les proporcionó agua limpia y fresca *ad libitum*. El ordeño se realizó dos veces al día, de 3:00 am a 9:00 am y de 3:00 pm a 9:00 pm. Se registraron los datos reproductivos consistentes en intervalo parto-primer servicio (IPPS), servicios por concepción (SPC), días abiertos (DA), y porcentajes de gestación a 100 y 150 d. Se registraron los datos de salud diariamente consistentes en la aparición de problemas como metritis, mastitis, fiebre, cojeras, paresia y atonía ruminal; también se registraron los pesos corporales en los días correspondientes a la administración de los tratamientos a la salida del ordeño de la tarde en una báscula Revuelta® (Modelo RGI-20C-DVZ, México).

4.4.3 Preparación de las dosis de calostro

El calostro se obtuvo de vacas paridas en marzo de 2018; una vez concluido el parto, los terneros se separaron de su madre en los siguientes 20 a 30 min (evitando que ocurriera el amamantamiento). Posteriormente se realizó la ordeña manual higiénica entre 30 y 60 min posparto, se evaluó la concentración de inmunoglobulinas por medio de calostrómetro, seleccionando el calostro con más de 120 mg mL^{-1} de IgG, para después conservarlo a 4 °C por 90 min y posteriormente a -20 °C hasta obtener un lote de ocho litros; luego se descongeló y se mezcló para realizar un tratamiento térmico y reducir la contaminación con patógenos, consistente en mantener a 60 °C por 60 min, utilizando un sistema de pasteurización comercial en granja (Dairy Tech Inc, ProVU4, Windsor, CO, USA). Una vez que se enfrió el lote, se almacenó en jeringas estériles de 20 y de 40 mL, se refrigeró a 4 °C por 60 min y luego se mantuvo a -20 °C hasta su aplicación

en los días programados; se conservó una muestra para realizar un análisis de IgG y cultivo bacteriano.

4.4.4 Administración de los tratamientos

Las vacas se asignaron aleatoriamente a dos tratamientos: el tratamiento 1 (T1) consistió en la aplicación, vía parenteral en las fosas isquiorrectales de la cola, a la altura hueso sacro, de 20 mL en los días -60, -30, 0, 14, 28, 42 y 56 relativos al parto, a 38.5 °C; para el tratamiento 2 (T2) se aplicaron 40 mL del lote de calostro en los días -60, -30, 0 y 21 relativos al parto, en el mismo lugar y a la misma temperatura que el T1. En ambos tratamientos la aplicación del día cero fue 50 mL de calostro sin tratamiento térmico y proveniente del primer ordeño de la misma vaca.

4.4.5 Obtención de las muestras de sangre

Las muestras de sangre se obtuvieron en tubos de vacío Enrotainer® de 7 mL (Veterinary Equipment, S. A. de C. V., México), por punción de la vena coccígea en la porción ventral de la cola. La muestra se centrifugó a 3,000 rpm por 12 min (ScienceMed, DMO412, México); se tomó el suero sanguíneo para su almacenamiento a 4 °C por 60 min y posteriormente a -20 °C, hasta su envío al laboratorio para analizar su concentración hormonal y de metabolitos.

4.4.6 Inseminación artificial

La inseminación artificial se realizó 12 h después de detectado el celo, con ayuda de collares Heatime® (SCR® Engineers Ltd., Hadarim, Netanya) que monitorean rumia y actividad física. Las inseminaciones se realizaron con semen congelado comercial de toros de fertilidad conocida. Se utilizaron pajillas de 0.5 mL siguiendo el protocolo tradicional de inseminación con aplicador tipo francés de acero inoxidable.

4.4.7 Diagnóstico de gestación

El diagnóstico de gestación se realizó 32, 60 y 100 d después del servicio, con ayuda de un ultrasonido y un transductor rectal de 5 MHz de frecuencia (United imaging healthcare®, Beijing).

4.4.8 Análisis estadístico

Para estudiar el efecto de los dos tratamientos en las variables de salud disponibles (metritis, mastitis, fiebre, cojeras, paresia y atonía ruminal), se consideró el análisis de dos proporciones binomiales, correspondientes a la presencia del evento de interés en cada uno de los dos tratamientos considerados.

De acuerdo con esto, se consideró el juego de hipótesis:

$$H_o: \pi_1 - \pi_2 = 0 \quad H_a: \pi_1 - \pi_2 \neq 0 \qquad (1)$$

en el cual $\pi_1 = P(O \quad e \ e \quad |T_1)\ y\ \pi_2 = P(O \quad e \ e \quad |T_2)$. En este caso se supone $Y_1 \sim B \quad (n_1, \pi_1), Y_2 \sim B \quad (n_2, \pi_2)$ en donde Yi es la variable de respuesta correspondiente al número de animales que presentaron el evento de interés (enfermedad) bajo el tratamiento T , i = 1,2.

El análisis se efectuó mediante el procedimiento GENMOD de SAS y consideró el modelo lineal generalizado para una variable de respuesta categórica nominal con dos respuestas posibles, distribución binomial y función liga Identidad. Para decidir si las dos proporciones poblacionales se pueden considerar iguales, se calculó un intervalo de confianza para la diferencia de proporciones $D = \pi_1 - \pi_2$; la expresión para el intervalo es:

$$I((\pi_1 - \pi_2) = (\hat{\pi}_1 - \hat{\pi}_2) \pm Z_{1-(\propto/2)} \hat{\sigma}_{\hat{D}} \qquad (2)$$

en donde $\hat{\pi}_i$ es la estimación por máxima verosimilitud de π_1, $\hat{\sigma}_{\bar{D}}$ es el error estándar estimado de la diferencia $\pi_1 - \pi_2$ y $Z_{1-(\alpha/2)}$, es el cuantil $1-(\alpha/2)$ de la densidad normal estándar.

Usando el intervalo en la expresión (2), una prueba de hipótesis con nivel de significancia $\alpha, 0 < \alpha < 1$, se obtiene al rechazar la hipótesis nula en el juego (1) si el intervalo $I($ $(\pi_1 - \pi_2)$ no contiene al valor cero.

Para el caso de intervalo del parto al primer servicio (IPPS), número de servicios por concepción (SPC), número de días abiertos (DA), porcentaje de gestación a los 100 (%G100) y a los 150 d (%G150), se consideró un análisis de varianza con un criterio de clasificación que correspondió al factor tratamientos.

De acuerdo con esto el modelo que se considera es:

$$Y_{i} = \mu + \tau_i + e_i$$

donde τ_i es el efecto del tratamiento T_i, definido previamente, y Y_{i} es el valor de la variable de respuesta observada en el animal j que recibió el tratamiento T_i. Se asumió $\varepsilon_{i} \overset{ii}{\sim} N(0, \sigma^2); i = 1,2, j = 1, \ldots, n_i$.

Para probar la igualdad del efecto de tratamientos se consideró la prueba de Tukey y un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$. Los anális se realizaron mediante el procedimiento GLM de SAS.

Para estudiar el efecto de las variables de salud disponibles, se consideró el modelo:

$$Y_{i} = \mu + \tau_i + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \varepsilon_{i}$$

que corresponde a un análisis de varianza para un factor con $t = 2$ tratamientos repetidos r_i veces respectivamente; en este modelo τ_1 es el efecto del tratamiento τ_1 sobre la variable respuesta y observada en el animal j que recibió el tratamiento i, β_1 es el coeficiente de regresión asociado a la covariable peso del

animal al secado, β_2 ess el coeficiente de regresión asociado a la covariable peso al parto y ε_i es el término del error supuesto tal que $\varepsilon_i \overset{iid}{\sim} N(0, \sigma^2)$.

4.5 Resultados y discusión

En el Cuadro 3 se muestran los resultados donde no existe diferencia significativa (p>0.05), entre el porcentaje de animales que padecen alguna de las enfermedades consideradas; es decir, un animal que presentó o no alguna enfermedad durante el estudio, cuando recibieron T1 o T2. El porcentaje de incidencia de alguna enfermedad en los tratamientos T1 y T2 (72.73 y 68.42%), fueron superiores a los reportados por Ribeiro et al. (2013); este autor menciona que la incidencia de al menos un caso de enfermedad en vacas en pastoreo fue 35.7% y que la enfermedad afectó la preñez por servicio a 30 y 65 d después de la inseminación y aumentó la pérdida de preñez. Por su parte, Santos et al. (2010) reportaron 44.2% de incidencia de enfermedad en condiciones de producción intensiva.

Cuadro 3. Porcentaje de animales que presentaron enfermedad o no para vacas lecheras tratadas con calostro.

Tratamiento	Estado de salud	n	Porcentaje de incidencia
T1[z]	Enferma	16	72.73 a[x]
	No enferma	6	27.27 a
T2[y]	Enferma	13	68.42 a
	No enferma	6	31.58 a

[z] Administración de 20 mL de calostro en los días -60, -30, 0, 14, 28, 42 y 56 d relativos al parto.
[y] Administración de 40 mL de calostro en los días -60, -30, 0, 21 d relativos al parto.
[x] Porcentajes con distinta literal, son diferentes (p<0.05).

La incidencia por tipo enfermedad que se presentó durante el estudio se muestra en el Cuadro 4; solo se observaron diferencias en la incidencia de atonía ruminal, la cual fue mayor en el T1 con respecto al T2 (27.27% vs 5.26%), para las otras enfermedades no se encontraron diferencias entre tratamientos. De las enfermedades evaluadas, la metritis fue la más prevalente. Gilbert (2016), reporta que la incidencia de metritis es de 15 a 20%, pero puede ser mucho mayor en

algunos hatos; por su parte, Ribeiro et al. (2013) publicaron que la prevalencia de metritis fue de 15.3% para vacas en pastoreo; en el presente estudio los porcentajes de incidencia de metritis fueron mayores a esos valores alcanzando 36.36 y 52.63% para el T1 y T2, respectivamente. Estos mismos autores señalan que para el caso de la mastitis obtuvieron valores de 2.5%, los cuales estuvieron por debajo de los encontrados en el presente estudio (9.09 y 10.53% para T1 y T2). Así mismo, Ribeiro et al. (2013) mencionaron que la incidencia de problemas respiratorios fue de 4.0%, para problemas digestivos 3.2% y para cojeras 20.0%; en este sentido señalaron que las enfermedades clínicas tuvieron efectos negativos en la reproducción, retrasando la reanudación de la ciclicidad estral y reduciendo la preñez. Santos et al. (2010) mencionaron que la incidencia de enfermedades en condiciones de producción intensiva fue 16.1% para metritis, 12.2% mastitis, 21.0% fiebre, 6.8% cojeras, 2.8% problemas digestivos y 2.0% neumonía; el 27.0% de las vacas fueron diagnosticadas con un solo evento de enfermedad, mientras que el 17.2% tuvo al menos dos eventos de enfermedad en los dos primeros meses de lactancia.

Cuadro 4. Incidencia en enfermedades presentadas para vacas lecheras tratadas con calostro.

Tratamiento	Metritis (%)	Mastitis (%)	Fiebre (%)	Cojeras (%)	Paresia (%)	Atonía ruminal (%)
T1[z]	36.36 a[x]	9.09 a	18.18 a	4.55 a	4.55 a	27.27 a
T2[y]	52.63 a	10.53 a	21.05 a	21.05 a	10.53 a	5.26 b

[z] Administración de 20 mL de calostro en los días -60, -30, 0, 14, 28, 42 y 56 d relativos al parto.
[y] Administración de 40 mL de calostro en los días -60, -30, 0, 21 d relativos al parto.
[x] Porcentajes con distinta literal, son diferentes ($p<0.05$).

Si se revisa el efecto de los tratamientos en las enfermedades específicas y el porcentaje de gestación a los 150 d, se encuentra que sólo para atonía ruminal ($p<0.05$) hubo diferencias significativas. En las variables restantes el efecto de tratamientos no fue significativo ($p>0.05$, Cuadro 5).

Cuadro 5. Efecto de la interacción tratamiento × estado de salud en el porcentaje de gestación de vacas lecheras tratadas con calostro.

Tratamiento	Variable de respuesta	Estado de salud	n	Gestantes	%Gest150[x]	Prob[w]
T1[z]	Metritis	Enferma	8	6	75.00	0.2946
		No enferma	14	10	71.40	
T2[y]		Enferma	10	6	60.00	
		No enferma	9	4	44.44	
T1	Mastitis	Enferma	2	2	100	0.8774
		No enferma	20	14	70	
T2		Enferma	2	1	50	
		No enferma	17	9	52.94	
T1	Fiebre	Enferma	4	2	50	0.8173
		No enferma	18	14	77.77	
T2		Enferma	4	1	25	
		No enferma	15	9	56	
T1	Cojera	Enferma	1	1	100	0.0996
		No enferma	21	15	71.42	
T2		Enferma	4	3	75	
		No enferma	15	7	46.66	
T1	Paresia	Enferma	1	0	0	0.4616
		No enferma	21	16	76.19	
T2		Enferma	2	2	100	
		No enferma	17	8	47.05	
T1	Atonía ruminal	Enferma	6	4	66.66	0.0494
		No enferma	16	12	75	
T2		Enferma	1	0	0	
		No enferma	18	10	55.55	

[z] Administración de 20 mL de calostro en los días -60, -30, 0, 14, 28, 42 y 56 d relativos al parto.
[y] Administración de 40 mL de calostro en los días -60, -30, 0, 21 d relativos al parto.
[x] Porcentaje de gestación a 150 d.
[w] Probabilidad de la significancia.

Los resultados obtenidos para variables reproductivas se muestran en el Cuadro 6; no existen efectos significativos de tratamientos para IPPS, SPC y DA. Sin embargo, las medias obtenidas para estas variables estuvieron dentro de los parámetros óptimos de acuerdo con Walsh et al. (2011), quienes mencionaron que la preñez debe establecerse dentro de 83 d posparto en el 80% de las vacas. Por su parte, Nishida, Aziz, Nishida y Suzuki (2006) mencionaron que un retraso en la concepción debido a la falta de fertilidad, aumenta el intervalo entre partos, principalmente debido al aumento en el número de días desde el parto hasta la

concepción. Para los SPC obtenidos, estos fueron menores a los publicados por Norman, Wright, Hubbard, Miller, y Hutchison (2009), quienes reportaron entre 2.5 y 2.6 SPC en vacas Holstein y entre 2.2 y 2.4 para vacas Jersey.

Cuadro 6. Efecto de la administración de calostro en el intervalo parto primer servicio, servicios por concepción y días abiertos en vacas lecheras.

Tratamiento	Media estimada	Error estándar estimado	Variable respuesta	Prob[w]
T1[z]	57.9092 a	3.00	IPPS[x]	0.8876
T2[y]	57.2243 a	3.23		
T1	2.2490 a	0.24	SPC[w]	0.6682
T2	2.0264 a	0.26		
T1	84.2445 a	7.07	DA[v]	0.8007
T2	88.0331 a	7.61		

[z] Administración de 20mL de calostro en los días -60, -30, 0, 14, 28, 42 y 56 d relativos al parto.
[y] Administración de 40mL de calostro en los días -60, -30, 0, 21 d relativos al parto.
[x] Intervalo parto primer servicio; [w] servicios por concepción; [v] Días abiertos.
[w] Probabilidad de la significancia.

Los porcentajes de gestación por número de servicio se muestran en el Cuadro 7; se observa que para el caso del T1 el porcentaje de gestación disminuyó del primero al quinto servicio y en el T2 los porcentajes fueron similares para los primeros tres servicios, y en el cuarto y quinto tendió a disminuir. Los porcentajes de gestación observados en Estados Unidos de América de 1996 a 2007 variaron entre 30 y 40% (Norman, Wright, Hubbard, Miller, & Hutchison, 2009). De acuerdo con Cielava, Jonkus y Paura (2017), el aumento del número de servicios por concepción incrementa la edad al parto y en las lactancias posteriores, disminuye el número de lactancias potenciales en la vida de la vaca, es decir, reduce la longevidad, y también se relaciona con problemas en el rendimiento reproductivo; lo que concuerda con Chebel y Ribeiro (2016), quienes mencionaron que la ineficiencia reproductiva compromete la rentabilidad de los hatos lecheros, la salud y la longevidad de las vacas.

Cuadro 7. Porcentaje de gestación por número de servicio para vacas lecheras tratadas con calostro parenteral.

			Porcentaje de gestación por número de servicio				
Tratamientos	n	Gestantes	1	2	3	4	5
T1[z]	22	16	31.82 a[x]	13.64 a	13.64 a	9.09 a	4.55 a
T2[y]	19	10	15.79 b	15.79 a	15.79 a	0.0 a	5.26 a

[z] Administración de 20 mL de calostro en los días -60, -30, 0, 14, 28, 42 y 56 d relativos al parto.
[y] Administración de 40 mL de calostro en los días -60, -30, 0, 21 d relativos al parto.
[x] Porcentajes con distinta literal, son diferentes ($p<0.05$).

Para los efectos de las variables reproductivas disponibles en función de salud, se concluye que no hubo efectos de tratamiento (Cuadro 8). En concordancia con lo anterior, Kasimanickam, Cornwell, y Nebel (2006) mencionaron que no encontraron diferencias en las probabilidades de preñez al primer servicio entre vacas con endometritis clínica o subclínica y vacas sanas ($p>0.1$).

Cuadro 8. Efecto de la administración de calostro en el estado reproductivo de vacas lecheras.

Tratamiento	Estimación de la proporción	Error estándar estimado	Variable respuesta	Prob[w]
T1[z]	0.5000 a	0.1066	%Gest100[x]	0.1177
T2[y]	0.2632 a	0.1010		
Enfermas	0.3448 a	0.0883		0.3571
No enfermas	0.5000 a	0.1443		
T1	0.7273 a	0.0950	%Gest150[w]	0.1820
T2	0.5263 a	0.1145		
Enfermas	0.6207 a	0.0901		0.7801
No enfermas	0.6667 a	0.1361		

[z] Administración de 20 mL de calostro en los días -60, -30, 0, 14, 28, 42 y 56 d relativos al parto.
[y] Administración de 40 mL de calostro en los días -60, -30, 0, 21 d relativos al parto.
[x] Porcentaje de gestación a los 100 d, [w] Porcentaje de gestación a los 150 d.
[w] Probabilidad de significancia.

4.6 Conclusiones

La administración de calostro vía parenteral en las fosas isquiorrectales, bajo las condiciones del presente estudio, no influyó en el estado de salud general o la incidencia de enfermedades presentadas en posparto.

La administración de calostro vía parenteral en las fosas isquiorrectales, no mostró efecto sobre los intervalos del parto al primer servicio, número de servicios por concepción, número de días abiertos y porcentajes de gestación a 100 y 150 días.

La incidencia de atonía ruminal fue mayor en las vacas que recibieron el tratamiento 1 (20 mL de calostro en los días -60, -30, 0, 14, 28, 42 y 56), sin embargo, no afectó al porcentaje de gestación a los 150 d, ya que este fue mayor comparado con el tratamiento 2 (40 mL de calostro en los días -60, -30, 0 y 21) que presentó menor incidencia y menor porcentaje de gestación a los 150 d.

4.7 Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el financiamiento otorgado para la realización de este proyecto; a la Universidad Autónoma Chapingo por el apoyo y facilidades brindadas, así mismo, al Ing. Jaime Eloy Bretón y Bretón, propietario del establo lechero “Santa Clara”, por proporcionar las instalaciones, animales, materiales y equipos necesarios para la realización del estudio.

4.8 Literatura Citada

Butler, W. R. (2000). Nutritional interactions with reproductive performance in dairy cattle. *Animal Reproduction Science*, 60-61, 449-457, doi:10.1016/S0378-4320(00)00076-2.

Butler, W. R. (2003). Energy balance relationships with follicular development, ovulation and fertility in postpartum dairy cows. *Livestock Production Science*, 83, 211-218, doi:10.1016/S0301-6226(03)00112-X.

Chebel, R. C., & Ribeiro, E. S. (2016). Reproductive systems for North American dairy cattle herds. *Veterinary Clinics: Food Animal Practice*, 32(2), 267-284, doi:10.1016/j.cvfa.2016.01.002.

Cielava, L., Jonkus, D., & Paura, L. (2017). Number of services per conception and its relationship with dairy cow productive and reproductive traits. *Research for Rural Development*, 2, 67-73, doi:10.22616/rrd.23.2017.051.

García, M. E. (1981). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geografía de la UNAM. México, D. F. 252 p.

Gilbert, R. O. (2016). Management of reproductive disease in dairy cows. *Veterinary Clinics: Food Animal Practice*, 32(2), 387-410, doi:10.1016/j.cvfa.2016.01.009.

Kasimanickam, R., Cornwell, J. M., & Nebel, R. L. (2006). Effect of presence of clinical and subclinical endometritis at the initiation of Presynch–Ovsynch program on the first service pregnancy in dairy cows. *Animal Reproduction Science*, 95(3-4), 214-223, doi:10.1016/j.anireprosci.2005.10.007.

Lucy, M. C. (2001). Reproductive loss in high-producing dairy cattle: where will it end? *Journal of Dairy Science*, 84(6), 1277-1293, doi:10.3168/jds.S0022-0302(01)70158-0.

Moore, K., & Thatcher, W. W. (2006). Major advances associated with reproduction in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 89(4), 1254-1266, doi:10.3168/jds.S0022-0302(06)72194-4.

Nishida, A., Aziz, M. A., Nishida, S., & Suzuki, K. (2006). Modelling number of services per conception of Japanese Black cattle by random regression. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 123(1), 56-63, doi:10.1111/j.1439-0388.2006.00560.x.

Norman, H. D., Wright, J. R., Hubbard, S. M., Miller, R. H., & Hutchison, J. L. (2009). Reproductive status of Holstein and Jersey cows in the United States. *Journal of Dairy Science*, 92(7), 3517-3528, doi:10.3168/jds.2008-1768.

NRC. (2001). *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 7th Rev. Ed. National Academy. Science. Washington, D. C. USA.

Rathe, M., Müller, K., Sangild, P. T., & Husby, S. (2014). Clinical applications of bovine colostrum therapy: a systematic review. *Nutrition Reviews*, 72(4), 237-254, doi:10.1111/nure.12089.

Ribeiro, E. S., Lima, F. S., Greco, L. F., Bisinotto, R. S., Monteiro, A. P. A., Favoreto, M., ... & Santos, J. E. P. (2013). Prevalence of periparturient diseases and effects on fertility of seasonally calving grazing dairy cows supplemented with concentrates. *Journal of Dairy Science*, 96(9), 5682-5697, doi:10.3168/jds.2012-6335.

Santos, J. E. P., Bisinotto, R. S., Ribeiro, E. S., Lima, F. S., Greco, L. F., Staples, C. R., ... & Spencer, T. E. (2010). Applying nutrition and physiology to improve reproduction in dairy cattle. Society of *Reproduction and Fertility Supplement*, 7, 387-403, doi:

Sina, M., Dirandeh, E., Deldar, H., & Shohreh, B. (2018). Inflammatory status and its relationships with different patterns of postpartum luteal activity and reproductive performance in early lactating Holstein cows. *Theriogenology*, 108, 262-268, doi:10.1016/j.theriogenology.2017.12.020.

SMN (Sistema Meteorológico Nacional). (2018) Consultada en: http://smn.cna.gob.mx/es/informacion-climatologica-ver-estado?estado=tlax

Sordillo, L. M., & Aitken, S. L. (2009). Impact of oxidative stress on the health and immune function of dairy cattle. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 128(1-3), 104-109, doi: 10.1016/j.vetimm.2008.10.305.

Strucken, E. M., Bortfeldt, R. H., Tetens, J., Thaller, G., & Brockmann, G. A. (2012). Genetic effects and correlations between production and fertility traits and their dependency on the lactation-stage in Holstein Friesians. *BioMed Central Genetics*, 13(1), 108, doi: 10.1186/1471-2156-13-108.

Tacoma, R., Gelsinger, S. L., Lam, Y. W., Scuderi, R. A., Ebenstein, D. B., Heinrichs, A. J., & Greenwood, S. L. (2017). Exploration of the bovine colostrum proteome and effects of heat treatment time on colostrum protein profile. *Journal of Dairy Science*, 100(11), 1-10, doi:10.3168/jds.2017-13211.

Walsh, S. W., Williams, E. J., & Evans, A. C. O. (2011). A review of the causes of poor fertility in high milk producing dairy cows. *Animal Reproduction Science*, 123(3-4), 127-138, doi:10.1016/j.anireprosci.2010.12.001.

Apéndice 1. Indicadores de bondad de ajuste para polinomios de Legendre de diferente orden, ajustados a registros de producción y componentes de leche de vacas con y sin tratamiento de calostro.

	Grado del polinomio fijo y aleatorio para producción de leche		
Indicador de bondad de ajuste[1]	4,4	5,5	6,6
-2 Res Log Likelihood	114438.2	114286.9	114268.0
AIC	114472.2	114332.9	114328.0
BIC	114516.1	114392.3	114405.6
	Grado del polinomio fijo y aleatorio para porcentaje de grasa		
	3,3	4,4	5,5
-2 Res Log Likelihood	1298.7	1245.7	1222.5
AIC	1320.7	1277.7	1266.5
BIC	1349.1	1319.1	1323.4
	Grado del polinomio fijo y aleatorio para porcentaje de proteína		
	4,4	5,5	6,6
-2 Res Log Likelihood	-119.5	-128.9	-113.1
AIC	-87.5	-86.9	-59.1
BIC	-46.2	-32.6	10.7
	Grado del polinomio fijo y aleatorio para porcentaje de lactosa		
	1,1	2,2	3,3
-2 Res Log Likelihood	-45.0	-208.9	-262.4
AIC	-37.0	-194.9	-240.4
BIC	-26.6	-176.8	-212.0

[1] -2 Res Log Likelihood = -2*[log (residual de la función de verosimilitud)]; AIC = Criterio de Información de Akaike (entre más pequeño, mejor ajuste del modelo); BIC = Criterio de Información Bayesiano (entre más pequeño, mejor ajuste del modelo).