

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DEL POSTGRADO



EFFECTO DEL ESTRÉS POR CALOR Y LA CONDICIÓN CORPORAL EN LA
OCURRENCIA DE TRASTORNOS PUERPERALES EN VACAS HOLSTEIN

Tesis

Que presenta CLAUDIA DENNISE HERRERA GARIBAY

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

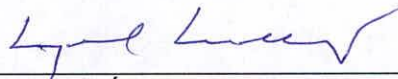
Torreón, Coahuila

Julio 2023

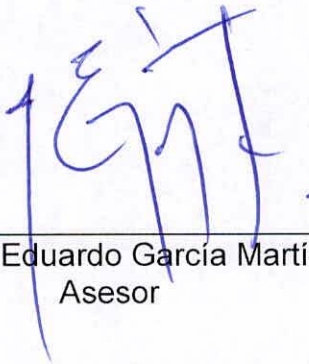
EFFECTO DEL ESTRÉS POR CALOR Y LA CONDICIÓN CORPORAL EN LA OCURRENCIA DE TRASTORNOS PUERPERALES EN VACAS HOLSTEIN

Tesis

Elaborada por CLAUDIA DENNISE HERRERA GARIBAY como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Producción Agropecuaria con la supervisión y aprobación del Comité de Asesoría



Dr. Miguel Ángel Mellado Bosque
Director de Tesis



Dr. José Eduardo García Martínez
Asesor



Dr. Jesús Alberto Mellado Bosque
Asesor



Dra. Dalia Ivette Carrillo Moreno
Jefe de Departamento de Postgrado



Dr. Antonio Flores Neveda
Subdirector de Postgrado

AGRADECIMIENTOS

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**, por acogerme en su nido una vez más para realizar mi posgrado y seguir contribuyendo a mi desarrollo profesional.

Quiero agradecer a mis padres, **el Sr. Ricardo Herrera Balderas y la Sra. Liliana Garibay Ruiz**, por su apoyo incondicional, simplemente por ser y estar.

A mis abuelitos, **Sr. Antonio Garibay y Sra. Matilde Ruíz**, por construir un hogar en el que todas sus nietas podemos sentir ese apapacho que se necesita de vez en cuando durante el desarrollo de cada proyecto en la vida.

Al **Dr. Miguel Ángel Mellado Bosque**, le estoy muy agradecida por todo el apoyo durante esta investigación, por la oportunidad de contribuir con usted en uno de sus múltiples proyectos.

Al **Dr. José Eduardo García Martínez**, por ser apoyo y guía en el desarrollo de esta investigación.

A **Lucia M. Treviño Ruíz**, por iniciar un reto juntas y brindarme una amistad tan bonita dentro y fuera de la escuela en los últimos años.

A **Giovana Amairany Saucedo Rentería**, por siempre estar a solo un mensaje de distancia durante mi estancia en Saltillo y ser esa amistad tan pura que todos deberíamos tener en la vida.

DEDICATORIA

A la autora: **Ing. Dennise Herrera Garibay**. Por siempre creer en sí misma y lograr cada propósito. Porque este proyecto comenzó como un reto personal y hoy se convierte en una grata satisfacción.

A mis padres: **Sr. Ricardo Herrera Balderas y Sra. Liliana Garibay Ruiz**. Por ser parte de cada paso que doy, por ser excelentes guías y mi mejor porra.

Al **Sr. Guadalupe de Hoyos Ramón**. La vida me dio un segundo padre y como ello, estar presente en cada etapa de mi vida.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Agradecimientos.....	iii
Dedicatoria.....	iv
Índice de Contenido.....	v
Lista de Cuadros.....	vi
Lista de Figuras.....	vii
Resumen.....	viii
Abstract.....	x
Introducción.....	1
Revisión de literatura.....	3
Estrés por calor.....	3
Condición corporal en ganado de leche.....	5
Retención de placenta.....	10
Cetosis.....	10
Metritis.....	11
Materiales y métodos.....	14
Animales, alimentación e instalaciones.....	14
Diseño del estudio y registro de enfermedades.....	15
Análisis estadístico.....	16
Resultados.....	17
Discusión.....	25
Conclusión.....	29
Referencias.....	30

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. El efecto del estrés por calor al parto sobre la ocurrencia de retención de placenta, metritis y cetosis en vacas Holstein de alto rendimiento en un ambiente caluroso.....	17
Cuadro 2. El efecto de puntaje de condición corporal sobre la ocurrencia de retención de placenta, metritis y cetosis en vacas Holstein de alto rendimiento en un ambiente caluroso.....	21

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Escala para la determinación del estado corporal.....	5
Figura 2. Prevalencia de placenta retenida en vacas multíparas Holstein sometidas a diversos índices de temperatura-humedad al parto.....	18
Figura 3. Distribución de la prevalencia de lactancia de metritis puerperal por ITH al parto en vacas Holstein pluríparas en ambiente caluroso (n= 12,102).....	19
Figura 4. Distribución de la prevalencia de cetosis en la lactancia por ITH al parto en vacas Holstein pluríparas en un ambiente cálido (n= 12,102).....	20
Figura 5. Distribución de la prevalencia de lactancia de placenta retenida por índice de condición corporal al parto en vacas Holstein pluríparas en ambiente caluroso (n= 12102).....	22
Figura 6. Distribución de la prevalencia de lactancia de metritis puerperal por condición corporal al parto en vacas Holstein pluríparas en ambiente caluroso (n= 12,102).....	23
Figura 7. Distribución de la prevalencia de cetosis en la lactancia por condición corporal al parto en vacas Holstein pluríparas en ambiente cálido (n= 12,102).....	24

RESUMEN

Efecto del estrés por calor y la condición corporal en la ocurrencia de trastornos puerperales en vacas Holstein

CLAUDIA DENNISE HERRERA GARIBAY

Maestro en Ciencias en Producción Agropecuaria

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Asesor: DR. MIGUEL ÁNGEL MELLADO BOSQUE

El objetivo de esta investigación retrospectiva fue determinar si el estrés térmico durante el periodo seco de vacas Holstein y la condición corporal al parto están asociados con la ocurrencia de retención de placenta (RP), metritis, cetosis y mastitis. Se utilizaron 14,300 registros de lactancias de 6,566 vacas Holstein de diferentes partos mantenidas en un ambiente cálido la mayor parte del año. Se registraron los casos de mastitis, cetosis subclínica, retención de placenta y metritis. Se determinó la temperatura máxima y humedad relativa al secado de la vaca, a la mitad del periodo seco y al momento del parto. Con lo anterior se determinó el índice temperatura-humedad. El promedio de estos valores se utilizó para el análisis estadístico. Las unidades experimentales fueron las lactancias “anidadas” dentro de vacas. Con el uso de regresiones logísticas múltiples utilizando el año y número de lactancia como covariables, se determinaron los factores de para la ocurrencia de las enfermedades descritas. Las vacas que parieron con un $ITH > 82$ tuvieron un 30% más de probabilidades de tener RP que las vacas cuyo parto ocurrió con un estrés térmico bajo ($ITH < 82$ unidades). Las vacas que parieron con $ITH > 82$ tuvieron mayores posibilidades de tener metritis que las vacas que parieron con $ITH < 82$. Las vacas que parieron con un $ITH > 82$ fueron 1.8 veces más propensas de tener cetosis que las vacas que parieron con un $ITH < 82$ unidades. Las vacas con CC al parto ≥ 3.5 tuvieron la mitad de riesgo de presentar RP que las vacas con $CC < 3.5$. El riesgo de metritis disminuyó con

CC \geq 3.5 al parto. Se concluyó que, en ambientes calurosos, a las vacas Holstein se les debe proporcionar algún método de enfriamiento como medidas preventivas para reducir las enfermedades periparto. Además, prestar atención a la condición corporal de vacas Holstein al parto es vital para reducir las enfermedades que se presentan en el puerperio.

Palabras clave: Estrés térmico, Cetosis, Retención de placenta, Metritis.

ABSTRACT

Effect of heat stress and body condition score on the occurrence of puerperal disorders in Holstein cows

By:

CLAUDIA DENNISE HERRERA GARIBAY

Master of Science in Agricultural and Livestock production

Autonomous Agrarian University Antonio Narro

Advisor: DR. MIGUEL ÁNGEL MELLADO BOSQUE

The objective of ITHs retrospective investigation was to determine if heat stress during the dry period in Holstein cows and body condition at calving are associated with the occurrence of retained placenta, metritis, ketosis, and mastitis. 14,300 lactation records of 6,566 Holstein cows from different births kept in a warm environment for most of the year were used. Cases of mastitis, clinical ketosis, retained placenta (RP), and metritis were recorded. The maximum temperature and relative humidity were determined at the drying of the cow, at the middle of the dry period and at the moment of calving. With the above, the temperature-humidity index was determined. The average of these values was used for statistical analysis. The experimental units were "nested" lactations within cows. With the use of multiple logistic regressions using the year and number of lactation as covariates, the factors for the occurrence of the diseases described were determined. Cows calving with a ITH>82 were 30% more likely to have RP than cows calving with low heat stress (ITH <82 units). Cows calving with ITH>82 were more likely to have metritis than cows calving with ITH<82. Cows calving with a ITH>82 were 1.8 times more likely to suffer ketosis than cows calving with a ITH<82 units. Cows with CC at calving ≥ 3.5 had half the risk of presenting RP as cows with CC <3.5. The risk of metritis decreased with CC ≥ 3.5

at delivery. It was concluded that, in hot environments, Holstein cows should be provided with some method of cooling as preventive measures to reduce peripartum disease. In addition, paying attention to the body condition of Holstein cows at calving is vital to reduce diseases that occur in the puerperium.

Keywords: Heat stress, Ketosis, Retained placenta, Metritis

I. INTRODUCCIÓN

Además de la producción de calor metabólico (calor corporal) de las vacas lecheras, que aumenta en paralelo con el aumento de la producción de leche (Yan et al., 2021), el calor también se obtiene del medio ambiente. En zonas de clima cálido, las temperaturas ambientales altas y constantes provocan un aumento de la temperatura corporal e inducen una respuesta fisiológica (Hao et al., 2016). En las regiones subtropicales y tropicales, predomina durante todo el año una temperatura ambiente alta casi constante, muy por encima del ambiente termoneutral del ganado lechero (Li et al., 2021), lo que reduce la producción de leche del ganado lechero entre un 40% y un 60% comparado con condiciones templadas (Usman et al., 2013). Además, las vacas lecheras sin enfriamiento suplementario activan varios mecanismos adaptativos para aumentar el flujo de energía neta externa, como temperaturas rectales elevadas, tasas más altas de respiración, temperaturas de la piel, frecuencias cardíacas y tiempo de rumia reducido (Dalcin et al., 2016; Garner et al., 2017; Yan et al., 2021). Por lo tanto, la temperatura ambiental está fuertemente y negativamente correlacionada con las respuestas de producción (p. ej., producción de leche, temperatura de la leche y consumo de alimento) en las vacas lecheras (Amamou et al., 2019; Ji et al., 2020). La temperatura del aire también deprime severamente el rendimiento reproductivo de las vacas (Mellado et al., 2013) y debilita el sistema inmunológico (Bagath et al., 2019), lo que resulta en un aumento de las enfermedades puerperales con el aumento del índice de temperatura-humedad (ITH) (Gernand et al., 2019).

Un puntaje de condición corporal (CC) adecuado es importante para mantener el estado de salud de las vacas lecheras (Dale et al., 2017). Por lo tanto, optimizar la CC al parto es un aspecto esencial del manejo del período seco para mejorar la lactancia posterior (Roche et al., 2009; Zhao et al., 2019), el comportamiento reproductivo (Bedere et al., 2018) y reducir las enfermedades del periparto (Dubuc et al., 2010; Torres et al., 2020). La CC aceptable recomendada para vacas lecheras oscila entre 2.5 y 3.5 en una escala de 5 puntos para garantizar

que la salud periparto no se vea comprometida (Giuliodori et al., 2013). Desafortunadamente, a pesar de la existencia de varios informes sobre el efecto del estrés por calor y CC en el período de transición sobre la ocurrencia de enfermedades periparto para varias razas bovinas europeas en zonas templadas, no se han realizado suficientes esfuerzos hasta el momento (al menos que sepamos) para evaluar estas asociaciones en regiones con temperatura ambiente alta durante la mayor parte del año.

Por lo tanto, dado que varios estudios que tratan sobre el efecto de la CC al parto para vacas criadas bajo diferentes sistemas de enfriamiento sobre la producción lechera y la incidencia de enfermedades metabólicas son pocos y, a veces, contradictorios. La motivación de este estudio fue cuantificar el efecto de CC y ITH en la ocurrencia de algunas enfermedades derivadas del parto en vacas Holstein de alto rendimiento en un ambiente cálido. Por lo tanto, el estudio actual planteó la hipótesis de que un CC bajo y una temperatura ambiente alta al momento del parto están asociados con una mayor incidencia de membranas fetales retenidas y metritis en vacas Holstein de alto rendimiento. Además, se planteó la hipótesis de que el aumento de CC al parto da como resultado una mayor prevalencia de cetosis. Por lo tanto, uno de los objetivos del presente estudio fue evaluar las asociaciones entre CC al parto y la ocurrencia de diversas enfermedades derivadas del parto en vacas Holstein multíparas en un ambiente caluroso. Además, el presente estudio tuvo como objetivo determinar el efecto del estrés térmico en el parto sobre la ocurrencia de enfermedades periparto.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Estrés por calor

En los últimos años, en México, se ha prestado mucha atención al estrés térmico que manifiesta el ganado lechero debido al impacto económico que esto representa para los productores. El estrés por calor afecta la producción y la reproducción en los bovinos derivado del efecto que éste ejerce sobre el metabolismo digestivo, el sistema inmune, el sistema endocrino y el comportamiento del animal (Callejo, 2015).

El estrés por calor se define como la suma de fuerzas externas que actúan sobre un animal que provoca un aumento de la temperatura corporal y provoca una respuesta fisiológica (Dikmen y Hansen, 2009). El flujo excesivo de energía (en forma de calor constante) hacia el cuerpo, además del agotamiento de la energía necesaria para la lactancia y el crecimiento (Ferrell y Jenkins, 1985), puede conducir a condiciones de vida de la vaca disminuidas, calidad de vida reducida y, en casos extremos, la muerte (Mader et al., 2006), a menos que el animal pueda activar varios mecanismos adaptativos para aumentar el flujo de energía neta externa.

Las estrategias de afrontamiento fisiológicas documentadas utilizadas por las vacas lecheras incluyen una mayor tasa de respiración, jadeo y sudoración, y una menor producción de leche y rendimiento reproductivo. Las estrategias conductuales para afrontar el calor excesivo incluyen la modificación de la ingesta de alimentos y bebida (p. ej., mayor ingesta de agua y cambio de las horas de alimentación a períodos más frescos durante el día), mayor tiempo de pie y búsqueda de sombra, y menor actividad y movimiento (De Rensis y Scaramuzzi, 2003; West, 2003; Schütz et al., 2008).

El estrés térmico se desencadena no solo por las altas temperaturas del aire, sino también por la humedad relativa (La Manna et al., 2014). Callejo (2015) afirma que el ganado de leche prefiere temperaturas que oscilen entre los 0 y los 24°C. Según Callejo (2015), el incremento de las necesidades energéticas, descenso de inmunidad, estrés oxidativo, descenso del índice de concepción, problemas

de salud, alteraciones en el equilibrio y la función ruminal, incremento de riesgo de acidosis, son algunas de las múltiples consecuencias del estrés por calor en vacas lecheras.

Como consecuencia al estrés térmico, las vacas activan mecanismos físicos y bioquímicos como defensa. Los signos de estrés por calor son: aumento de frecuencia respiratoria, reducción de la rumia, reducción de la ingestión de alimentos, disminución de la producción de leche, incremento del RCS en leche, incremento de la temperatura rectal (Dikmen y Hansen, 2009).

Los efectos perjudiciales del estrés por calor en el ganado lechero son multifacéticos y se pueden medir incluso durante periodos breves de altas temperaturas. La disminución de la producción de leche y la eficiencia reproductiva son dos de las principales consecuencias del estrés por calor que causan pérdidas financieras a los productores lecheros. Los efectos sobre la producción de leche son inmediatos y son la consecuencia más obvia observada, porque la producción se puede monitorear fácilmente día a día. La disminución de la fertilidad como resultado del estrés por calor no es tan fácil de cuantificar, porque los efectos son inmediatos y duraderos. Las tasas de concepción pueden disminuir entre un 20 y un 30 % durante los meses de verano (De Rensis y Scaramuzzi, 2003; Turk et al., 2015), lo que da como resultado más días abiertos y más vacas descartadas por fallas reproductivas (St-Pierre et al., 2003). Desafortunadamente, estas pérdidas se agravan aún más como un remanente en los meses más fríos del otoño, donde los efectos persistentes del estrés por calor se manifiestan como un retraso en el regreso a la fertilidad total (aproximadamente 2 meses de retraso). Las respuestas reproductivas al estrés por calor en el ganado lechero son innegablemente complejas y es igualmente poco probable que exista una solución única a este problema.

Otras consecuencias comunes en el ganado que pasa por este trastorno son reducción de grasa y proteína, la tasa de crecimiento de terneros disminuye, mayor probabilidad de desencadenar enfermedades como metritis y retención de placenta, menor desarrollo del feto (en vacas secas) (La Monna et al. (2014).

Existen alternativas para disminuir el estrés térmico en el ganado como disminuir las ganancias de calor y aumentar las pérdidas del mismo. Lo anterior, relacionado con las instalaciones, en donde debemos ofrecer un espacio bien ubicado y con métodos de refrigeración (Callejo, 2015).

La Monna et al., (2014), añade que algunas estrategias que contribuyen a combatir el estrés calórico son la modificación de la dieta, la modificación física del ambiente y biotipos.

Condición corporal en ganado de leche

La condición corporal se refiere a las reservas de energía almacenadas y se evalúa de 1 a 5 puntos en ganado lechero, en donde 1 se refiere a una vaca muy flaca y 5 a una vaca obesa (figura 1). Conocer esta puntuación es de gran utilidad para monitorear la alimentación, reducir el riesgo de enfermedades, procurar una eficiencia reproductiva, entre otras (Grigera y Bargo, 2005).

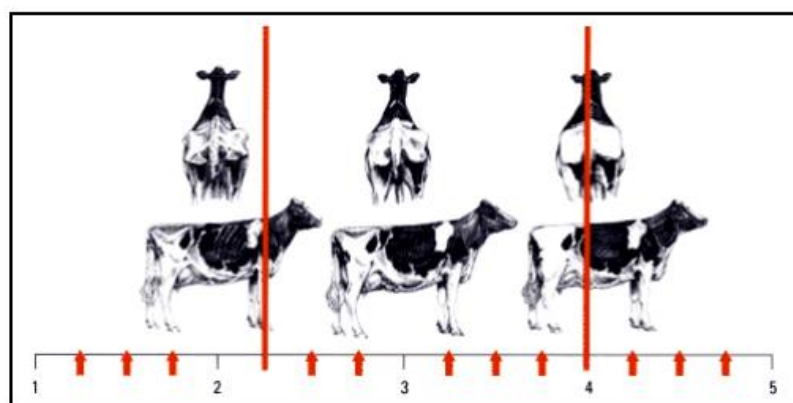


Figura 1. Escala para la determinación del estado corporal (Grigera y Bargo, 2005).

La evaluación de la condición corporal es subjetiva y sirve para conocer su equilibrio nutricional, esta evaluación no involucra el tamaño ni el peso del animal. El ganado lechero calificado entre 4 y 5 de condición corporal tienen más probabilidad de presentar partos distócicos y trastornos metabólicos (Mendoza et al., 2015).

Grigera y Bargo (2005) añaden que, para hacer una correcta evaluación de la condición corporal se debe considerar el área pélvica y lumbar como las costillas cortas, el ligamento sacro, el hueso de la cadera, los ligamentos de la fosa y los isquiones. Diferencias en cómo la CC se evalúa (visualmente y a través del contacto táctil), así como el nivel de formación y experiencia del evaluador, contribuyen a las variaciones subyacentes en la CC (Berry y Kelleher, 2021). De acuerdo a Kristensen et al. (2006), la calidad de la CC visual depende de la experiencia del evaluador, con un observador entrenado logrando una precisión del 58% al 67% y un observador no entrenado logrando un 27% de precisión (Ferguson et al., 1994). Esto puede conducir a imprecisiones, especialmente si se evalúan muchas vacas.

La puntuación de la condición corporal (BCS) es una evaluación subjetiva de las reservas de energía en el tejido adiposo de una vaca lechera y es un medio importante para el manejo de las vacas lecheras (Mishra et al., 2016). Según Waltner et al. (1993) y Bosio (2006), es un método aceptado, no invasivo, subjetivo, rápido y económico para estimar el grado de gordura en vacas lecheras. El propósito de la puntuación de la condición es obtener un equilibrio entre la dieta, la producción y el bienestar animal. Esta técnica se utiliza principalmente para el control de la vaca lechera y el manejo previo al parto; además, tiene como objetivo garantizar que las vacas paren de manera segura, evitar enfermedades posparto (fiebre de leche, hipocalcemia, hipomagnesemia y cetosis) y trastornos metabólicos en la lactancia temprana (cetosis, síndrome de vaca grasa) y maximizar la producción de leche (Klopčič et al., 2011).

El período de transición, definido como el período desde 3 semanas antes hasta 3 semanas después del parto, representa un desafío para las vacas lecheras ya que la producción de leche y el consumo de materia seca (MSD) aumentan drásticamente (Grummer, 1995; Bruckmaier y Gross, 2017). Durante el período de transición, las vacas lecheras se adaptan a numerosos cambios hormonales y metabólicos relacionados con el final de la gestación y el comienzo de la lactancia (Grummer, 1995; Drackley, 1999.). Cambios metabólicos y hormonales que ocurren durante el periodo transición en vacas lecheras conlleva a

numerosos cambios, con efectos directos sobre la salud, la productividad y el desempeño reproductivo.

De hecho, aproximadamente el 50% de las vacas sufren de diversos trastornos metabólicos, nutricionales e infecciosos (Mulligan y Doherty, 2008; LeBlanc, 2010). Durante el período de transición, las vacas lecheras pasan por un período de balance energético negativo (BNE), caracterizado por una mayor movilización de reservas energéticas, especialmente grasas y proteínas, para satisfacer las demandas de la alta producción de leche. Las vacas lecheras de alta producción, en promedio, van a través de un período de BNE durante las primeras semanas de lactancia, cuando las demandas de energía para la producción de leche superan la ingesta de energía obtenidos de la dieta. Así, durante la lactancia temprana, las reservas de grasa en algunas vacas se movilizan hacia el torrente sanguíneo en forma de ácidos grasos no esterificados (NEFA) y contribuyen a los requerimientos energéticos generales (Ospina et al., 2003). En el hígado, algunos NEFA se oxidan o reesterifican en triglicéridos que se liberan como lipoproteínas de muy baja densidad o se almacenan (Drackley et al., 2000). La medición de NEFA y betahidroxibutirato (BHBA) se puede realizar como índices de BNE o cetosis en vacas en transición (Ospina et al., 2003) y la elevación excesiva de NEFA o BHBA puede indicar problemas metabólicos (Herdt, 2000). Las concentraciones circulantes de NEFA y DMI suelen tener una relación inversa (Overton y Waldron, 2004). Un exceso en la movilización de grasa y BNE pueden atenuar la función del sistema inmunológico (Pascottini y LeBlanc, 2020), y están asociados con efectos negativos en los animales, salud y producción (Hammon et al., 2006; Scalia et al., 2006). Mantener la salud y la productividad durante el período de transición es uno de los mayores desafíos lecheros para los hatos lecheros.

La evaluación de la puntuación de la condición corporal (BCS) es una herramienta de manejo útil para evaluar las reservas de grasa corporal de las vacas lecheras Holstein (Otto et al., 1991; Waltner et al., 1993; Bewley y Schutz, 2008). La puntuación de la condición corporal ha recibido una atención considerable como herramienta para ayudar en el manejo de programas

nutricionales en hatos lecheros (Waltner et al., 1993; Roche et al., 2009). Roche et al. (2009) notaron que el BCS de las vacas al parto, el nadir BCS y la pérdida de BCS posparto están asociados con diferencias en la producción de leche, reproducción y salud. Las vacas sobrecondicionadas con un BCS superior a 4.0 al parto tenían concentraciones circulantes más altas de NEFA en la lactancia temprana hasta 7 semanas posparto en comparación con vacas con BCS moderado o bajo (Pires et al., 2013). La cetonemia, a su vez, causó resistencia a la insulina en vacas lecheras (Pires et al., 2007), en consonancia con los estudios que relacionan un BCS alto con una reducción de la sensibilidad a la insulina periférica en el estado de lipomovilización (Hayirli, 2006; Holtenius et al., 2003, 2007).

Múltiples estudios han reportado una relación negativa de NEFA con la eficiencia reproductiva. BCS bajo y reducciones más pronunciadas en BCS que ocurren más cerca de la primera inseminación artificial dieron como resultado menores probabilidades de preñez por inseminación artificial (Pinedo et al., 2022). Otro experimento encontró que el aumento de concentraciones de NEFA durante el período de transición se asociaron con una disminución de la tasa de preñez a los 70 días después del período de espera voluntario (Holtenius y Holtenius, 2007), mientras que otro encontró que una alta circulación de NEFA se asoció con una tasa de preñez de 21 días reducida en las evaluaciones a nivel de hato de 60 hatos lecheros (Ospina et al., 2010). Además, un tercer estudio con 156 vacas lecheras lactantes (Garverick et al., 2013) reportó que la probabilidad de preñez en la primera IA a tiempo fijo (TAI) disminuyó a medida que las concentraciones séricas de NEFA en el día 3 después del parto aumentó. También hay otros estudios que han descrito una relación negativa entre NEFA posparto o pérdida de BCS y fertilidad (Chapinal et al., 2012, Carvalho et al., 2014).

La recuperación tardía de la actividad ovárica se asocia con una mala condición corporal al momento del parto. Esta situación aparece cuando las ingestas de alimento en el último tercio de la gestación son insuficientes. Prácticamente para vacas multíparas, no existe un efecto real de BCS al parto sobre la ciclicidad,

pero se determinó un efecto significativo de la pérdida del estado posparto (Banos et al., 2004). Según Crowe et al. (2008), las vacas que perdieron más de 1,5 puntos de su BCS entre 0 y 60 días después del parto se caracterizan por no ciclicidad o fase lútea prolongada. Pivko et al. (2012) indicaron que una mala condición corporal (principalmente BCS 1) en las vacas puede incluso resultar en el mal funcionamiento de la actividad ovárica en forma de atresia quística de los folículos ováricos. Existe una estrecha relación entre los rasgos de la condición corporal de las vacas no solo desde el punto de vista de los parámetros de cría de animales, sino también en relación con la actividad ovárica Bezdicek et al. (2020).

Para optimizar la producción de leche, es necesario maximizar la producción de leche al comienzo de la lactancia, pero no necesariamente durante la última etapa de la lactancia. Las vacas en lactancia temprana utilizan reservas de tejido adiposo para apoyar la producción de leche (Mishra et al., 2016). Las vacas de alta producción no pueden satisfacer sus necesidades energéticas a través del consumo de alimento al comienzo de la lactancia. Hay balance energético negativo con movilización de reservas corporales y pérdida del BCS. El ganado lechero no debe perder más de un punto en su BCS durante el período inicial de lactancia. BCS al parto sería mejor alrededor de 3.5-3.75 (Gobikrushanth et al., 2019). Además, Jilek et al. (2008) mostró que las vacas con BCS inferior a 3.5 en el primer mes de lactancia tienen la mayor producción de leche durante los primeros 5 meses de lactancia. Esto puede explicarse por la alta movilización de reservas corporales en vacas de alto rendimiento. El nivel de condición corporal en el último mes del período seco influyó en su posterior descenso en la primera fase de lactancia. Las vacas con el nivel más alto de BCS antes del parto mantuvieron un nivel alto de BCS en los primeros 5 meses de lactancia. Sin embargo, las vacas con el BCS más bajo en el primer mes de lactancia tuvieron el BCS más bajo en los siguientes 4 meses. Es necesario que las vacas no pierdan más de un punto de condición corporal al principio de la lactancia. Las vacas con pérdidas excesivas de condición corporal tendrán celos irregulares, tendrán más tiempo hasta la primera ovulación y pueden no concebir. Estas

vacas también serán menos persistentes en la producción de leche. Las vacas con un BCS superior a 6.5 (3.5 en una escala de 5 puntos) a las 2 semanas antes del parto están sujetas a ingesta reducida de alimento, pérdida de peso, hígado graso, cetosis, niveles altos de ácidos grasos no esterificados (NEFA), parto y problemas reproductivos (Shin et al., 2015)).

Retención de placenta

Se conoce como retención de placenta cuando las membranas fetales no son expulsadas en las 24 horas posteriores al parto y es un fenómeno multifactorial. Se conocen varias consecuencias derivadas de este trastorno como la disminución de la conducta reproductiva, disminución en la tasa de preñez, aumento de intervalo entre partos y baja producción láctea (Córdova, 2020).

La expulsión de la membrana placentaria forma parte de la tercera fase del parto y es un trastorno muy común en el ganado lechero. Esto sucede por la inflamación de la placenta y con ello que las vellosidades fetales no se pueden desprender de las criptas maternas. Durante el tiempo en que la placenta esta retenida éstas continúan creciendo y teniendo actividad metabólica por unos días (Bolaños et al., 2018).

Córdova (2020), señala algunas estrategias y tratamientos para la retención de placenta, tales como remoción manual, aplicación de antibióticos, fármacos, hormonales como oxitocina y prostaglandina, y administración de calcio.

Cuando una vaca presenta RP su involución uterina tarda hasta 50 días, mientras que normalmente esto sucede en aproximadamente 39 días, además aumenta la probabilidad de infecciones por *E. coli*, *Clostridium spp.* y anaerobios Gram negativos. Cabe mencionar que los leucocitos y los neutrófilos sanguíneos de las vacas que presentan este trastorno reaccionan menos a los estímulos quimiotácticos (Bolaños et al., 2018).

Cetosis

La cetosis es un trastorno metabólico común que ocurre con frecuencia durante el período de transición. Se caracteriza por un aumento de las concentraciones

de cuerpos cetónicos, incluido el acetoacetato (AcAc), acetona (Ac) y β OHB en la sangre, leche y orina al inicio de la lactancia (Oetzel, 2004; Tehrani-Sharif et al., 2011). La tasa de incidencia de la cetosis ha superado la de la acidosis ruminal y la fiebre de la leche y ha surgido como una de las perturbaciones metabólicas más importantes de las vacas lecheras en América del Norte desde fines de la década de 1990 (Oetzel, 2007).

La cetosis es un trastorno metabólico que ocurre en las vacas frescas o que se encuentran en producción. Cuando se desencadena esta enfermedad la vaca baja de peso, pierde apetito, manifiesta comportamientos extraños o de excitación y baja su producción láctea (Gutiérrez, 2015).

Garzón y Oliver (2018), señalan que esta enfermedad se le atribuye al balance energético negativo que normalmente presentan las vacas lecheras y es básicamente el aumento de cuerpos cetónicos. La cetosis se divide en tipo I y tipo II, la primera se caracteriza por poseer concentraciones bajas de glucosa e insulina en la sangre, mientras que la segunda se caracteriza por hiperglicemia. Algunos efectos de la cetosis en el ganado es la baja producción de leche, mala capacidad reproductiva y aumento en probabilidad de contraer otras enfermedades.

Los impactos negativos de la cetosis pueden incluir baja producción de leche, comportamiento reproductivo disminuido (p. ej., infertilidad), mayor riesgo de otras enfermedades del periparto incluyendo abomaso desplazado, cojera, mastitis, metritis y placenta retenida, y una mayor tasa de sacrificio (Duffield, 2009; Ospina et al., 2010; McArt et al., 2011; Raboisson et al., 2014). Aunque la cetosis se ha revisado ampliamente a lo largo del tiempo (Duffield, 2000; Ospina et al., 2010; Gordon, 2013), las causas precisas y la patobiología de la cetosis sigue siendo desconocida.

Metritis

La metritis reduce la rentabilidad del rebaño debido a la disminución de la producción de leche y la eficiencia reproductiva y al aumento del riesgo de sacrificio temprano (Dubuc et al., 2011; de Oliveira et al., 2020). La metritis

también ha sido asociada negativamente con el bienestar animal (Stojkov et al. otros, 2015; Barragán et al., 2018). El costo estimado de PM incluye el uso de antimicrobianos terapéuticos, la leche desechada, la disminución de la producción de leche y disminución de la eficiencia reproductiva, entre otros (Lima et al., 2019).

La metritis es una enfermedad sistémica con secreción vulvar fétida y fiebre, principalmente entre 3 y 9 días después del parto. Por definición, la metritis es una enfermedad clínica obvia, que reduce la producción y el bienestar de las vacas a corto plazo. Hay datos limitados a largo plazo (lactancia completa), efectos de la metritis en la producción, el desempeño reproductivo y el desecho de las vacas (Overton y Fetrow, 2008; Dubuc et al., 2011; Giulodori et al., 2013). Aunque la metritis puerperal (MP) es una enfermedad infecciosa común en el ganado lechero, actualmente existen discrepancias entre las definiciones de casos clínicos dentro y entre la literatura revisada por pares disponible y las prácticas en las granjas. El uso inconsistente de los criterios de PM en los estudios y las prácticas en las granjas puede generar disparidades relacionadas con las recomendaciones para el tratamiento de las vacas, lo que afecta el uso juicioso de los antimicrobianos (Garzon et al., 2022).

La disminución de la fertilidad por efecto de la metritis es causada por efectos negativos en el útero y en el ovario, y puede causar lesiones en el endometrio (Bonnett et al., 1991), interrumpir la función endometrial (Sheldon y Dobson, 2004), y perjudicar el desarrollo embrionario (Soto et al., 2003; Hill y Gilbert, 2008). Las enfermedades uterinas disminuyen también la luteinización, tamaño y crecimiento del primer folículo dominante, y la capacidad folicular para secretar estradiol; por lo tanto, se afecta capacidad ovulatoria (Peter et al., 1989; Sheldon et al., 2002; Williams et al., 2008). Después de la ovulación posparto, las vacas que desarrollaron enfermedad uterina presentan fases lúteas prolongadas (Opsomer et al., 2000; Mateus et al., 2002), que puede disminuir el tiempo de inseminación y las tasas de concepción.

La incidencia de infecciones uterinas en el ganado lechero va desde el 10 hasta el 50% (LeBlanc et al., 2011); estas infecciones causan inflamación, alteraciones

histológicas, retraso en la involución uterina, reducción de secreción de LH y alteración del crecimiento folicular (Williams et al., 2005).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Animales, alimentación e instalaciones

Las vacas utilizadas en este estudio se manejaron siguiendo las pautas definidas por la 'Guía para el cuidado y uso de animales agrícolas en investigación y enseñanza' (3.^a ed. 2010 Federación de Sociedades de Ciencias Animales, Champagne, IL; https://www.fass.org/images/science-policy/Ag_Guide_3rd_ed.pdf).

En este estudio se incluyeron vacas Holstein de una sola granja lechera comercial ($\approx 4,500$ vacas) en el norte de México (25° N, elevación 1145 m, precipitación media anual 234 mm, temperatura media anual 23.7°C). Las vacas se alojaron en corrales de tierra abiertos con sombra adecuada.

Las vacas fueron alimentadas con una ración mixta total basada en heno de alfalfa, ensilaje de maíz y concentrado de grano (harina de semilla de algodón, harina de soya, grano de maíz y una premezcla mineral) dos veces al día en cantidades aproximadamente iguales en dos comidas a ≈ 0800 y 1600 horas. La relación forraje a concentrado fue de 50:50, y esta ración cumplió con los requerimientos de vacas "fresca" Holstein que pesaban 650 kg y producían 38 kg de leche con 3.5% de grasa corregida (NRC, 2001). La ración se ajustó posteriormente según la producción de leche (0–30, 30–150, 150–210 y 210 a ≥ 305 días en leche). A las vacas se les dio acceso ad libitum al agua y se las alimentó ad libitum con aproximadamente un 5% de rechazo del alimento diario; el alimento residual se retiraba a las 07:00 h todos los días.

El día del parto, las vacas recibieron un bolo de calcio que contenía formiato de calcio, propionato de calcio, cloruro de calcio, cloruro de magnesio, gluconato de calcio, cloruro de potasio, sulfato de magnesio, sulfato de cobre, yoduro de potasio, 1-2 propanoidol, nicotinamida (Calcibol®, Nutrilag, Gómez Palacio, Durango, México). Asimismo, el día del parto, las vacas recibieron 300 mL de propilen glicol. Las vacas fueron ordeñadas tres veces al día a las 01:00, 09:00 y

17:00 h. La CC (escala de 1 a 5, incremento de 0.25 puntos; Ferguson et al., 1994) fue evaluada al momento del parto por el mismo observador capacitado.

3.2 Diseño del estudio y registro de enfermedades

Este estudio de cohorte observacional retrospectivo incluyó 12,102 lactancias desde enero de 2017 hasta diciembre de 2021. El veterinario del hato lechero diagnosticó metritis desde el día 4 hasta el día 20 después del parto; las vacas fueron monitoreadas para detectar metritis dos veces por semana mediante el registro del grosor de la pared uterina mediante palpación rectal y la observación de secreción vaginal anormal asociada con flujo vaginal fétido de color marrón rojizo purulento acuoso que contenía manchas de pus dentro de los primeros 15 días posparto (Sheldon et al., 2006).

El diagnóstico de RP se basó en la presencia de membranas fetales que sobresalían de la vulva durante más de 24 h después del parto. La cetosis clínica fue diagnosticada por el veterinario del hato en base a la reducción de la producción de leche, la disminución del consumo de alimento y la pérdida de CC asociada con una tira de prueba de orina positiva para cuerpos cetónicos (Ketostix®, Bayer México, CDMX, México). Según estos signos, la cetosis se consideró clínica. Usando los primeros chorros de leche de todos los cuartos, la prueba de mastitis de California se usó regularmente para detectar la mastitis clínica. Los resultados se registraron como 0 (negativo), rastros (reacción incipiente), 1 (reacción leve), 2 (reacción moderada) o 3 (reacción fuerte).

Los datos climáticos se obtuvieron de una estación meteorológica ubicada a 2.5 km del establo lechero durante la duración del estudio. La información registrada fue la temperatura máxima diaria y la humedad relativa. La temperatura del aire se registró con un termómetro de mercurio a la sombra y a 1.5 m del suelo. Esta información se utilizó para calcular el índice diario de temperatura-humedad (ITH), utilizando la siguiente ecuación (temperatura máxima diaria en grados Celsius; HR se refiere a la humedad relativa máxima):

$$\text{ITH} = (0.8 \times \text{temperatura}) + ((\% \text{ HR}/100) \times (\text{temperatura} - 14.4)) + 46.4.$$

Siguiendo las categorías ITH propuestas por Collier et al. (2012), los ITH se clasifican como termoneutralidad ($ITH < 72$), estrés por calor leve a moderado ($72 < ITH < 79$), estrés por calor moderado a severo ($82 = ITH < 89$) y estrés por calor severo ($ITH > 90$).

3.3 Análisis estadístico

Se realizaron regresiones logísticas utilizando el procedimiento LOGISTIC en SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC, EE. UU.) para evaluar los efectos de la condición térmica al parto ITH al parto <82 vs. >82 unidades) y la puntuación de la condición corporal al parto (<3.5 frente a ≥ 3.5 unidades) sobre la presencia o ausencia de RP, metritis, cetosis y mastitis. Inicialmente, se realizó una regresión logística multivariable para modelar los efectos del estrés térmico, CC al parto y la interacción estrés térmico \times CC, con el animal individual como unidad de observación. Dado que la interacción estrés térmico \times CC no fue significativa, se eliminó este término y se realizaron regresiones logísticas univariadas para evaluar el efecto de variables independientes individuales para estimar razones de probabilidad e intervalos de confianza del 95 %, incorporando el número de lactancia como covariable. La asociación entre varios ITH y la prevalencia de enfermedades periparto se evaluó utilizando el software CurveExpert Professional 2.5.6 (Hyams Development, Madison, AL, EE. UU.). El mismo procedimiento se utilizó para evaluar la asociación entre diferentes puntajes de CC y la prevalencia de las enfermedades estudiadas. Los valores con $P < 0.05$ se consideraron estadísticamente significativos para todos los análisis estadísticos.

IV. RESULTADOS

De los 12,102 partos evaluados, 1777 (14,8%) terminaron con una RP. La prevalencia general de lactancia de metritis y cetosis fue de 14.1 y 5.4%, respectivamente. La tasa de incidencia de mastitis clínica fue de 0.28 casos por 365 días vaca en riesgo y tanto el estrés por calor como el CC no se relacionaron significativamente con esta enfermedad. Los resultados del modelo de regresión logística para las 12,102 lactancias que tenían datos completos (todas las variables categóricas) se presentan en el cuadro 1.

Cuadro 1. El efecto del estrés por calor al parto sobre la ocurrencia de retención de placenta, metritis y cetosis en vacas Holstein de alto rendimiento en un ambiente caluroso.

ITH al parto	Incidencia (%)	Razón probabilidad (OR)	95% CI OR	<i>p</i>
	Retención de placenta			<.0001
≥82	631/3762 (16.8)	1.3	1.1 – 1.4	
<82	1146/8340 (13.7)	Referencia		
	Metritis			0.0012
≥82	588/ 3762 (15.6)	1.2	1.1 – 1.3	
<82	1118/ 8340 (13.4)	Referencia		
	Cetosis			0.0001
≥82	286/3762 (7.6)	1.8	1.5 – 2.1	
<82	363/8340 (4.4)	Referencia		

¹CC= Puntuación de condición corporal (sistema de puntuación de escala de 1 a 5, incremento de 0.25 puntos)

²Cambio en la puntuación de la condición corporal desde el parto hasta la primera inseminación artificial.

En comparación con las vacas que parieron con termoneutralidad o estrés calórico leve a moderado (ITH <82), las vacas que parieron con calor moderado

a severo estrés (ITH >82), tuvieron 1.3 más riesgos de tener RP. Las relaciones entre ITH al parto y la prevalencia de RP fueron curvilíneas. La ocurrencia de este trastorno reproductivo varió poco con ITH <82, después de lo cual RP aumentó a un ritmo creciente (Figura 2).

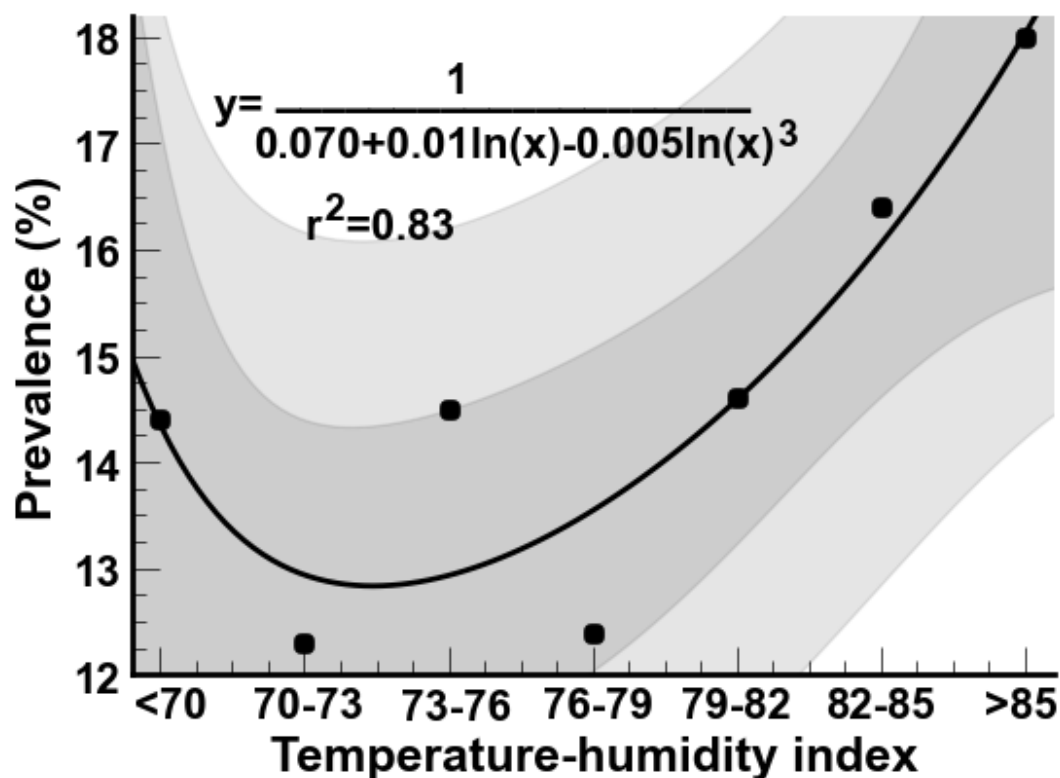


Figura 2. Prevalencia de placenta retenida en vacas multíparas Holstein sometidas a diversos índices de temperatura-humedad al parto. La asociación se basó en 12,102 lactancias de enero de 2017 a diciembre de 2021 en un ambiente caluroso. Las bandas más oscuras son intervalos de confianza del 95 % para los valores predichos. Las bandas más claras son intervalos de confianza del 95 % para valores reales.

Las vacas que experimentaron termoneutralidad o estrés por calor leve a moderado al parto tuvieron mayores probabilidades ($P < 0.01$) de sufrir metritis puerperal que las vacas que no sufrieron estrés por calor al parto. De acuerdo con la Fig. 3, los modelos de regresión destacaron que el punto de corte para el aumento distintivo en la prevalencia de metritis fue ITH >85 (estrés por calor de moderado a severo).

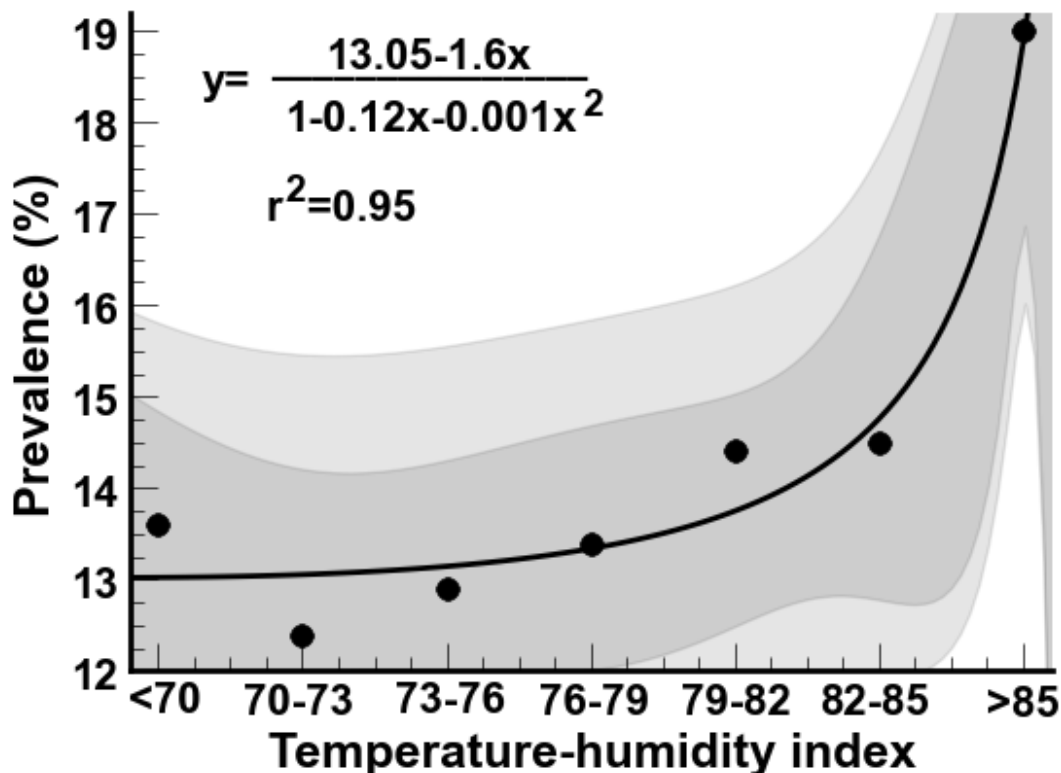


Figura 3. Distribución de la prevalencia de lactancia de metritis puerperal por ITH al parto en vacas Holstein pluríparas en ambiente caluroso (n= 12,102). Las bandas más oscuras son intervalos de confianza del 95 % para los valores predichos. Las bandas más claras son intervalos de confianza del 95 % para valores reales.

El estrés por calor de moderado a severo en el parto se asoció con un mayor riesgo de cetosis que las vacas que parieron con estrés por calor bajo o leve a moderado. Las relaciones cúbicas entre el ITH al parto y la prevalencia de cetosis mostraron que la ocurrencia de esta enfermedad metabólica varió ligeramente con ITH <82, después de lo cual la cetosis aumentó a un ritmo creciente (Fig. 4). Para todas las enfermedades, no hubo interacción ITH × CC en el modelo multivariado inicial.

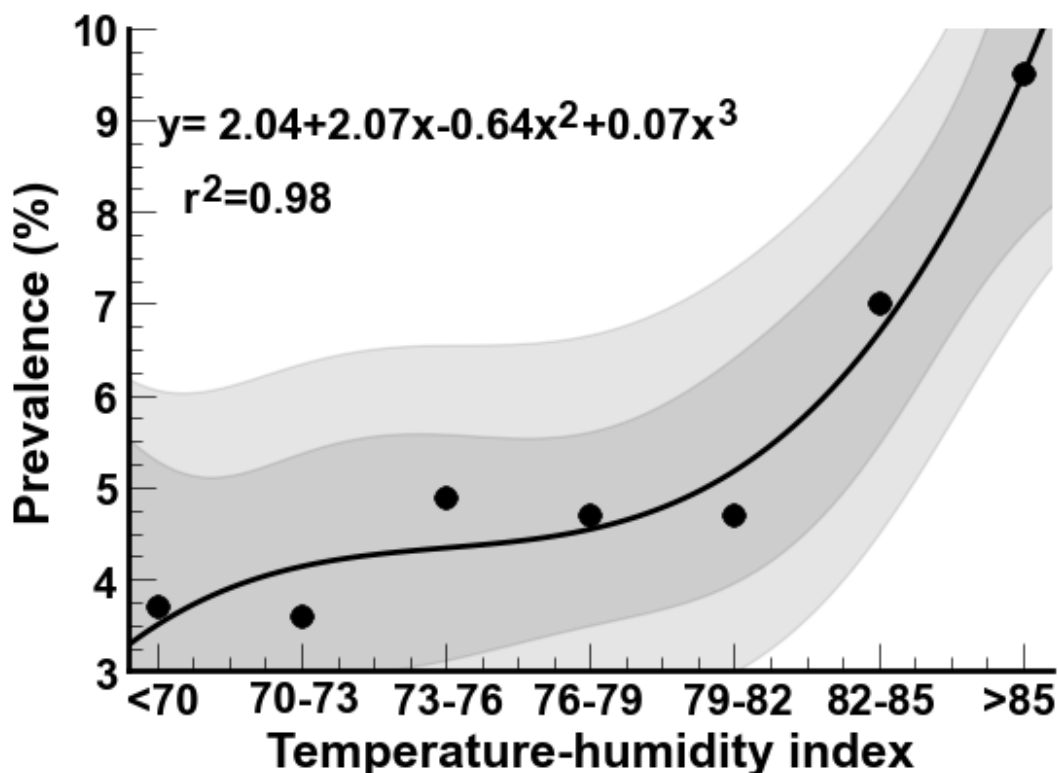


Figura 4. Distribución de la prevalencia de cetosis en la lactancia por ITH al parto en vacas Holstein pluríparas en un ambiente cálido (n= 12,102). Las bandas más oscuras son intervalos de confianza del 95 % para los valores predichos. Las bandas más claras son intervalos de confianza del 95 % para valores reales.

Los índices de riesgo (OR) estimadas y sus intervalos de confianza del 95% para la CC asociado con enfermedades puerperales se muestran en el cuadro 2. Las vacas con CC al parto mayor de 3.5 tuvieron la mitad de riesgo de presentar RP que las vacas más delgadas al parto. La Fig. 5 muestra que el RP fue progresivamente más bajo para las vacas con mayor CC al parto. Asimismo, el riesgo de metritis fue mayor en vacas con CC <3.5.

Cuadro 2. El efecto de puntaje de condición corporal sobre la ocurrencia de retención de placenta, metritis y cetosis en vacas Holstein de alto rendimiento en un ambiente caluroso.

BCS1 al parto	Incidencia (%)	Razón de probabilidades (OR)	95% IC O	<i>p</i> ags
	Placenta retenida			<.0001
≥3.5	638/6143 (10.4)	0.49	0.4 – 0.5	
<3.5	1139/5959 (19.1)	Referencia		
	metritis			<.0001
≥3.5	667/ 6143 (10.9)	0.58	0,5 – 0,6	
<3.5	1039/ 5959 (17.4)	Referencia		
	Cetosis			0.0222
≥3.5	358/ 6143 (5.8)	1.2	1.0 – 1.4	
<3.5	291/ 5959 (4.9)	Referencia		

¹BCS= Puntuación de la condición corporal (sistema de puntuación de escala de 1 a 5, incremento de 0,25 puntos)

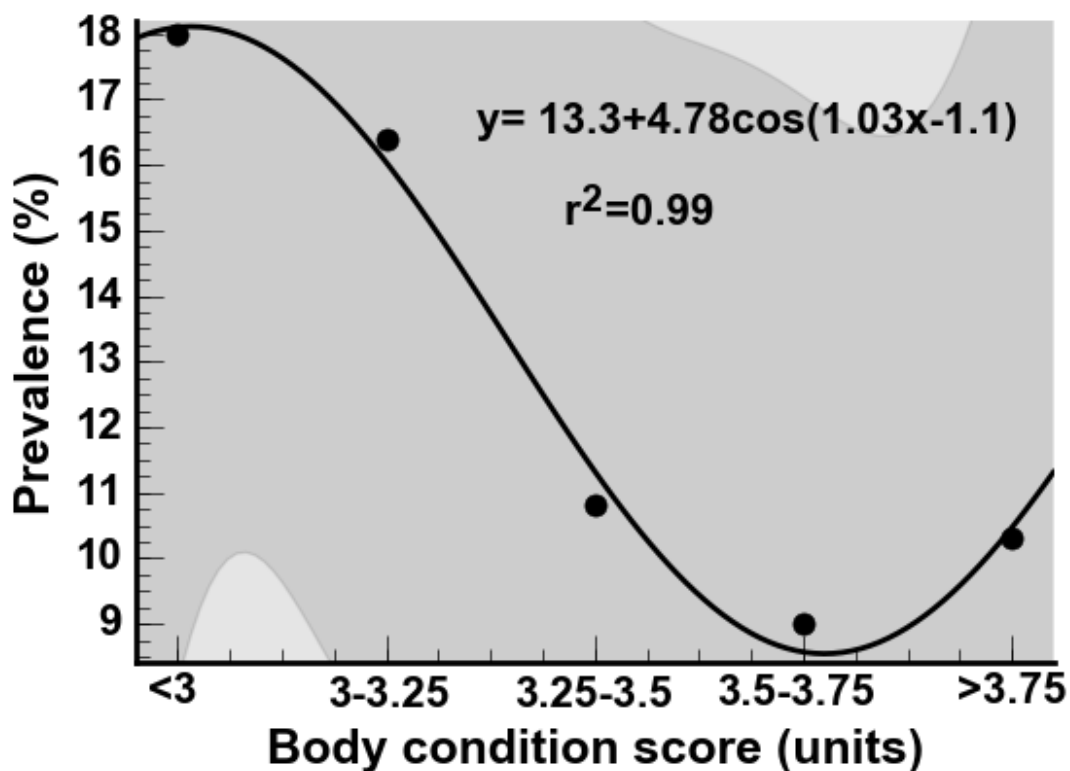


Figura 5. Distribución de la prevalencia de lactancia de placenta retenida por índice de condición corporal al parto en vacas Holstein pluríparas en ambiente caluroso ($n= 12102$). Las bandas más oscuras son intervalos de confianza del 95 % para los valores predichos. Las bandas más claras son intervalos de confianza del 95 % para valores reales.

Por el contrario, una CC superior a 3.5 al parto aumentó el riesgo de cetosis en comparación con las vacas con CC <3.5. Las tendencias de prevalencia de metritis y cetosis por ITH al parto se muestran en las figuras 6 y 7. La prevalencia de metritis se mantuvo algo similar con CC <3.25, pero después de este valor, la prevalencia de metritis se desplomó. Por el contrario, la asociación entre CC al parto y la prevalencia de cetosis siguió una tendencia curvilínea con la mayor prevalencia en vacas con las mayores reservas de energía corporal.

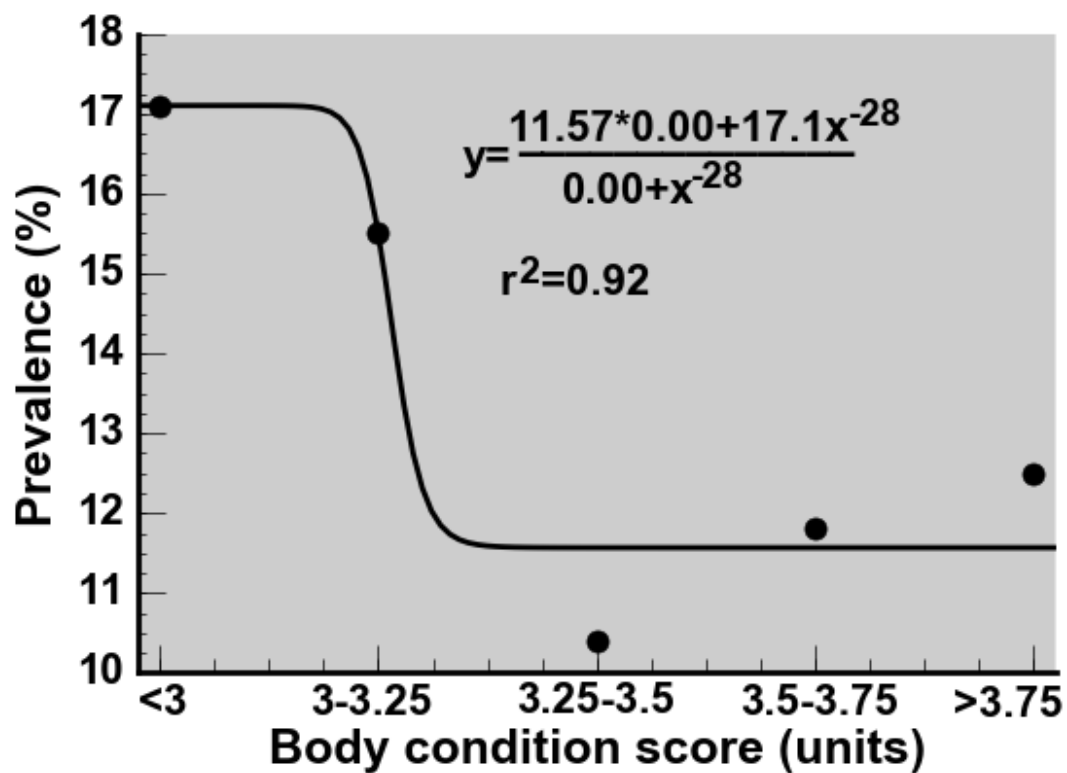


Figura 6. Distribución de la prevalencia de lactancia de metritis puerperal por condición corporal al parto en vacas Holstein pluríparas en ambiente caluroso (n= 12,102). Las bandas más oscuras son intervalos de confianza del 95 % para los valores predichos. Las bandas más claras son intervalos de confianza del 95 % para valores reales.

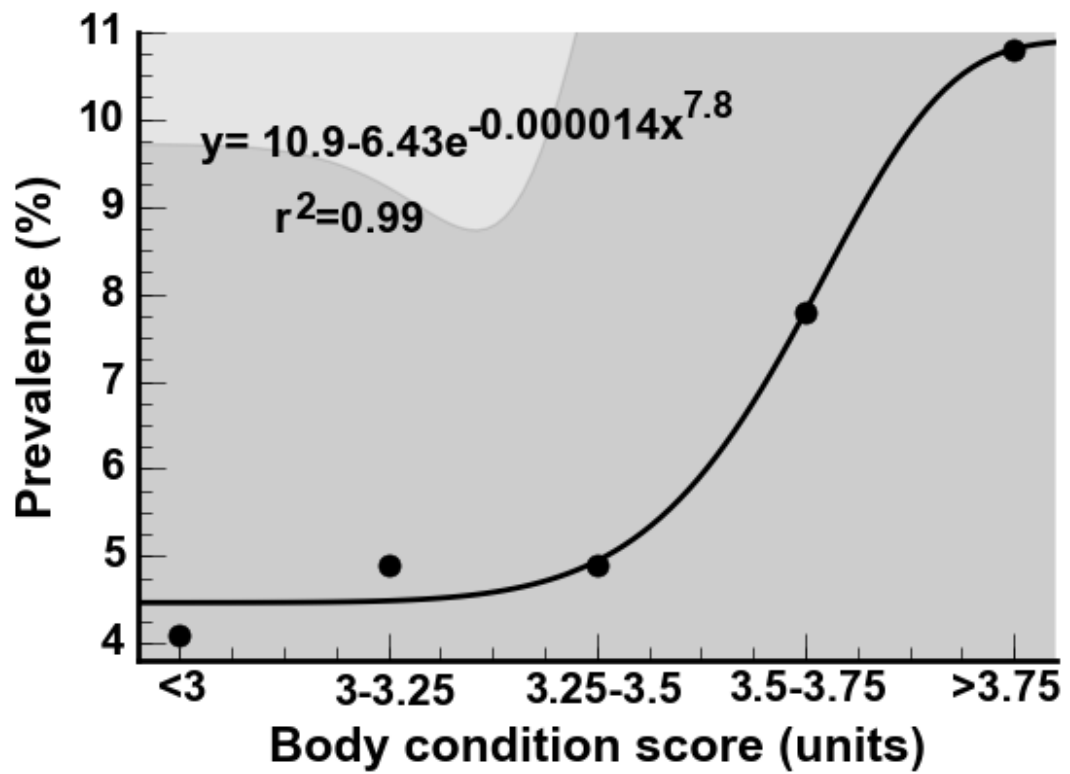


Figura 7. Distribución de la prevalencia de cetosis en la lactancia por condición corporal al parto en vacas Holstein pluríparas en ambiente cálido (n= 12,102). Las bandas más oscuras son intervalos de confianza del 95 % para los valores predichos. Las bandas más claras son intervalos de confianza del 95 % para valores reales.

V. DISCUSIÓN

La prevalencia de RP observada en este estudio estuvo dentro del rango normal (9.0-15.4%) reportado en diferentes países, razas y sistemas de manejo (Rodríguez et al., 2017; Buso et al., 2018; Mahnani et al., 2021). En el presente estudio, la prevalencia de metritis en la lactancia es consistente con varios estudios que han reportado del 18 al 40% (Mejía et al., 2005; Giuliadori et al., 2013; Genís et al., 2018). Este rango sugiere que la incidencia de metritis no es una tasa biológicamente fija y que las diferencias en el manejo del rebaño pueden permitir cierto control de la incidencia de esta enfermedad infecciosa. La prevalencia observada de cetosis clínica en este hato estuvo por debajo del rango de reportes previos (11.6-23 %; Berge y Vertenten, 2014; Vanholder et al., 2015). Esta marcada diferencia parece surgir del uso de pruebas muy diferentes en vacas para detectar cuerpos cetónicos.

Se han identificado muchos factores de riesgo para la retención de membranas fetales (Gilbert, 2016), incluido el estrés por calor (Ahmadi y Mirzaei, 2006; Gernand et al., 2019). De acuerdo con los hallazgos del presente estudio, Labernia et al. (1998) y Bahri Binabaj et al. (2014) observaron mayores incidencias de RP en estaciones cálidas. Sin embargo, estos resultados pueden confundirse con el efecto del fotoperíodo porque un fotoperíodo más prolongado en los meses de verano está asociado con una función inmunológica disminuida que la de días más cortos (Thompson y Dahl, 2011). Gernand et al. (2019) y Menta et al. (2022) documentaron un aumento en RP con el aumento de ITH en el período periparto en granjas lecheras comerciales. Por el contrario, otros estudios han reportado más casos de RP en la estación fría (Hosseini-Zadeh y Ardalan (2011), o el estrés por calor en el período periparto no se ha asociado con la incidencia de RP (Yeon-Kyung y Ill -Hwa, 2005). Diferentes rangos de temperatura y humedad ambiental o sistemas de manejo entre los estudios pueden explicar estos resultados contrastantes. En el estudio actual, el ITH máximo fue de 97.4, lo que ilustra la severidad de la carga de calor de las vacas. Esta gran incomodidad presumiblemente desencadenó cambios fisiológicos en

vacas que sufrían estrés por calor, lo que afecta el estrés oxidativo, el desequilibrio hormonal y las respuestas inmunitarias (Hashem y Amer, 2008; Chauhan et al., 2021) y puede dificultar la capacidad de las vacas para desprender la placenta del endometrio adecuadamente.

Los datos del estudio actual demostraron que el estrés por calor severo fue un factor predisponente importante para tener metritis puerperal, lo que concuerda con Gernand et al. (2019), quienes observaron una relación positiva entre metritis e incremento de ITH en los cinco días posteriores al parto en vacas lecheras. Además, las incidencias de metritis o flujo vaginal purulento han sido más altas en vacas que paren en primavera y verano que en vacas que paren en otoño e invierno (Giuliodori et al., 2017; Jeong et al., 2018). La evidencia indica que a medida que aumentan la temperatura y la humedad, se producen efectos en la respuesta del huésped al microbioma patógeno, lo que provoca metritis. La temperatura ambiental alta causa supresión inmunológica, lo que resulta en una mayor propensión a la incidencia de enfermedades (Lacetera, 2019) debido a una mayor multiplicación y distribución de microbios (Quintana et al., 2020). Además, la mayor incidencia de metritis en condiciones cálidas y húmedas podría deberse a la multiplicación de portadores de patógenos, como las moscas.

Por el contrario, Benzaquén et al. (2007) informaron que las vacas que parieron durante la estación cálida tenían menos metritis puerperal que las que parieron durante la estación fría. Estos resultados contrastantes podrían explicarse por diferentes estrategias de manejo para aliviar el estrés por calor, prácticas higiénicas adecuadas, intensidad del estrés por calor y dinámica de la microbiota uterina en vacas lecheras posparto. De interés, no ha habido una asociación del ITH en la semana anterior con el parto con metritis, lo que sugiere que la respuesta inmune en el período posparto temprano es altamente sensible al estrés por calor.

El estudio actual reveló una conexión de causa-efecto entre un ITH alto al momento del parto y un marcado aumento en la prevalencia de cetosis, lo cual es consistente con Jeong et al. (2017), quienes observaron que las vacas que parían durante el verano tenían mayor riesgo de cetosis que las vacas que parían

durante otras estaciones. Sin embargo, contrario a estos hallazgos, otros estudios han encontrado una mayor incidencia de cetosis en vacas que paren en invierno o clima frío (Tatone et al., 2017; Mellado et al., 2018). Las diferencias en el clima, la intensidad del estrés por calor, la ubicación geográfica, el número de observaciones, los métodos utilizados para determinar la cetosis, los sistemas de enfriamiento en los establos lecheros y las características de la dieta explicarían las considerables inconsistencias en el efecto de las condiciones climáticas al momento del parto en la ocurrencia de síntomas clínicos de cetosis. En el estudio actual de vacas estresadas por calor al momento del parto, la cetosis podría deberse a los efectos derivados de la disminución del consumo de alimento (Goldhawk et al., 2009; Pérez-Báez et al., 2019).

Las vacas flacas al parto fueron más propensas que las vacas con $CC \geq 3.5$ a tener RP, lo cual concuerda con los resultados de Ghaffari et al. (2019) y Qu et al. (2014). El estudio actual sugiere que una CC más baja puede preceder a la RP. Una razón potencial para la mayor prevalencia de RP en vacas con $CC < 3.5$ es un menor consumo de alimento al parto, como ha sido documentado por Dervishi et al. (2016). Esto se refleja en concentraciones más altas de ácidos grasos, ácidos grasos no esterificados (NEFA) y ácido β -hidroxibutírico (BHBA) que en vacas sanas (Quiroz-Rocha et al., 2009; Cellini et al., 2019; Yazlık et al., 2019). La alta concentración de NEFA en sangre durante los últimos siete días antes del parto se ha identificado como un factor de riesgo asociado con mayores posibilidades de desarrollar RP (LeBlanc et al., 2008). Además, estos niveles séricos elevados de NEFA, que determinan la ocurrencia de balance energético negativo y estrés metabólico, provocan depresión en el sistema inmunológico, inhibiendo el rechazo y la expulsión de las membranas fetales y provocando su retención (Mordak y Stewart, 2015).

Las vacas con un $CC < 3.5$ al parto tuvieron más probabilidades de tener metritis. Los hallazgos de este estudio respaldan los resultados de estudios previos (Dubuc et al., 2010; Kadivar et al., 2014) donde las vacas delgadas ($CC \leq 2.75$) al momento del parto aumentaron las probabilidades de desarrollar endometritis citológica o metritis. Existe una asociación positiva entre la concentración de

NEFA en sangre antes del parto o la pérdida de CC y la incidencia de enfermedades metabólicas e infecciosas posparto, y los niveles elevados de NEFA en sangre antes del parto se asocian con un mayor riesgo de metritis (Dubuc et al., 2010). La relación entre CC, el consumo de alimento y la ocurrencia de metritis ha sido descrita en la literatura y puede explicarse por los efectos perjudiciales de un balance energético negativo en el sistema inmunológico (Huzzey et al., 2007). La concentración sérica alta de BHBA en la primera semana posterior al parto se ha asociado con un aumento de 2.2 veces en la metritis (Duffield et al., 2009; Torres et al., 2020). El mecanismo que explica por qué las vacas diagnosticadas con metritis tenían concentraciones séricas elevadas de BHBA podría ser que sufrían una respuesta adaptativa deficiente al inicio de la lactancia y el balance energético negativo resultante. El efecto de niveles elevados de BHBA en el suero sanguíneo sobre el riesgo de metritis parece estar mediado por los impactos de la hipercetonemia en la función inmunológica (Hoeben et al., 2000; Zarrin et al., 2014).

En el presente estudio, una CC alta al parto se asoció con un mayor riesgo de cetosis clínica, lo cual concuerda con los hallazgos en vacas lecheras de alto rendimiento (Shin et al., 2015; Vanholder et al., 2015). Las vacas de alto rendimiento sobrecondicionadas al parto tienen una depresión más severa de consumo de alimento después del parto, lo que conduce a un balance energético negativo más pronunciado. Adicionalmente, son más susceptibles a movilizar mayores reservas de energía corporal poco antes del parto, lo que da como resultado niveles más altos de NEFA y BHBA en la sangre (Nogalski et al., 2012), lo que lleva a la hipercetonemia (Guliński, 2021). Debido a la gran cantidad de vacas en la operación lechera estudiada, las fallas en la formación de los grupos de producción pueden haber causado que algunas vacas recibieran raciones inadecuadas para sus etapas de lactancia. Por lo tanto, las vacas pueden haber sido sobrealimentadas al final de su lactancia y entrar en el período seco sobrecondicionadas, lo que a su vez aumentaría el riesgo de cetosis clínica.

VI. CONCLUSIÓN

Los resultados del presente estudio indican que las vacas lecheras altamente productivas, el estrés por calor severo (ITH > 82) al momento del parto predispone a los animales a tener placenta retenida, metritis y cetosis clínica. El umbral de estrés por calor identificado para la ocurrencia de estas enfermedades estuvo entre el ITH de 82 a 93 unidades. Además, la RP y la metritis compartieron características metabólicas periparto comunes, ya que la prevalencia de estas enfermedades disminuyó con el aumento de la puntuación de la condición corporal al momento del parto. Por el contrario, la alta condición corporal al parto fue una variable explicativa significativa para la mayor prevalencia de cetosis. Estos hallazgos resaltan la importancia de los mecanismos de reducción del estrés por calor para las vacas que se acercan al parto en climas cálidos para reducir las enfermedades periparto.

VII. REFERENCIAS

- Ahmadi, M.R., Mirzaei, A., 2006. Effect of heat stress on incidence of retained placenta in Holstein cows at dry hot weather of Shiraz. *J. Appl. Anim. Res.* 29, 23-24.
- Amamou, H., Beckers, Y., Mahouachi, M., Hammami, H., 2019. Thermotolerance indicators related to production and physiological responses to heat stress of Holstein cows. *J. Therm. Biol.* 82, 90-98.
- Bagath, M., Krishnan, G., Devaraj, C., Rashamol, V. P., Pragna, P., Lees, A.M., Sejian, V., 2019. The impact of heat stress on the immune system in dairy cattle: A review. *Res. Vet. Sci.* 126, 94-102.
- Bahri Binabaj, F., Farhangfar, H., Azizian, S., Jafari, M., Hassan, K., 2014. Logistic regression analysis of some factors influencing incidence of retained placenta in a Holstein dairy herd. *Iranian J. Appl. Anim. Sci.* 42, 269-274.
- Banos, G., Brotherstone, S., Coffey, M.P. 2004. Evaluation of body condition score measured throughout lactation as an indicator of fertility in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 878, 2669-2676.
- Barragan, A. A., Piñeiro, J. M., Schuenemann, G. M., RajalaSchultz, P. J., Sanders, D. E., Lakritz, J., Bas, S. 2018. Assessment of daily activity patterns and biomarkers of pain, inflammation, and stress in lactating dairy cows diagnosed with clinical metritis. *J. Dairy Sci.* 101, 8248–8258.
- 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. *Livest. Sci.* 210, 73-84.
- Benzaquen, M.E., Risco, C.A., Archbald, L.F., Melendez, P., Thatcher, M.J., Thatcher, W.W., 2007. Rectal temperature, calving-related factors, and the incidence of puerperal metritis in postpartum dairy cows. *J. Dairy Sci.* 906, 2804-2814.

- Berge, A.C., Vertenten, G., 2014. A field study to determine the prevalence, dairy herd management systems, and fresh cow clinical conditions associated with ketosis in western European dairy herds. *J. Dairy Sci.* 974, 2145-2154.
- Berry, D.P., Kelleher, M.M. 2021. Differences in genetic merit for visually-assessed body condition score materialises as phenotypic differences in tactile-based body condition score in commercial dairy cows. *Animal* 15, 00181.
- Bewley, JM., Schutz, M.M. 2008. An interdisciplinary review of body condition scoring for dairy cattle. *The Professional Animal Scientist*, 246, 507-529.
- Bezdicek, J., Andrea, N., Alexender, M. Elina, K. 2020 Relationship between the Animal Body Condition and Reproduction: The Biotechnological Aspects. *Archives Animal Breeding*, 63, 203-209.
- Bolaños, D. J., Mota, D., Orozco, H., Gonzalez, Y., Ramirez, R. 2018. Retención placentaria en rumiantes. *BMEDITORES*, 2929. <https://bmeditores.mx/ganaderia/retencion-placentaria-en-rumiantes-1504/>
- Bonnett, B.N., Martin, S.W., Gannon, V.P.J., Miller, R.B., Etherington, W.G. 1991. Endometrial biopsy in Holstein-Friesian dairy cows. III. Bacterial analysis and correlations with histological findings. *Can. J. Vet. Res.* 55, 168-173.
- Bosio L. Relation entre fertilité et évolution de l'état corporel chez la vache laitière: Le point sur la bibliographie (thesis). Lyon I : Université Claude-Bernard; 2006
- Bruckmaier, R.M., Gross, J.J. 2017. Lactational challenges in transition dairy cows. *Anim. Prod. Sci.* 577, 1471.
- Buso, R.R., Campos, C.C., Santos, T.R., Saut, J.P.E., Santos, R.M., 2018. Retained placenta and subclinical endometritis: prevalence and relation with reproductive performance of crossbred dairy cows. *Pesq. Vet. Bras.* 381, 1-5.
- Callejo, A. 2015. El estrés calórico en vacas lecheras. *Ganadería* 96, 28-31.

- Carvalho, P.D., Souza, A.H., Amundson, M.C., Hackbart, K.S., Fuenzalida, M.J., Herlihy, M. M., Ayres, H., Dresch, A.R., Vieira, L.M., Guenther, J.N., Grummer, R.R., Fricke, P.M., Shaver, R.D., Wiltbank, M.C. 2014. Relationships between fertility and postpartum changes in body condition and body weight in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 976, 3666-3683.
- Cellini, M., Hussein, H.A., Elsayed, H.K., Sayed, A.S., 2019. The association between metabolic profile indices, clinical parameters, and ultrasound measurement of backfat thickness during the periparturient period of dairy cows. *Comp. Clin. Pathol.* 283, 711-723.
- Chapinal, N., LeBlanc, S. J., Carson, M. E., Leslie, K. E., Godden, S., Capel, M., Santos, J. E. P., Overton, M.W., Duffield, T.F. 2012. Herd-level association of serum metabolites in the transition period with disease, milk production, and early lactation reproductive performance. *J. Dairy Sci.* 9510, 5676-5682.
- Chauhan, S.S., Rashamol, V.P., Bagath, M., Sejian, V., Dunshea, F.R., 2021. Impacts of heat stress on immune responses and oxidative stress in farm animals and nutritional strategies for amelioration. *Int. J. Biometeorol.* 657, 1231-1244.
- Collier, R., Hall, L., Rungruang, S., Zimbelman, R., 2012. Quantifying heat stress and its impact on metabolism and performance. *MidSouth Ruminant Nutrition Conference* pp. 74–84.
- Córdova, A. 2020, 19 de octubre. *Consecuencias de la retención placentaria en vacas y algunas indicaciones para su tratamiento.* Ganaderia.com. <https://www.ganaderia.com/destacado/Consecuencias-de-la-retencion-placentaria-en-vacas-y-algunas-indicaciones-para-su-tratamiento>
- Crowe, M. 2008. Resumption of ovarian cyclicity in post-partum beef and dairy cows: Ovarian activity in post-partum beef and dairy cows. *Repr. Dom. Anim.* 43, 20-28.
- Dalcin, V.C., Fischer, V., dos Santos Daltro, D., Munchen Alfonso, E.P., Stumpf, M. T., Kolling, G. J., Barbosa da Silva, M.V.G., McManus, C., 2016.

- Physiological parameters for thermal stress in dairy cattle. *Rev. Bras. Zoot.* 458, 458-465.
- Dale, A.J., Purcell, P.J., Wylie, A.R.G., Gordon, A.W., Ferris, C.P., 2017. Effects of dry period length and concentrate protein content in late lactation on body condition score change and subsequent lactation performance of ITHn high genetic merit dairy cows. *J. Dairy Sci.* 1003, 1795-1811.
- De Oliveira, E.B., Cunha, F., Daetz, R., Figueiredo, C.C., Chebel, R.C., Santos, J.E., Risco, C.A., Jeong, K.C., Machado, V.S., Galvão, K.N. (2020). Using chitosan microparticles to treat metritis in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 103(8), 7377-7391.
- De Rensis, F.D., Scaramuzzi, R.J. 2003. Heat stress and seasonal effects on reproduction in the dairy cow—A review. *Theriogenology*, 60(6), 1139-1151.
- Dervishi, E., Zhang, G., Hailemariam, D., Dunn, S. M., Ametaj, B.N., 2016. Occurrence of retained placenta is preceded by an inflammatory state and alterations of energy metabolism in transition dairy cows. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 71, 26.
- Dikmen, S., Hansen, P.J. 2009. Is the temperature-humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environment? *J. Dairy Sci.* 92(1), 109-116.
- Dikmen, S., Hansen, P.J. 2009. Is the temperature-humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environment? *J. Dairy Sci.* 92(1), 109-116.
- Drackley J.K. 1999. Biology of dairy cows during the transition period: The final frontier? *J. Dairy Sci.* 82, 2259–2273.
- Drackley, J.K., Overton, T.R., Douglas, G.N. 2000. Adaptations of glucose and long-chain fatty acid metabolism in liver of dairy cows during the periparturient period. *J. Dairy Sci.* 84, E100e12.
- Dubuc, J., Duffield, T. F., Leslie, K. E., Walton, J. S., LeBlanc, S. J. 2011. Effects of postpartum uterine diseases on milk production and culling in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 94, 1339–1346

- Dubuc, J., Duffield, T.F., Leslie, K.E., Walton, J.S. LeBlanc, S.J. 2011. Randomized clinical trial of antibiotic and prostaglandin treatments for uterine health and reproductive performance in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 94, 1325–1338.
- Dubuc, J., Duffield, T.F., Leslie, K.E., Walton, J.S., LeBlanc, S.J., 2010. Risk factors for postpartum uterine diseases in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 9312, 5764-5771.
- Duffield, T.F., Lissemore, K.D., McBride, B.W., Leslie, K.E., 2009. Impact of hyperketonemia in early lactation dairy cows on health and production. *J. Dairy Sci.* 92, 571–580.
- Ferguson, J.D., Galligan, D.T., Thomsen, N. 1994. Principal descriptors of body condition score in Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 77, 2695–2703.
- Ferguson, J.O., Galligan D.T., Thomsen, N. 1994. Principal descriptors of body condition score in Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 77, 2695–2703.
- Ferrell, C.L., Jenkins, T.G. 1985. Cow type and the nutritional environment: Nutritional aspects. *J. Anim. Sci.* 61(3), 725-741.
- Garner, J.B., Douglas, M., Williams, S.R.O., Wales, W.J., Marett, L.C., DiGiacomo, K., Leury, B.J., Hayes, B.J. 2017. Responses of dairy cows to short-term heat stress in controlled-climate chambers. *Anim. Prod. Sci.* 577, 1233.
- Garverick, H.A., Harris, M.N., Vogel-Bluel, R., Sampson, J.D., Bader, J., Lamberson, W.R., Spain, J.N., Lucy, M.C., Youngquist, R.S. 2013. Concentrations of nonesterified fatty acids and glucose in blood of periparturient dairy cows are indicative of pregnancy success at first insemination. *J. Dairy Sci.* 961, 181-188.
- Garzon, A., Habing, G., Lima, F., Silva-del-Rio, N., Samah, F., Pereira, R. (2022). Defining clinical diagnosis and treatment of puerperal metritis in dairy cows: A scoping review. *J. Dairy Sci.* 105(4), 3440-3452.
- Garzón, A., Olivier, O. 2018. Epidemiología de la cetosis en bovinos: una revisión. *scielo*, 131. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1900-96072018000100042&lng=en&nrm=iso

- Genís, S., Cerri, R.L.A., Bach, A., Silper, B.F., Baylão, M., Denis-Robichaud, J., Arís, A. 2018. Pre-calving intravaginal administration of lactic acid bacteria reduces metritis prevalence and regulates blood neutrophil gene expression after calving in dairy cattle. *Front. Vet. Sci.* 5, 135.
- Gernand, E., König, S., Kipp, C. 2019. Influence of on-farm measurements for heat stress indicators on dairy cow productivity, female fertility, and health. *J. Dairy Sci.* 1027, 6660-6671.
- Ghaffari, M.H., Schuh, K., Dusel, G., Frieten, D., Koch, C., Prehn, C., Adamski, J., Sauerwein, H., Sadri, H. 2019. Mammalian target of rapamycin signaling and ubiquitin-proteasome-related gene expression in skeletal muscle of dairy cows with high or normal body condition score around calving. *J. Dairy Sci.* 10212, 11544-11560.
- Gilbert, R.O. 2016. Management of reproductive disease in dairy cows. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 322, 387-410.
- Giuliodori, M.J., Magnasco, M., Magnasco, R.P., Lacau-Mengido, I.M., de la Sota, R.L., 2017. Purulent vaginal discharge in grazing dairy cows: Risk factors, reproductive performance, and prostaglandin F_{2α} treatment. *J. Dairy Sci.* 1005, 3805-3815.
- Giuliodori, M.J., Magnasco, R.P., Becu-Villalobos, D., Lacau-Mengido, I.M., Risco, C.A. de la Sota, R.L. 2013. Metritis in dairy cows: risk factors and reproductive performance. *J. Dairy Sci.* 96, 3621–3631.
- Giuliodori, M.J., Magnasco, R.P., Becu-Villalobos, D., Lacau-Mengido, I.M., Risco, C.A., de la Sota, R.L. 2013. Metritis in dairy cows: Risk factors and reproductive performance. *J. Dairy Sci.* 966, 3621-3631.
- Gobikrushanth, M., Macmillan, K., Behrouzi, A., Hoff, B., Colazo, M.G. 2019. The factors associated with postpartum body condition score change and its relationship with serum analytes, milk production and reproductive performance in dairy cows. *Livestock Science*, 228, 151-160.
- Goldhawk, C., Chapinal, N., Veira, D.M., Weary, D.M., von Keyserlingk, M.A.G. 2009. Prepartum feeding behavior is an early indicator of subclinical ketosis. *J. Dairy Sci.* 9210, 4971-4977.

- Gordon, J.L. 2013. Risk Factors for and Treatment of Ketosis in Lactating Dairy Cows. Ph.D. Thesis, University of Guelph, Guelph, ON, Canada, 2013.
- Graugnard, D.E., Bionaz, M., Trevisi, E., Moyes, K.M., Salak-Johnson, J.L., Wallace, R.L., Drackley, J.K., Bertoni, G., Loor, J.J. 2012. Blood immunometabolic indices and polymorphonuclear neutrophil function in peripartum dairy cows are altered by level of dietary energy prepartum. *J. Dairy Sci.* 954, 1749-1758.
- Grigera, J., Bargo, F. 2005. Evaluación del estado corporal en vacas lecheras. *Producción animal*. https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/cria_condicion_corporal/45-cc_lecheras.pdf
- Grummer, R.R. 1995. Impact of changes in organic nutrient metabolism on feeding the transition dairy cow. *J. Anim. Sci.* 739, 2820.
- Guliński, P. 2021. Ketone bodies – causes and effects of their increased presence in cows' body fluids: A review. *Vet. World* 1492-1503.
- Gutiérrez, N. 2015, 26 de enero. Cetosis bovina. *Agricultura y desarrollo rural*. <https://sader.jalisco.gob.mx/fomento-ganaderoagricola-e-inocuidad/709#:~:text=La%20cetosis%20es%20una%20enfermedad,de%20leche%20y%20anormalidades%20neurológicas>.
- Hammon, D.S., Evjen, I.M., Dhiman, T.R., Goff, J.P., Walters, J.L. 2006. Neutrophil function and energy status in Holstein cows with uterine health disorders. *Vet. Immunol. Immunopathol.* 113, 21e9.
- Hao, L.Y., Wang, J., Sun, P. Bu, D.P. 2016. The effect of heat stress on the metabolism of dairy cows: Updates and Review. *J. Nutr. Metab.* 31, 1036
- Hashem, M.A., Amer, H.A. 2008 Hormonal and biochemical anomalies in dairy cows affected by retained fetal membranes. *Int. J. Vet. Med.* 18512, 1517–1519.
- Hayirli, A. 2006. The role of exogenous insulin in the complex of hepatic lipidosis and ketosis associated with insulin resistance phenomenon in postpartum dairy cattle. *Vet. Res. Comm.* 30, 749e74.

- Herdt, T.H. 2000. Ruminant adaptation to negative energy balance. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Prac.* 162, 215-230.
- Holtenius, K., Agenas, S., Delavaud, C., Chilliard, Y. 2003. Effects of feeding intensity and during the dry period. 2. Metabolic and hormonal responses. *J. Dairy Sci.* 86:883e91.
- Holtenius, P., Holtenius, K. 2007. A model to estimate insulin sensitivity in dairy cows. *Acta Vet. Scand.* 49, 29.
- Hosseini-Zadeh, G.N., Ardalan, M. 2011. Cow-specific risk factors for retained placenta, metritis and clinical mastitis in Holstein cows. *Vet. Res. Commun.* 35, 345–354.
- Huzzey, J.M., Veira, D.M., Weary, D.M., von Keyserlingk, M.A. 2007. Prepartum behavior and dry matter intake identify dairy cows at risk for metritis. *J. Dairy Sci.* 90, 3220–3233.
- Jeong, J.K., Choi, I.S., Moon, S.H., Lee, S.-C. Kang, H.G., Jung, Y.H., Park, S.B., Kim, I.H., 2017. Risk factors for ketosis in dairy cows and associations with some blood metabolite concentrations. *J. Vet. Clin.* 344, 255-260.
- Jeong, J.K., Kang, H.G., Kim, I.H. 2018. Relationships between calving season and the incidence of postpartum disorders, milk yield, and reproductive performance in dairy cows. *J. Vet. Clin.* 356, 251-257.
- Ji, B., Banhazi, T., Ghahramani, A., Bowtell, L., Wang, C., Li, B. 2020. Modelling of heat stress in a robotic dairy farm. Part 1: Thermal comfort indices as the indicators of production loss. *Biosyst. Eng.* 199, 27-42.
- Jilek, F., Pytloun, P., Kubešova, M., Štipkova, M., Bouška, J., Volek, J.J., Frelich, J., R. Rajmon, R. 2008. Relationships among body condition score, milk yield and reproduction in Czech Fleckvieh cows. *Czech J. Anim. Sci.* 9, 357-367.
- Kadivar, A., Ahmadi, M.R., Vatankhah, M. 2014. Associations of prepartum body condition score with occurrence of clinical endometritis and resumption of postpartum ovarian activity in dairy cattle. *Trop. Anim. Health Prod.* 461, 121-126.

- Klopčič, M., Hamoen, A., Bewley, J. 2011. Body condition scoring of dairy cows. Domžale: Biotechnical Faculty, Department of Animal Science DOI: 978-961-6204-54-5
- Kristensen, E., Dueholm, L., Vink, D., J. Andersen, E., Jakobsen, E.B., Illum-Nielsen, S., Petersen, F.A, Enevoldsen, C. 2006. Within and across-person uniformity of body condition scoring in Danish Holstein cattle. *J. Dairy Sci.* 89, 3721–3728.
- La Manna, A., Roman, L., Bravo, R., Aguilar, I. 2014. Estrés térmico en vacas lecheras: con sombra y bienestar las vacas producen más. *INIA*, Artículo 39. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/7093/1/revista-INIA-39-p.-34-39.pdf>
- Labernia, J., Lopez-Gatius, F., Santolaria, P., Hanzen, C., Laurent, Y., Houtain, J.Y. 1998. Influence of calving season on the interactions among reproductive disorders of dairy cows. *Anim. Sci.* 67, 387–393.
- Lacetera, N. 2019. Impact of climate change on Anim. health and welfare. *Anim. Front.* 91, 26-31.
- LeBlanc, S. 2010. Monitoring metabolic health of dairy cattle in the transition period. *J. Reprod. Dev.* 56, 29–35.
- LeBlanc, S. 2008. Postpartum uterine disease and dairy herd reproductive performance: A review. *Vet. J.* 176, 102-114
- Mader, T.L., Davis, M.S., Brown-Brandl, T. 2006. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 84(3), 712-719.
- Mahnani, A., Sadeghi-Sefidmazgi, A., Ansari-Mahyari, S., Ghorbani, G.R., Keshavarzi, H., 2021. Farm and cow factors and their interactions on the incidence of retained placenta in Holstein dairy cows. *Theriogenology* 159, 87-97.
- Mateus, L., da Costa, L.L., Bernardo, F., Silva, J.R. 2002. Influence of puerperal uterine infection on uterine involution and postpartum ovarian activity in dairy cows. *Reprod. Domest. Anim.* 37, 31-35.

- McArt, J.A., Nydam, D.V., Ospina, P.A., Oetzel, G.R. 2011. A field trial on the effect of propylene glycol on milk yield and resolution of ketosis in fresh cows diagnosed with subclinical ketosis. *J. Dairy Sci.* 94, 6011–6020.
- Mejía, M.E., Lacau-Mengido, I.M. 2005. Endometritis treatment with a PGF2 α analog does not improve reproductive performance in a large dairy herd in Argentina. *Theriogenology* 635, 1266-1276.
- Mellado, M., Dávila, A., Gaytán, L. Macías-Cruz, U., Avendaño-Reyes, L. García, E. 2018. Risk factors for clinical ketosis and association with milk production and reproduction variables in dairy cows in a hot environment. *Trop. Anim. Health Prod.* 50, 1611–1616.
- Mellado, M., Sepulveda, E., Meza-Herrera, C., Veliz, F.G, Arevalo, J.R., Mellado, J., De Santiago, A. 2013. Effects of heat stress on reproductive efficiency of high yielding Holstein cows in a hot-arid environment. *Rev. Colomb. Cienc. Pec.* 263, 193-200.
- Mendoza, J., Martinez, R., Diaz, D., Avila, F. 2015. Efecto de la condición corporal de vacas Holstein sobre la capacidad para retener agua, colágeno insoluble y esfuerzo de corte en Longissimus dorsi. *SciELO*, 52. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-61322015000200019
- Menta, P.R., Machado, V.S., Piñeiro, J.M., Thatcher, W.W., Santos, J.E.P., Vieira-Neto, A. 2022. Heat stress during the transition period is associated with impaired production, reproduction, and survival in dairy cows. *J. Dairy Sci.* <https://doi.org/10.3168/jds.2021-21185>
- Mishra, S., Kumari, K., Dubey, A. 2016. Body condition scoring of dairy cattle: A review, research and reviews. *J. Vet. Sci.* 2(1). <http://www.rroij.com/open-access/body-condition-scoring-of-dairy-cattle-a-review-.pdf>
- Mishra, S., Kumari, K., Dubey, A. 2016. Body condition scoring of dairy cattle: A review, research and reviews. *J. Vet. Sci.* 21.

- Mordak, R., Stewart, P.A. 2015. Periparturient stress and immune suppression as a potential cause of retained placenta in highly productive dairy cows: Examples of prevention. *Acta Vet. Scand.* 571, 84.
- Mulligan, F.J., Doherty, M.L. 2008. Production diseases of the transition cow. *Vet J*, 176, 3–9.
- Nogalski, Z., Wroński, M., Lewandowska, B., Pogorzelska, P. 2012. Changes in the blood indicators and body condition of high yielding Holstein cows with retained placenta and ketosis. *Acta Vet. Brno* 814, 359-364.
- NRC., 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 7th rev. ed. Natl. Acad. Sci. Washington, DC. United States, pp. 39–44.
- Oetzel, G.R. 2004. Monitoring and testing dairy herds for metabolic disease. *Vet. Clin. Food Anim. Prac.* 20, 651–674.
- Oetzel, G.R. 2007. Herd-level ketosis–diagnosis and risk factors. American Association of Bovine Practitioners. In *Proceedings of the 40th Annual Conference, Vancouver, BC, Canada, 3–6 January 2007*.
- Opsomer, G., Gröhn, Y.T., Hertl, J., Coryn, M., Deluyker, H., de Kruif, A. 2000. Risk factors for post-partum ovarian dysfunction in high producing dairy cows in Belgium: a field study. *Theriogenology* 53, 841-857.
- Ospina, P. A., Nydam, D. V., Stokol, T., Overton, T. R. (2010). Associations of elevated nonesterified fatty acids and β -hydroxybutyrate concentrations with early lactation reproductive performance and milk production in transition dairy cattle in the northeastern United States. *J. Dairy Sci.* 93(4), 1596-1603.
- Ospina, P.A., Nydam, D.V., Stokol T., Overton T.R. 2010. Associations of elevated nonesterified fatty acids and b-hydroxybutyrate concentrations with early lactation reproductive performance and milk production in transition dairy cattle in the northeastern United States. *J. Dairy Sci.* 93, 1596e603.
- Ospina, P.A., Nydam, D.V., Stokol, T, Overton, T.R. 2010. Association between the proportion of sampled transition cows with increased nonesterified fatty

- acids and b-hydroxybutyrate and disease incidence, pregnancy rate, and milk production at the herd level. *J. Dairy Sci.* 93, 3595e601.
- Otto, K.L., Ferguson, J.D., Fox, D.G., Sniffen, C.J. 1991. Relationship between body condition
- Overton, T.R., Waldron, M.R. 2004. Nutritional management of transition dairy cows: strategies to optimize metabolic health. *J. Dairy Sci.* 87Supplement, E105e19.
- Overton, M., Fetrow, J. 2008. Economics of postpartum uterine health. Proceedings of the Dairy Cattle Reproduction Council, 7–8 November, Omaha,
- Pascottini, O.B., LeBlanc, S.J. 2020. Modulation of immune function in the bovine uterus peripartum. *Theriogenology*, 150, 193-200.
- Pérez-Báez, J., Risco, C.A., Chebel, R.C., Gomes, G.C., Greco, L.F., Tao, S., Thompson, I. M., do Amaral, B.C., Zenobi, M. G., Martinez, N., Staples, C.R., Dahl, G.E., Hernández, J.A., Santos, J.E.P., Galvão, K.N. 2019. Association of dry matter intake and energy balance prepartum and postpartum with health disorders postpartum: Part II. Ketosis and clinical mastitis. *J. Dairy Sci.* 102, 9151-9164.
- Peter, A.T., Bosu, W.T., DeDecker, R.J. 1989. Suppression of preovulatory luteinizing hormone surges in heifers after intrauterine infusions of *Escherichia coli* endotoxin. *Am. J. Vet. Res.* 50, 368-373.
- Pinedo, P., Manríquez, D., Azocar, J., Klug, B. R., De Vries, A. 2022. Dynamics of automatically generated body condition scores during early lactation and pregnancy at first artificial insemination of Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 1055, 4547-4564.
- Pires, J.A.A., Delavaud, C., Faulconnier, Y., Pomies, D., Chilliard, Y. 2013. Effects of body condition score at calving on indicators of fat and protein mobilization of periparturient Holstein-Friesian cows. *J. Dairy Sci.* 96, 6423e39.

- Pires, J.A.A., Pescara, J.B., Grummer, R.R. 2007. Reduction of plasma NEFA concentration by nicotinic acid enhances the response to insulin in feed-restricted Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 90, 4635e42.
- Pivko, J., Makarevich, A.V., Kubovicova, E., Hegedusova, Z. Louda, F. 2012. Histopathological alterations in the antral ovarian follicles in dairy cows with a tendency to emaciation. *Histol. Histopathol.* 27, 1211-1217.
- Qu, Y., Fadden, A.N., Traber, M.G., Bobe, G. 2014. Potential risk indicators of retained placenta and other diseases in multiparous cows. *J. Dairy Sci.* 97, 4151-4165.
- Quintana, A.R., Seseña, S., Garzón, A., Arias, R. 2020. Factors affecting levels of airborne bacteria in dairy farms: A review. *Animals* 103, 526.
- Quiroz-Rocha, G.F., LeBlanc, S., Duffield, T., Wood, D., Lesile, K.E., Jacobs, R.M., 2009. Evaluation of prepartum serum cholesterol and fatty acids concentrations as predictors of postpartum retention of the placenta in dairy cows. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 234, 790–793.
- Raboisson, D., Mounié, M., Maigné, E. 2014. Diseases, reproductive performance, and changes in milk production associated with subclinical ketosis in dairy cows: A meta-analysis and review. *J. Dairy Sci.* 97, 7547–7563.
- Roche, J.R., Friggens, N.C., Kay, J.K., Fisher, M.W., Stafford, K.J., Berry, D.P. 2009. Invited review: body condition score and its association with dairy cow productivity, health, and welfare. *J. Dairy Sci.* 92, 5769e801.
- Roche, J.R., Friggens, N.C., Kay, J.K., Fisher, M.W., Stafford, K.J., Berry, D.P. 2009. Invited review: Body condition score and its association with dairy cow productivity, health, and welfare. *J. Dairy Sci.* 92, 5769-5801.
- Rodríguez, E.M., Arís, A., Bach, A. 2017. Associations between subclinical hypocalcemia and postparturient diseases in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 1009, 7427-7434.
- Scalia, D., Lacetera, N., Bernabucci, U., Demeyere, K., Duchateau, L., Burvenich, C. 2006. In vitro effects of nonesterified fatty acids on bovine neutrophils oxidative burst and Viability. *J. Dairy Sci.* 89, 147e54.

- Schütz, K.E., Cox, N.R., Matthews, L.R. 2008. How important is shade to dairy cattle? Choice between shade or lying following different levels of lying deprivation. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 114(3-4), 307-318.
- Sheldon, I.M., Dobson, H. 2004. Postpartum uterine health in cattle. *Anim. Reprod. Sci.* 82/83, 295-306.
- Sheldon, I.M., Noakes, D.E., Rycroft, A.N., Pfeiffer, D.U., Dobson, H. 2002. Influence of uterine bacterial contamination after parturition on ovarian dominant follicle selection and follicle growth and function in cattle. *Reproduction* 123, 837-845.
- Shin, E.K., Jeong, J.K., Choi, I.S., Kang, H.G., Hur, T.Y., Jung, Y.H., Kim, I.H. 2015. Relationships among ketosis, serum metabolites, body condition, and reproductive outcomes in dairy cows. *Theriogenology* 842, 252-260.
- Shin, E.K., Jeong, J.K., Choi, I.S., Kang, H.G., Hur, T.Y., Jung, Y.H., Kim, I.H. 2015. Relationships among ketosis, serum metabolites, body condition, and reproductive outcomes in dairy cows. *Theriogenology* 842, 252-260.
- Stojkov, J., Von Keyserlingk, M.A.G., Marchant-Forde, J.N., Weary, D.M. 2015. Assessment of visceral pain associated with metritis in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 98(8), 5352-5361.
- Tatone, E.H., Duffield, T.F., LeBlanc, S.J., DeVries, T.J., Gordon, J.L. 2017. Investigating the within-herd prevalence and risk factors for ketosis in dairy cattle in Ontario as diagnosed by the test-day concentration of β -hydroxybutyrate in milk. *J. Dairy Sci.* 1002, 1308-1318.
- Tehrani-Sharif, M., Hadadi, M., Noughabi, H.H., Mohammadi, A., Rostami, F., Sharifi, H. 2011. Bovine subclinical ketosis in dairy herds in Nishaboor, Iran. *Comp. Clin Pathol.* 21, 1637–1641.
- Thompson, I.M., Dahl, G.E. 2011. Dry-period seasonal effects on the subsequent lactation. *Prof. Anim, Sci.* 28, 628–631.
- Torres, E., Mellado, M., Leyva, C., García, J.E., Véliz, F.G., Hernández-Bustamante, J. 2020. Serum metabolites and body condition score associated with metritis, endometritis, ketosis, and mastitis in Holstein cows. *Pesq. Agrop. Bras.* 55, e01308.

- Turk, R., Podpečan, O., Mrkun, J., Flegar-Meštrić, Z., Perkov, S., Zrimšek, P. 2015. The effect of seasonal thermal stress on lipid mobilization, antioxidant status and reproductive performance in dairy cows. *Reprod. Dom. Anim.* 50(4), 595-603.
- Usman, T., Qureshi, M.S., Yu, Y., Wang, Y. 2013. Influence of various environmental factors on dairy production and adaptability of Holstein cattle maintained under tropical and subtropical conditions. *Adv. Environ. Biol.* 7, 366-372
- Vanholder, T., Papen, J., Bemers, R., Vertenten, G., Berge, A.C.B. 2015. Risk factors for subclinical and clinical ketosis and association with production parameters in dairy cows in the Netherlands. *J. Dairy Sci.* 982, 880-888.
- Waltner, S.S., McNamara, J.P., Hillers, J.K. 1993. Relationships of body condition score to production variables in high producing Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.* 76, 3410-3419.
- West, J.W. 2003. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 86(6), 2131-2144.
- Williams, E.J., Sibley, K., Miller, A.N., Lane, E.A., Fishwick, J., Nash, D.M., Herath, S., England, G.C., Dobson, H., Sheldon, I.M. 2008. The effect of *Escherichia coli* lipopolysaccharide and tumor necrosis factor alpha on ovarian function. *Am. J. Reprod. Immunol.* 60, 462-473
- Yan, G., Liu, K., Hao, Z., Shi, Z., Li, H. 2021. The effects of cow-related factors on rectal temperature, respiration rate, and temperature-humidity index thresholds for lactating cows exposed to heat stress. *J. Therm. Biol.* 100, 103041.
- Yazlık, M.O., Colakoglu, H.E., Pekcan, M., Kaya, U., Kacar, C., Vural, M.R., Kurt, S., Bas, A., Küplülü, S. 2019. The evaluation of superoxide dismutase activity, neutrophil function, and metabolic profile in cows with retained placenta. *Theriogenology* 128, 40-46.
- Yeon-Kyung, H., Ill-Hwa, K. 2005. Risk factors for retained placenta and the effect of retained placenta on the occurrence of postpartum diseases and

subsequent reproductive performance in dairy cows. *J. Vet. Sci.* 61, 53–59.

Zarrin, M., Wellnitz, O., van Dorland, H.A., Bruckmaier, R.M. 2014. Induced hyperketonemia affects the mammary immune response during lipopolysaccharide challenge in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 971, 330-339.

Zhao, W., Chen, X., Xiao, J., Chen, X.H., Zhang, X.F., Wang, T., Zhen, Y.G., Qin, G.X. 2019. Prepartum body condition score affects milk yield, lipid metabolism, and oxidation status of Holstein cows. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 32, 1889-1896.