

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



EFFECTO DE LAS LACTANCIAS PROLONGADAS Y EL ESTRÉS POR CALOR  
EN EL PERIODO SECO SOBRE LA PRODUCCIÓN DE LECHE Y  
REPRODUCCIÓN DE VACAS HOLSTEIN

POR:

IRIS JAZMÍN RODRÍGUEZ GODINA

T E S I S

Que presenta como requisito parcial para obtener el Grado de:  
DOCTORADO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

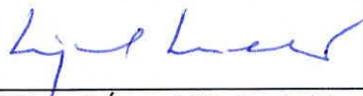
Torreón, Coahuila, México

Julio 2022

EFFECTO DE LAS LACTANCIAS PROLONGADAS Y EL ESTRÉS POR CALOR  
EN EL PERIODO SECO SOBRE LA PRODUCCIÓN DE LECHE Y  
REPRODUCCIÓN DE VACAS HOLSTEIN

Tesis

Elaborada por IRIS JAZMÍN RODRIGUEZ GODINA como requisito parcial para  
obtener el grado de Doctor en Ciencias en Producción Agropecuaria con la  
supervisión y aprobación del Comité de Asesoría



Dr. Miguel Ángel Mellado Bosque  
Asesor principal



Dr. José Eduardo García Martínez  
Asesor



Dr. Jesús Alberto Mellado Bosque  
Asesor



Dr. Juan Luis Morales Cruz  
Asesor



Dra. Viridiana Contreras Villareal  
Asesor



Dra. Leticia R. Gaytán Alemán  
Jefe del Departamento de Postgrado



Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente  
Subdirector de Postgrado

## AGRADECIMIENTOS

*A Dios, por permitirme culminar una etapa más en mi vida.*

*A mi Alma Mater, quien ha sido mi segunda casa durante mi licenciatura, maestría y doctorado. Orgullo Narro.*

*Al Dr. Miguel Mellado Bosque, eternamente agradecida con ud. Pues más que un asesor siempre ha sido un amigo, un guía, un concejero y un maestro. Gracias por su apoyo, su tiempo y su dedicación para la realización de este trabajo. Gracias por confiar en mí. Mi cariño y admiración para ud. Y su familia.*

*Al Dr. Eduardo García, por su valiosa amistad y apoyo. Por su acompañamiento y participación a lo largo de este trabajo, desde el inicio, hasta el final. Muchas gracias!*

*Al Dr. Jesús Mellado Bosque.*

*A la Dra. Viridiana Contreras Villareal.*

*Al Dr. Juan Luis Morales Cruz.*

*A Maricela Lara, por ser una gran amiga y concejera.*

*Al M.C. Omar Nájera, por su incondicional apoyo y amistad, gracias amigo por estar y permanecer.*

*A Aurelia Nájera, por todas y cada una de las veces que me apoyo y ayudo en los trámites administrativos durante mi maestría y doctorado.*

*A CONACYT por el apoyo económico para poder realizar mis estudios de posgrado.*

*A Margarito Luna Juárez, por ser más que un amigo como un hermano, por su apoyo incondicional en todo momento.*

*A Eliud NC, por su amistad, amor, apoyo, paciencia y tiempo, gracias por ser parte de cada día. Por enseñarme que siempre se puede empezar de nuevo.*

*Al Dr. Javier Díez Casalta, por su confianza y su apoyo para la realización de mi estancia en la Facultad de Medicina y Veterinaria de la Universidad de Santiago de Compostela, Lugo, España.*

*A Susana Muñiz, por abrirme las puertas de su casa aun sin conocerme y brindarme su amistad y apoyo incondicional en mi estancia académica.*

*Al Ing. Iván Coronado, por su amistad y apoyo de tantos años, largas pláticas, consejos y regaños.*

*A mis amigos, Alejandra, Uriel, Alba, quienes han sido mis compañeros de risas, aventuras y tristezas, gracias por continuar conmigo en este largo viaje que se llama vida.*

*A todos quien directa e indirectamente contribuyeron en la realización de este trabajo.*

## DEDICATORIAS

*A Dios, por ser mi guía y mi fortaleza.*

*A Derek Elián Rodríguez Godina, por ser mi mayor motivación y mi motor. Te amo.*

*A mis padres, Claudia Godina y Bernabé Rdz. Carcamo. Parte fundamental de mi vida, y a quienes les debo todo lo que soy. Los amo infinitamente. Gracias!*

*A mi hermana Azalía Cristal Rdz. Godina (†) quien desde el cielo me cuida y me demuestra que sigue conmigo. El amor que nos une es más grande que la distancia que nos separa. Te amo.*

*A Emireth Rodríguez, por llegar a nuestras vidas y ser una hermana para mí.*

*A Jose P. Godina, mi papá grande, por su apoyo incondicional.*

*A Paola Carolina GC, quien más que una amiga es una hermana y un miembro más de la familia.*

## ÍNDICE GENERAL

<i>AGRADECIMIENTOS</i> .....	1
<i>DEDICATORIAS</i> .....	3
ÍNDICE GENERAL.....	4
RESUMEN.....	5
ABSTRACT.....	7
INTRODUCCIÓN.....	8
1.1 Objetivo.....	10
1.1.1 Objetivo.....	10
1.1.2 Objetivo.....	10
1.2 Hipótesis.....	10
1.2.1 Hipótesis.....	10
1.2.2 Hipótesis.....	10
REVISIÓN DE LITERATURA.....	11
2.1 Producción de leche de bovino en México.....	11
2.2 La comarca lagunera.....	11
2.3 Lactancias prolongadas.....	12
2.4 Ventajas de las lactancias prolongadas.....	18
2.5 Enfermedades asociadas al parto.....	19
2.5.1 Cetosis.....	20
2.5.2 Mastitis.....	22
2.5.3 Metritis y endometritis.....	24
2.5.4 Retención placentaria.....	26
2.5.5 Hipocalcemia.....	27
2.5.7 Desplazamiento de abomaso.....	29
2.6 Estrés térmico.....	31
2.7 Índice de temperatura-humedad.....	31
2.8 Sanidad, producción y reproducción.....	32
<b>ANEXO 1</b> .....	33
<b>ANEXO 2</b> .....	41
CONCLUSIÓN GENERAL.....	65
LITERATURA CITADA.....	66

**RESUMEN**  
**“EFECTO DE LAS LACTANCIAS PROLONGADAS Y EL ESTRÉS POR CALOR EN EL PERIODO SECO SOBRE LA PRODUCCIÓN DE LECHE Y REPRODUCCIÓN DE VACAS HOLSTEIN“**

Por

**IRIS JAZMÍN RODRÍGUEZ GODINA**

PARA OBTENER EL GRADO DE **DOCTOR EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA**

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
UNIDAD LAGUNA

DIRECTO DE TESIS. **MIGUEL MELLADO BOSQUE**

En un primer estudio se utilizaron 1338 vacas Holstein con cinco lactancias, de un hato comercial lechero, en el norte de México, para evaluar la producción de leche y el desempeño reproductivo de vacas sometidas a lactaciones prolongadas no planificadas (LP, >450 días). Las vacas con LP no quedaron preñadas con  $\geq 4$  servicios. Éstas se asignaron a 1 de 6 grupos de acuerdo con el número de LP (LP0 para vacas sin LP a LP5 para vacas con 5 LP). La producción acumulada de leche fue más alta ( $P < 0.01$ ) para las vacas LE5 (95,499 kg) y más baja para las vacas LE0 (56,236 kg). Asimismo, los días acumulados en leche fueron mayores ( $P < 0.01$ ) en las vacas EL5 (2968 días) y menores en las vacas LE0 (1857 días). La producción de leche media por lactancia aumentó linealmente con el aumento en el número de lactancias prolongadas con un máximo de 19,099 kg de leche/lactancia para vacas EL5. El rendimiento medio diario de leche/vida productiva fue más bajo ( $P < 0.01$ ) para LE0 (30.2 kg) y más alto para LE5 (32.1 kg). El porcentaje de días en leche en relación con los días desde el nacimiento hasta el final de la quinta lactancia fue más alto para LE5 (78.1%) y más bajo para LE0 (59.6%), con vacas LE2 a LE4 intermedias. La duración del intervalo entre partos fue más largo ( $P < 0.01$ ) para las vacas LE5 (24.7 meses) y más corta para las vacas LE0 (15.5 meses). Se concluyó que vale la pena mantener lactando a

vacas de alto rendimiento incapaces de concebir antes de los 230 días posparto porque éstas volvieron a concebir y produjeron cantidades considerables de leche durante su vida productiva, lo que prolongó sustancialmente su tiempo de permanencia en el hato. En un segundo estudio se determinó el efecto del estrés por calor en el periodo seco sobre la producción de leche y eficiencia reproductiva de vacas Holstein. Se utilizaron 12102 registros productivos y reproductivos de vacas Holstein de un establo de “La Laguna”. Tanto la eficiencia reproductiva como la producción de leche decrecieron a medida que el estrés por calor fue más alto en el periodo seco de las vacas.

Palabras clave: intervalo entre partos, tasa de preñez, longevidad, producción de leche, servicios por preñez.

## ABSTRACT

A total of 1338 high-yielding cows with five lactations from a large well-managed commercial dairy operation in a hot environment of northern Mexico were used to evaluate milk yield and reproductive performance of cows undergoing unplanned extended lactations (EL, > 450 days). The null hypothesis that cumulative milk yield during five consecutive lactations is the same in cows not having unplanned EL and cows with several EL was tested. All EL resulted from cows failing to become pregnant with  $\geq 4$  services. Cows were allocated to 1 of 6 groups according to the number of EL (EL0 for cows with no EL to EL5 for cows with 5 EL). Cumulative milk yield was highest ( $P < 0.01$ ) for EL5 cows (95,499 kg) and lowest for EL0 cows (56,236 kg). Likewise, cumulative days in milk were greatest ( $P < 0.01$ ) in EL5 (2,968 days) and lowest in EL0 (1,857 days) cows. Mean milk yield per lactation increased linearly with the increase in the number of extended lactations with a maximum of 19,099 kg of milk/lactation for EL5 cows. Mean daily milk yield/productive life was lowest ( $P < 0.01$ ) for EL0 (30.2 kg) and highest for EL5 (32.1 kg). The percentage of days in milk relative to days from birth to the end of the fifth lactation was highest for EL5 (78.1%) and lowest for EL0 (59.6%), with EL2 to EL4 cows intermediate. Length of calving interval was longest ( $P < 0.01$ ) for EL5 (24.7 months) and shortest for EL0 (15.5 months) cows. It was concluded that it is worthwhile maintaining high-yielding cows incapable to conceive before 230 days in milk because they did conceive again and produced considerable amounts of milk during their productive life, which substantially prolonged their permanence time in the herd. In a second study, the effect of heat stress in the dry period on milk production and reproductive efficiency of Holstein cows was determined. Productive and reproductive records ( $n=12102$ ) of Holstein cows from a large dairy herd from "La Laguna" were used. Both reproductive efficiency and milk production decreased as heat stress was higher in the cows' dry period.

Keywords: Calving interval, extended lactation, lifetime productivity, milk yield, services per pregnancy

## INTRODUCCIÓN

México ocupa el primer lugar a nivel mundial en la importación de leche en polvo, ya que sólo el 80% del consumo nacional de leche deriva de la producción interna. México ocupó el 16° lugar en producción de leche de bovino en el mundo (CANILEC, 2021). En el primer semestre del 2021 la producción de leche en México aumentó en 1.1% (INFOCAMPO, 2021).

La producción leche de bovino ha evolucionado en los últimos años. En 2018 aumentó 240 millones 683 mil litros en comparación con el 2017, alcanzando los 12,008 millones de litros, un 2.0% más que el año anterior (SIAP, 2018).

Los estados que destacan en producción de leche son Jalisco con un 5.5%, Guanajuato con 3.4%, Chihuahua con 3.0% y Chiapas con 2.0%; entidades con aportación importante pero que en el mismo periodo disminuyeron su producción son Veracruz con 2.6, estado de México con 2.4% y Coahuila con 0.4%. (SIAP, 2018).

La principal cuenca lechera de México se encuentra ubicada en la Comarca Lagunera, conformada por los estados de Coahuila y Durango. En esta zona, la producción de leche es una de las actividades económicas más importantes, teniendo un alto impacto en la producción nacional de leche. En esta región la producción de leche se ve afectada por el estrés por calor que sufren las vacas y por la alta incidencia de enfermedades asociadas al parto, ya que un 70% de éstas son derivadas al parto (Mellado et al., 2013).

En los hatos lecheros intensivos, la práctica estándar es preñar a las vacas antes de los 100 días posparto para tener intervalos entre partos de 12 a 13 meses, para aumentar el retorno sobre el costo de la alimentación (Dalcq et al., 2018). En zonas de clima cálido intensivo y prolongado, la baja eficiencia reproductiva representa un problema importante en los hatos lecheros (De Rensis et al., 2017, Wolfenson and Roth, 2019) y normalmente impide tener intervalos de parto

menores a 13 meses. Los intentos de mantener un intervalo de parto de 12-13 meses en vacas que sufren hipertermia la mayor parte del año, conducen a que se elimine un gran número de vacas del hato debido a la baja tasa de preñez (Pinedo et al., 2010).

Las enfermedades que se presentan asociadas al parto o posterior a este, son partos distócicos, retención de placenta, metritis, endometritis, quistes ováricos, desplazamiento de abomaso, hipocalcemia, cetosis, mastitis, entre otras (Ribeiro et al., 2016; Bogado-Pascottini and Opsomer, 2020). Estas enfermedades podrían reducirse si las vacas tuvieran una menor cantidad de partos en su vida productiva, y esto se puede lograr alargando la lactancia de las vacas a más de 450 días. Con lactancias prolongadas (>450 días), el tejido secretor de la ubre de las vacas es maleable y este tejido puede mantenerse activo más allá de los 305 días donde tradicionalmente se termina la lactancia (Akers, 2017). Así mismo, se estaría en condiciones de producir una mayor cantidad de leche en la vida productiva de las vacas, y como resultado, ocurriría una disminución de enfermedades asociadas al parto. Esta práctica es común en la Comarca Lagunera, debido a que las vacas tienen dificultades para quedar preñadas antes de los 120 días después del parto, debido al calor excesivo imperante en la mayor parte del año.

Por ello, las lactancias prolongadas en los establos de esta zona se presentan en forma forzada, ya que los productores de esta región empiezan a inseminar las vacas a partir de los 50 días postparto, pero con tasas de concepción muy bajas, particularmente en los meses de primavera y verano.

Existen incipientes esfuerzos por ver la posibilidad de alargar las lactancias de las vacas a más de 450 días, pero esto se ha llevado a cabo sólo con una o dos lactancias. Se consideró pertinente explorar el comportamiento de las vacas cuando se somete a lactancias prolongadas durante cinco lactancias. Con este sistema de manejo se espera una producción abundante de leche de las vacas y una disminución en la ocurrencia de enfermedades derivadas del parto.

Por otra parte, las vacas lecheras en la zona de La Laguna en Coahuila-Durango, están sujetas a estrés térmico durante su periodo seco. Este estrés se agudiza porque las vacas secas no se les proporcionan ningún mecanismo para la disminución del estrés por calor (ventiladores, rociadores de agua, etc.).

## **1.1 Objetivo**

### **1.1.1 Objetivo**

El objetivo del primer estudio retrospectivo fue determinar el efecto de la lactancia prolongada repetida sobre la producción de leche y la vida útil de vacas Holstein de alto rendimiento en un ambiente caluroso.

### **1.1.2 Objetivo**

El objetivo del segundo estudio retrospectivo fue determinar el efecto de la intensidad del estrés por calor en el periodo seco sobre la producción de leche y la eficiencia reproductiva en vacas Holstein de alta capacidad genética para la producción de leche.

## **1.2 Hipótesis**

### **1.2.1 Hipótesis**

Las vacas con más de una lactancia prolongada (>450 días) producirán una mayor cantidad de leche en su vida productiva, por ende, la vida productiva de éstas, con tres o más lactancias prolongadas, será más del doble que las vacas con lactancias convencionales (alrededor de 10 y 12 meses).

### **1.2.2 Hipótesis**

Las vacas sujetas a estrés térmico severo durante el periodo seco presentan una menor producción de leche y una reducida capacidad reproductiva que las vacas que no sufren hipertermia en su periodo seco.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Producción de leche de bovino en México

México es el país que ocupa el noveno lugar en producción de leche y el quinto en importación de lácteos (leche en polvo), puesto que hasta diciembre del 2016 fueron 549,921 toneladas de leche importada para abastecer las necesidades de leche en polvo de la población, lo que es un récord, ya que en los últimos siete años ha aumentado en un 9.5%, rebasando los 10,600 millones de litros que se registraron en 2010, en comparación con 11,607 millones de litros en 2016. (Robledo Padilla, 2018). El consumo per cápita de leche en México es de 124 litros al año por persona. Dentro de los estados con mayor producción de leche se encuentran Jalisco con un 19% de la producción nacional, Coahuila con un 12%, Durango con 10% y Chihuahua con 9%.

### 2.2 La comarca lagunera

La cuenca lechera más importante del país está ubicada al noreste de México, en un ambiente caluroso y árido conocido como “Comarca Lagunera”, la cual está localizada en parte de los estados de Coahuila y Durango. Cuenta con aproximadamente 800 explotaciones, la mayor parte de tipo empresarial, con diversos tamaños de hatos, así como con alta tecnología, un alto grado de especialización, manejo y múltiples procesos de producción. En 2016, aportó un volumen de 2,433 millones de litros a la producción nacional, lo que equivale al 21% de la producción total. (<https://www.eleconomista.com.mx/opinion/La-produccion-de-leche-en-la-Comarca-Lagunera-I-20171011-0106.html>)

### 2.3 Lactancias prolongadas

La duración de la lactancia es una variable del manejo de ganado bovino que influye en la producción y calidad de la leche. Extender la lactancia en un período mayor al tradicional de 305 días evita que las vacas conciban en el pico de lactancia, cuando se encuentran en balance negativo de energía (Auldist et al., 2007). Además, la prolongación de la duración de la lactancia permite reducir los picos de lactancia durante la vida productiva de la vaca y disminuir la cantidad de períodos posparto, etapas propicias para la ocurrencia de enfermedades metabólicas y reproductivas. De esta manera, las lactancias prolongadas pueden alargar la vida productiva de las vacas, ya que la eliminación de las vacas está asociada con el número de partos (Chirino et al., 2012).

La lactancia prolongada (más de 15 meses) en vacas lecheras es una alternativa a la lactancia típica de 305 días. Reduce la cantidad de días secos durante la vida del animal y el estrés metabólico relacionado con el balance energético negativo durante la lactancia temprana (Wankhade et al., 2017), y puede ser rentable para los productores de leche (Arbel et al., 2001). Linzell (1973) observó que las cabras no preñadas bien alimentadas, ordeñadas dos veces al día, pueden lactar continuamente durante 2 a 4 años. No hay información sobre la calidad de la leche producida a partir de cabras o vacas con lactancia prolongada.

El concepto de manejo de la lactancia prolongada, por el cual las vacas tienen deliberadamente un retraso en el momento de la primera inseminación, puede ser una opción de mitigación de la producción de gases efecto invernadero (Lehmann et al., 2014). Retrasar el tiempo de la primera inseminación aumenta el intervalo entre dos partos consecutivos, lo que conduce a más días de lactancia y menos días secos por vaca por año, si la duración del período seco permanece sin cambios. Los intervalos de parto más largos reducen el número de partos por año en un hato, lo que conduce a un menor número de terneros y vaquillas de reemplazo. Por lo tanto, se reduce la tasa de reemplazo por año y se pueden vender menos terneros para engorda. Además, el riesgo anual de enfermedades

asociadas al parto debe reducirse ya que la mayoría de estas enfermedades ocurren alrededor del momento del parto (Ingvarsen et al., 2003).

Además, el curso de la curva de lactancia estándar con sus fases ascendente, pico y descendente, significan que una vaca con una lactancia prolongada producirá menos leche por día de lactancia. Vacas lecheras de alto rendimiento (~7,600-11,300 kg por lactancia) seleccionadas por el productor de leche para la lactancia prolongada han producido rendimientos de leche iguales por día de alimentación durante la lactancia prolongada completa en comparación con lactancias estándar (Lehmann et al., 2016), donde los días de alimentación son la suma de los días de lactancia y secos. Además, un mayor intervalo entre partos para una vaca promedio permite un incremento en la proporción de forraje de la ración.

Dos estudios han demostrado el efecto económico positivo de la lactancia prolongada (Arbel et al., 2001, Browne et al., 2015), y dos estudios han mostrado resultados opuestos para la lactancia prolongada como una opción de mitigación de los gases efecto invernadero (Wall et al., 2012, Browne et al., 2015).

En el norte de México y en zonas de intenso calor, la producción de leche a 305 días de vacas primerizas y multíparas es típicamente de 9,668 y 10,802 kg, en promedio. Con más de 15 meses de lactancia (preñez hasta los 230 días posparto) esta producción es de 16,934 y 17,497 kg, en promedio. Esto significa que la producción de leche entre los 10 meses y más de 15 meses de lactancia es de alrededor de 7,000 kg adicionales de leche (Mellado et al., 2016). Algunas vacas excepcionalmente sobresalientes para la producción de leche pueden continuar lactando hasta por tres años (vacas no gestantes durante toda su lactancia) alcanzando producciones de leche que rondan los 32,000 kg de leche (Flores et al., 2019).

Cuando las vacas tienen más de una lactancia prolongada en su vida productiva la cantidad de leche acumulada en su vida productiva es asombrosamente alta. Por ejemplo, al comparar vacas con cinco lactancias, la producción de leche en

animales con 0, 1, 2, 3 o 4 lactancias prolongadas es, en promedio, 56,236, 63,308, 71,077, 80,561 y 88,685 kg (Mellado et al., 2016).

La somatotropina recombinante (rbST) es una formulación desarrollada para aumentar la eficiencia de la producción de leche en vacas lecheras de alta producción en sistemas intensivos, y la rentabilidad de los hatos lecheros. La rbST aumenta en aproximadamente 4 kg/vaca por día durante el transcurso de una lactancia. Además de aumentar la producción de leche, la rbST propicia una mayor persistencia durante todo el ciclo de lactancia en comparación con las vacas que no se suplementan con esta hormona (Capper et al., 2008). Debe aclararse que esta hormona está legalmente permitida en México y los residuos de esta hormona en la leche no son nocivos para los humanos (los residuos de esta hormona en la leche se desintegran en el canal digestivo del hombre, por su naturaleza proteica, la propaganda el contra el uso de esta hormona no tiene ningún sustento científico

El uso de rbST en vacas Holstein de alto rendimiento que experimentan lactancias de 480 a 1200 días resulta en producciones de leche de alrededor de 22,000 kg, comparado con 17,000 kg en vacas que no reciben la rbST. Por tanto, en países donde la rbST está legalmente permitida, el uso de esta hormona junto con la lactancia prolongada es una práctica prometedora que mejora sustancialmente la producción de leche (Flores et al., 2019).

La producción de leche en la glándula mamaria está determinada por el número de células secretoras y la actividad de éstas (Akers, 2017). Cuando la frecuencia de ordeño aumenta de 2 a 3 veces por día, la tasa de proliferación y la actividad de las células secretoras aumenta, reduciéndose su apoptosis además de incrementarse la expresión de los principales genes de las proteínas de la leche, que contribuyen a los cambios observados en la producción de leche. Lo anterior incrementa en la producción de leche en 305 días en aproximadamente 10% en las vacas con 3 ordeñas por día, comparadas con las ordeñadas 2 veces por día (soberon et al., 2011).

Sin embargo, la persistencia entre las vacas con 2 o 3 ordeñas es prácticamente igual en vacas pluríparas con un promedio de 680 días de lactancia, con lo cual las vacas con dos ordeñas son capaces de producir 19,000 kg de leche comparado con 21,000 kg de leche de las vacas con 3 ordeñas. Entonces, con sólo 2 ordeñas por día las vacas con más de 600 días de lactancia casi duplican la producción de leche que las vacas que se ordeñan 10 meses. Entonces, tres ordeños por día no son estrictamente necesarios para mantener una mayor persistencia de la leche y, por tanto, para alcanzar lactaciones económicamente viables a lo largo de 600 días de lactancia (Mellado et al., 2021).

El modelado de curvas de lactancia ha sido un tema de amplio estudio durante la última década (Atashi et al., 2013, 2021). Se han evaluado diferentes modelos por su capacidad para describir el patrón de producción de leche acumulada de 305 días de lactancia, usando registros parciales de lactancia. La atención se ha centrado en el período de lactancia de 305 días, lo que implica que esa información recopilada después de 305 d generalmente se ignora y no se presta atención a la producción de leche en el período después de 10 meses en lactaciones prolongadas. En la mayoría de los países, muchas vacas tienen lactancias que duran más de 305 días. Por ejemplo, en hatos lecheros de Costa Rica, más de El 25% de las vacas se secan después de 330 d de lactancia, la duración promedio de la lactancia es de aproximadamente 328 d. Se ha demostrado que los costos del intervalo de parto prolongado dependen en gran medida de la producción de leche (Vargas et al., 2000).

En un sistema de parto estacional, el efecto adverso del balance energético negativo es exagerado, debido al hecho de que se predice que un patrón de parto de 12 meses coincide con la lactancia máxima, cuando muchas vacas todavía están en balance energético negativo (Nigussie, 2018). Un intervalo entre partos prolongado reduce la eficiencia de producción de leche, por lo tanto, es necesario concebir un patrón de partos estacionales compacto (Harris y Kolver, 2001). Las vacas lecheras tienen un 11% menos de posibilidades de supervivencia de la primera a la segunda lactancia y un 27% menos de supervivencia a la quinta

lactancia (Harris y Kolver, 2001). Por lo tanto, se ha propuesto el concepto de una lactancia prolongada o un intercalado de 24 meses como una estrategia de manejo para mejorar potencialmente la reproducción y aumentar la supervivencia de las vacas (Knight, 1998, Kolver et al., 2007), mientras se sigue haciendo coincidir el suministro de alimento con la demanda de energía en un sistema basado en el pastoreo de las vacas.

Actualmente en varios países, muchas lactaciones se extendieron más allá de 305 días (Vargas et al., 2000) con duración de la lactancia en algunas poblaciones de más de 15 meses (Gonzalez-Recio et al., 2004). Estudios recientes muestran que más del 55% de las vacas Holstein de EE. UU. registran lactancias de más de 305 días (Tsuruta et al., 2005, VanRaden et al., 2006). La tendencia indeseable que existe con la pérdida de fertilidad y las fallas reproductivas en el ganado lechero (Berry et al., 2016) es un contribuyente bien conocido a la lactancia prolongada. Sin embargo, la lactancia prolongada podría ser parte de la estrategia de manejo (Tarazon-Herrera et al., 2000, Gonzalez-Recio et al., 2006). Con raras excepciones (Vargas et al., 2000, Grossman y Koops, 2003) se ha examinado el alargamiento de la lactancia en vacas de alta producción de leche.

Las brechas de conocimiento clave en la producción de leche en Victoria, Australia, en 2003, fueron la economía, la persistencia de la lactancia en los sistemas de producción de alimentos y la influencia del nivel de nutrición en el rendimiento con lactancias prolongadas (O'Brien and Cole, 2004). Los análisis económicos de los sistemas de lactancia extendida han demostrado que pueden ser al menos tan rentables como los sistemas de parto estacional (Malcolm, 2005, Trapnell and Malcolm, 2006). Dos estudios recientes que utilizan dietas basadas en praderas han demostrado que es posible ordeñar vacas para lactancias de 2 años y que la producción anual de leche es rentable (Auld et al., 2007, Kolver et al., 2008).

El concepto de lactancia prolongada es una ruptura con la meta de tener intervalos entre partos de un año, al retrasar por infertilidad o deliberadamente, el inicio del siguiente ciclo reproductivo. Los intervalos entre partos de un año han sido la

norma desde hace muchas décadas. Este concepto, sin embargo, no se sostiene actualmente, ya que la producción de leche de las vacas Holstein en sistemas intensivos típicamente es por lo menos de 10,000 kg de leche en 305 días (vacas multíparas), con algunas vacas produciendo alrededor de los 30 litros de leche al secado.

Es importante mejorar la productividad y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) por kilogramo producido de leche en los hatos lecheros orgánicos de alto rendimiento. Estos efectos se logran con menos partos por año y, por lo tanto, en la producción de menos vaquillas, lo que, en combinación con menos días por vaca, reducirá el requerimiento anual del hato para la alimentación (Sehested et al., 2019). El total es un determinante importante de la emisión de GEI en la granja. Sin embargo, estos efectos también se basan en el supuesto de una producción de leche sin cambios por día de alimentación (días de lactancia más días secos). Por lo tanto, la producción de leche es un determinante principal del éxito de la lactancia a nivel de granja. Las vacas que se someten a una lactancia prolongada podrán producir leche durante el mismo número de lactaciones y, por lo tanto, tendrán vidas más largas y productivas. Además, la salud de las vacas puede mejorar ya que la mayoría de las enfermedades ocurren alrededor del parto (Carvalho et al., 2019). El aumento de la productividad y la mejora de la salud de las vacas también deberían optimizarse.

En zonas de clima cálido intenso y prolongado, la baja eficiencia reproductiva representa un problema importante en los hatos lecheros (Mellado et al., 2016, De Rensis et al., 2017, Wolfenson and Roth, 2019) y normalmente impide tener intervalos de parto menores a 13 meses. Las operaciones lecheras que integran lactancias de más de 10 meses pueden reducir este problema al darles a las vacas más tiempo para quedar preñadas después del parto (Larsson and Berglund, 2000). Además, al aumentar el intervalo entre partos se obtendría más leche por lactancia, ya que las vacas de alta producción continúan presentando alta producción de leche a los 10 meses (Chapinal et al., 2014), el período típico de secado.

Por lo tanto, las lactancias prolongadas se utilizan como parte de la estrategia de producción en hatos lecheros intensivos en zonas de clima cálido intenso. Los intervalos de parto prolongados pueden cancelar el secado en vacas con alta producción de leche después de 10 meses de lactancia, lo que puede afectar negativamente la salud de la ubre durante el período seco y la lactancia posterior (Bates and Dohoo, 2016).

## **2.4 Ventajas de las lactancias prolongadas**

En vacas lecheras de alta capacidad de producción de leche, lactancias de más de 15 meses pueden resultar ventajosas por las siguientes razones:

1.- Porque el balance energético negativo durante la lactancia temprana tiene efectos perjudiciales sobre la fertilidad y esto puede evitarse si las vacas se fecundan varios meses después del pico de lactancia, cuando el balance negativo de energía desaparece (Niozas et al., 2019).

2.- Al extender la lactancia se evita que las vacas se sequen cuando las vacas presentan una alta producción de leche (más de 25 kg), lo que puede afectar negativamente el estado de salud de la ubre durante el período seco y la lactancia posterior (Vilar and Rajala-Schultz, 2020).

3.- El parto representa un momento de mayor riesgo de cetosis e hipocalcemia y trastornos derivados del parto (partos distócicos, retención de placenta, metritis, quites ováricos) para la vaca, ya que el 50% de estas enfermedades y el 30% de la eliminación involuntario de las vacas ocurren en los primeros 30 días postparto. Por lo tanto, el cambio de muchas lactancias cortas por menos lactancias más prolongadas mejora sustancialmente la salud y longevidad de las vacas (Overgård et al., 2019).

4.- Al fecundar las vacas antes de los 120 días de lactancia conduce al nacimiento de demasiados terneros, y los precios de los terneros Holstein machos son muy bajos.

5.- Se reduce el uso de alimento del hato y, por lo tanto, se aumenta la proporción de forraje a concentrado porque las vacas pasan un mayor período del año en la pendiente descendente de la curva de lactancia.

6.- Extender el tiempo entre partos conduce a un menor número de partos por vaca por año y, por lo tanto, reduce el número de días secos por vaca por año. Menos partos dan como resultado menos vaquillas de reemplazo y, por lo tanto, se requiere menor alimento para el ganado joven. En conjunto, la lactancia prolongada conduce a un menor uso de alimento sin reducir la cantidad de leche del hato (Sehested et al., 2019).

7.- Se reducen los costos de inseminación al reducirse el número de servicios por preñez de las vacas. Se reducen también los costos veterinarios y los de la cría de vaquillas de reemplazo, los cuales representan el segundo gasto anual más grande de un establo lechero, después de los costos de alimentación (Borman et al., 2004).

## **2.5 Enfermedades asociadas al parto**

Durante el período de transición, las vacas lecheras pasan por un período de adaptaciones fisiológicas marcadas por el aumento de la demanda de energía para satisfacer la demanda de producción de leche. Esto se asocia con una reducción la ingesta de alimentos y contribuye al inicio de un balance energético negativo (BEN) (Paiano et al., 2018). Un NEB intenso puede provocar una depresión del sistema inmunitario, debido al deterioro de la función de los leucocitos, favoreciendo cambios en el perfil metabólico, que pueden perjudicar la salud de los animales y aumentar el riesgo de desarrollar enfermedades metabólicas como lipomovilización, cetosis e hipocalcemia (Hammon et al., 2006; Çagdas et al., 2013; Roche et al., 2013; Sordillo et al., 2013; Zhang et al., 2016; Bicalho et al., 2017). Enfermedades metabólicas pueden causar efectos negativos en el rendimiento reproductivo de las vacas lecheras, lo que puede aumentar el

período desde el parto hasta la primera inseminación, días abiertos, el número de servicios por concepción, reducir la tasa de concepción y causar una mayor prevalencia de trastornos puerperales como metritis y endometritis (Heuwieser et al., 2000; Elkjaer et al., 2013).

Los cuidados en el postparto en vacas lecheras son fundamentales en los establos, ya que hay mayor predisposición de enfermar y además se ve afectado seriamente su desempeño reproductivo (Vallejo Timarán et al., 2017) lo cual afecta de manera significativa la producción de leche.

Los padecimientos más frecuentes en vacas en la etapa posparto son: cetosis, hipocalcemia, mastitis clínica, metritis, endometritis, retención placentaria, desplazamiento de abomaso (Beñaldo Fuentes, 2012, Vergara et al., 2014), lo que conlleva a tener problemas de infertilidad en los hatos lecheros (Sheldon et al., 2008; Parkinson, 2009, Giuliadori et al., 2013).

### **2.5.1 Cetosis**

La cetosis es una de las enfermedades metabólicas más dañinas en las primeras etapas de la lactancia. Se caracteriza por altas concentraciones de cuerpos cetónicos circulantes que frecuentemente implican pérdidas productivas y reproductivas, e incluso la muerte o el desecho prematuro de las vacas (McArt et al., 2015, Mostert et al., 2018).

Todos estos problemas representan pérdidas económicas que se agravan con el tratamiento inherente a esta enfermedad. En la mayoría de los casos, el tratamiento de otras enfermedades concomitantes, que aparecen como una causa o un efecto de la cetosis, agrava aún más el problema financiero de los productores (Raboisson et al., 2015).

La prevalencia global de cetosis subclínica en vacas lecheras fue del 22.7 % (IC del 95 %: 21.2–24.3 %). No se observaron diferencias significativas en la prevalencia de cetosis subclínica entre continentes, técnicas de diagnóstico, valores de corte:  $\geq 1.0$ ,  $\geq 1.2$  y  $\geq 1.4$  mmol/L, tipos de muestra: leche y sangre y

partos. Sin embargo, la prevalencia en Holstein (19.8%) fue significativamente menor que en otras razas mixtas (23.7%). La prevalencia de cetosis subclínica fue significativamente mayor en los establos interiores (27.8 %) que en los pastizales y en los alojamientos no especificados (Loiklung et al., 2022).

Aunque la cetosis se ha revisado ampliamente a lo largo del tiempo (Duffield, 2000; Ospina et al., 2010), las causas precisas y la patobiología de la cetosis sigue siendo desconocida. Las vacas lecheras generalmente experimentan un estado de NEB alrededor del parto caracterizado por la movilización excesiva de ácidos grasos libres del tejido adiposo debido a la baja ingesta de materia seca (Herdt, 2000). Los ácidos grasos siguen cuatro vías en el hígado: (1) oxidación completa a través del ciclo del ácido tricarbóxico para generar H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> y energía; (2) oxidación incompleta resultante en la liberación de cuerpos cetónicos y menos energía; (3) exportado fuera del hígado como parte de VLDL; y (4) esterificación de ácidos grasos no esterificados (NEFA) a triacilgliceroles (TAG) y acumulación dentro de los hepatocitos (Goff and Horst 1997; Grummer, 2008). La patobiología exacta de la hipercetonemia no se conoce por completo. La hipótesis es que hay un déficit de energía (glucosa) inmediatamente después del parto. Aparentemente, la capacidad gluconeogénica del hígado no puede satisfacer las demandas de glucosa de la vaca posparto, porque la glándula mamaria utiliza del 60% al 85% de la glucosa disponible para la síntesis de la leche (Song et al., 2021).

La hipoglucemia puede deberse a precursores gluconeogénicos inadecuados o a una tasa limitada de gluconeogénesis (Zhu et al., 2019). Las bajas concentraciones de glucosa en sangre se asocian con hipoinsulinemia, que posteriormente desencadena la movilización de ácidos grasos del tejido adiposo, lo que aumenta la cetona formación del cuerpo

Sabiendo que la cetosis aparece por un desequilibrio energético, es fundamental Invertir en la prevención de esta enfermedad, monitoreando los momentos más sensibles y débiles conocidos de la vida productiva de una vaca. Incluso sabiendo que las pruebas de laboratorio son más precisas, las pruebas para detectar esta

enfermedad han tenido una mayor utilización en los últimos años, ya que ofrecen resultados en tiempo real con buena precisión y sencillez de ejecución. La monitorización de los parámetros de la leche ha sido ampliamente estudiada como método de diagnóstico debido a su recolección de muestras no invasiva y porque estos valores se pueden presentar en los controles de leche mensuales (Djokovic et al., 2019). Además, pueden ser utilizado para evaluar enfermedades metabólicas relacionadas (Lei and Simões, 2021). La evaluación de condición corporal y seguimiento del grosor de la capa de grasa dorsal, actividad ruminal, y el control de los factores de riesgo conocidos son los métodos más comúnmente usados para monitorear la cetosis. Existe una prevalencia global de cetosis superior al 20% (Overton et al., 2017), y con costos estimados por caso de cetosis que puede alcanzar más de 250 € (Raboisson et al., 2015; Cainzos et al., 2022).

### **2.5.2 Mastitis**

La mastitis, que se manifiesta como una inflamación de la glándula mamaria, es actualmente una de las enfermedades más extendidas que afectan al ganado lechero (Halasa et al., 2007, Jamali et al., 2018). Aproximadamente el 60-70% de todos los antimicrobianos administrados en las granjas lecheras son para prevenir y tratar la mastitis (Stevens et al., 2016). La mastitis causa una aguda

disminución de la producción de leche y de los ingresos agrícolas (Heikkilä et al., 2012, Sánchez-Macías et al., 2013, 2020, Bezman et al., 2015). La salud pública está potencialmente en riesgo porque la mastitis puede transmitir enfermedades zoonóticas y asociadas con las toxinas de los alimentos (Blum et al., 2008, Zouharova et al., 2008)

La mastitis es la inflamación de la glándula mamaria, la mayoría de las veces se origina por los efectos de infección por agentes patógenos bacterianos o fúngicos originada principalmente por *Staphylococcus aureus*, la cual se trasmite fácilmente al momento del ordeño y coloniza el canal de la teta pero no la piel.

Además de la clasificación basada en el origen de los agentes causantes de mastitis, se pueden dividir en patógenos mayores y menores, según su prevalencia y la gravedad de los síntomas. De acuerdo a Heikkilä et al. (2018) y

Saidani et al. (2018), los principales patógenos que causan mastitis son *E. coli*, *Streptococcus aureus*, y *E. coli*. *S. aureus* también pueden transmitirse a los humanos porque son patógenos zoonóticos (Zi et al., 2018).

La mastitis también se puede clasificar como inflamación intramamaria clínica o subclínica según a los síntomas. La mastitis clínica se caracteriza por un inicio repentino con enrojecimiento e hinchazón de la ubre (Gruet et al., 2001). La leche de un cuarto afectado está alterada, contiene escamas o coágulos y/o tiene un aspecto acuoso. Las vacas pueden estar visiblemente letárgicas, tener poco apetito y, por lo general, tener fiebre. El recuento de las células somáticas es más alto en contraste con los recuentos generalmente normales de menos de 200,000 células/mL (Sharma et al., 2011). La mastitis subclínica, por el contrario, se caracteriza por la falta de signos visibles en la leche o en la ubre (Ruegg, 2006). Sin embargo, se produce una disminución de la producción de leche (aunque no tanto como en los casos clínicos) y un aumento de conteo de células somáticas (Khan and Khan, 2014; Shearer and Harris, 2016).

Como informaron Shearer y Harris (2016) y Seegers et al. (2016), la mastitis subclínica ocurre de 15 a 40 veces más a menudo que la forma clínica, y su duración es más larga. Por lo tanto, la mastitis subclínica es más difícil de detectar, y la infección sirve como reservorio de patógenos que propagan la infección de la ubre entre los animales del hato. La mala higiene, el procedimiento de ordeño precario, máquinas de malas condiciones, úlceras o lesiones en las tetas son factores predisponentes para la enfermedad.

Se puede detectar mediante los signos clínicos, o para los casos subclínicos se recurre a las pruebas que detectan el aumento de leucocitos en la leche (recuento celular somático).

Puede dar un diagnóstico temporal basado en los signos y conocimiento de los microorganismos predominantes en el hato, pero un cultivo es la mejor opción para confirmarlo. En la mastitis por *Staphylococcus* aparecen abscesos de las glándulas afectadas y se diagnostica por la presencia de diarrea leve en las crías, la mastitis caudada por *E. coli* es tipo peraguda, necrosante.

Esta enfermedad se puede prevenir no exponiendo las vacas infectadas con las no infectadas durante el ordeño, ordeñando primero las vacas primíparas que las vacas viejas o las infectadas, dando lavados eficaces de la tetas antes y después del ordeño, esto reduciría la enfermedad hasta un 50% (El-Sayed and Kamel, 2021).

### **2.5.3 Metritis y endometritis**

La metritis puerperal (MP) es una enfermedad infecciosa común en el ganado lechero y la segunda razón más común para el tratamiento de una vaca con antimicrobianos (USDA, 2018). 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 se ha asociado negativamente con el bienestar animal (Barragan et al., 2018; Neave et al., 2018). El costo estimado de MP incluye el uso de antimicrobianos terapéuticos, la leche desechada, la disminución de la producción de leche y la disminución de la eficiencia reproductiva, entre otros (Lima et al., 2019).

Un área actual de controversia relacionada con la MP es la definición de caso para el diagnóstico clínico en la literatura y en las granjas, lo que puede resultar en un diagnóstico erróneo y un tratamiento innecesario de los animales. Un estudio que evaluó las prácticas actuales para el tratamiento de MP en 45 lecherías en California informó una gran variación en los signos clínicos utilizados para el diagnóstico de MP y en la selección del tratamiento antimicrobiano (Espadamala et al., 2018). Esta brecha de información ha resultado en disparidades en la definición, diagnóstico y tratamiento de las vacas afectadas por MP. Los criterios inconsistentes utilizados para diagnosticar MP pueden dar lugar a un uso indebido o excesivo de antimicrobianos en las explotaciones ganaderas y contribuir a la aparición de bacterias resistentes a los antimicrobianos, un área de interés en la que la producción ganadera ha recibido una atención cada vez mayor.

Esta enfermedad uterina, se define como la inflamación superficial del endometrio, comúnmente se presenta a causa de la incidencia de una infección o la involución

uterina (Palmer, 2008), no se desarrolla más allá del estrato esponjoso (Sheldon et al., 2006, 2014). La metritis puerperal se presenta como una secreción vulvar de color marrón rojizo acuoso, fétido, asociada con signos sistémicos y pirexia ( $> 39.5^{\circ} \text{C}$ ) dentro de los 21 días posteriores al parto, mientras que la metritis se presenta como una secreción vulvar purulenta detectada dentro de los 21 días posteriores al parto, pero sin signos sistémicos (Sheldon et al., 2006, Benzaquen et al., 2007).

La endometritis clínica se define como la presencia de secreción uterina purulenta o mucopurulenta detectable en la vagina de bovinos 21 días o más después del parto. El examen de la vagina en busca de secreción purulenta con una mano enguantada limpia es simple, económico y efectivo, con poco riesgo de contaminación microbiana del útero en el ganado lechero (Sheldon et al., 2019). La presencia de pus en la vagina también se puede detectar utilizando un espéculo vaginal o el dispositivo Metricheck compuesto por un diafragma de goma en el extremo de una varilla de acero inoxidable. Un sistema de clasificación de cuatro puntos, basado en la cantidad de pus en el moco vaginal, se usa fácilmente para evaluar la gravedad de la endometritis clínica y es un pronóstico para el resultado del tratamiento.

En la ausencia de cualquier signo clínico, se define endometritis subclínica según la etapa del posparto por la presencia de  $>8\%$  de neutrófilos en muestras citológicas uterinas 21 a 33 días posparto,  $>6\%$  de neutrófilos a los 34-46 días posparto, o  $>4\%$  de neutrófilos después de 48 días posparto (Sheldon et al., 2006; Madoz et al., 2014). La piometra se caracteriza por una acumulación significativa de material purulento en el lumen uterino combinado con un cérvix cerrado y la persistencia de un cuerpo lúteo (Sheldon et al., 2006).

La incidencia global de endometritis en bovinos es muy variable, va desde el 3.4% al 40%, dependiendo sobre el método de diagnóstico (Gilbert et al., 2005). La endometritis afecta negativamente el rendimiento de la industria láctea mundial, las pérdidas económicas están relacionadas con el retraso en la reanudación de la actividad ovárica, aumento en el número de servicios por concepción,

disminución de la producción de leche y costos de tratamiento de la enfermedad (LeBlanc et al., 2008, Cheong et al., 2011).

#### **2.5.4 Retención placentaria**

La retención de placenta es una condición patológica definida como la incapacidad para expulsar las membranas fetales dentro de las 12 a 24 horas posteriores al parto. Representa importantes pérdidas financieras a la industria láctea causando una pérdida económica considerable. Este trastorno reproductivo es multifactorial. Aunque se han propuesto diferentes hipótesis, los resultados son contradictorios y ningún factor único explica el desarrollo de la enfermedad. Esto indica que, en general, existen lagunas significativas en nuestro conocimiento sobre los diversos factores que afectan la etiopatología y la patobiología de la placenta retenida (Amin and Hussein, 2022).

La retención placentaria se presenta cuando el animal tiene dificultades para expulsar las membranas fetales (Sevinga, et al, 2002). El tiempo promedio para la expulsión es alrededor de las 8 horas después del parto, para considerar una retención placentaria, cuando dura de 8 a 12 horas (Cano, 2006). Acompañado de reducción de apetito lo que ocasiona una disminución en la producción de leche hasta de un 55% a un 65% (Pérez et al., 2003).

Algunas de las causas pueden ser la mala nutrición, especialmente cuando las vacas se encuentran en el periodo de secado, enfermedades metabólicas, dificultades al parto, abortos, falta de higiene, etc., lo que conlleva a el aumento de días abiertos (Garcia, et al., 2004; Cano, 2006)

Existen muchos factores causales que están implicados, pero no se sabe a ciencia cierta cuáles de ellos son los principales factores predisponentes para esta enfermedad. Durante el período periparto y en condiciones de inmunosupresión, la proliferación de leucocitos (especialmente linfocitos y neutrófilos) se encuentra severamente deprimida. Entonces, también las funciones fundamentales de estas células, como la capacidad de agregación y fagocitosis de los neutrófilos, la actividad citotóxica de los linfocitos, así como la producción de la citosina quimiotáctica IL-8 que activa estos leucocitos, suelen estar reducidas en este

momento (Kimura et al., 2002). Debido a estos cambios, la respuesta inmunitaria materna normal y eficiente y la expulsión de las membranas fetales se ve afectada, lo que resulta en su retención en las vacas (Kimura et al., 2003).

Durante el parto normal, el reconocimiento inmunológico materno de los antígenos fetales (proteínas MHC de clase I) son expresados por las células trofoblásticas, lo que desencadena una respuesta inmunoinflamatoria, que conduce a la separación y el rechazo efectivos de la placenta fetal (como un tejido extraño, similar a un trasplante alogénico) y contribuye a la expulsión de las membranas fetales dentro de las 12-24 h posteriores al parto (Davies et al., 2004, Davis et al., 2006). Además, durante el estrés periparto, el cortisol también disminuye la capacidad de expresión de las moléculas del complejo mayor de histocompatibilidad (MHC) y la producción de prostaglandinas. Las concentraciones desequilibradas de prostaglandina  $PGF2\alpha$  y prostaciclina se observaron en vacas con RP, en las que los niveles medios de estas hormonas en el plasma sanguíneo periférico fueron significativamente más bajos que en vacas con parto normal (Takagi et al., 2002).

Es complicado predecir, incluso prevenir la retención de membranas fetales, ya que esta ocurre posterior a un proceso de maduración, lo que implica cambios en su estructura y hormonales (Laven y Peters, 1996).

Frecuentemente la retención de placenta es signo clínico de una enfermedad generalizada. Las vacas con partos distócicos retienen membranas fetales de un 90 a 100% (Ortiz et al., 2000).

### **2.5.5 Hipocalcemia**

El problema de la paresis puerperal, comúnmente conocida como fiebre de leche, se ha reconocido desde hace mucho tiempo y se sabe desde hace casi un siglo que es el resultado de la hipocalcemia. Sorprendentemente, la incidencia de la fiebre de la leche no ha aumentado en las últimas décadas a pesar de los aumentos dramáticos en la producción de leche por vaca (Reinhardt et al., 2011).

La hipocalcemia puede ser clínica (fiebre de leche) o subclínica. La incidencia de SCH (por definición, invisible pero medible) es varias veces mayor que la hipocalcemia clínica, que convierte a este último en un trastorno “iceberg”. El calcio bajo en la sangre es un factor de riesgo para la enfermedad posparto (Reinhardt et al., 2011), desempeño reproductivo (Martinez et al., 2012; Caixeta et al., 2017), y dependiendo del momento y duración, puede limitar la producción de leche (McArt y Neves, 2020).

Aun así, persiste la aparición de hipocalcemia subclínica. Debido a que varios procesos fisiológicos clave dependen del Ca, los efectos de la hipocalcemia subclínica tienen efectos sustanciales negativos sobre la salud y la productividad de las vacas lecheras. Los esfuerzos de investigación actuales tienen como objetivo obtener una mejor comprensión de los mecanismos de transporte de Ca y optimizar la homeostasis del Ca a través de la nutrición y el manejo.

Al inicio de la lactancia, la demanda de Ca de la vaca lechera aumenta drásticamente en muy poco tiempo. Horst et al. (2005) estimaron que, en humanos y ratas, las pérdidas diarias de Ca en función del tamaño corporal metabólico ( $\text{peso corporal}^{0.75}$ ) al inicio de la producción de leche (5 mg y 200 mg/kg<sup>0.75</sup>) son menores que al final de la preñez (20 mg y 500 mg/kg<sup>0.75</sup>), mientras que las vacas lecheras se ven desafiadas por un aumento de 80 a 500 mg por kg<sup>0.75</sup>. Incluso si los números exactos dependen de la producción de leche, el contenido de Ca de la leche, el manejo durante el período seco y los primeros días de lactancia, la demanda de Ca de la vaca lechera no disminuye, sino que aumenta sustancialmente al inicio de la lactancia. El papel del Ca en la función muscular tiene implicaciones significativas para el parto y la función gastrointestinal de las vacas periparturientas. El Ca extracelular está involucrado en la excitabilidad de neuronas y células musculares (Han et al., 2015).

Mientras que la hipocalcemia es un factor de riesgo ampliamente aceptado para el posterior desplazamiento de abomaso, cetosis, metritis, placenta retenida, mastitis, sacrificio prematuro y disminución de la producción de leche, afecta a menos del 5% de las vacas posparto y, por lo tanto, no tiene un gran impacto en

el hato, nivel de enfermedad y resultados de producción. La hipocalcemia subclínica, sin embargo, es menos aparente pero mucho más común, lo que crea efectos a nivel del hato sobre la salud y la producción de las vacas. Estudios recientes que utilizan umbrales diagnósticos de Ca total en suero o plasma que van de 2.0 a 2.15 mmol/L a las 24 y 48 h posparto muestran que este trastorno puede afectar hasta el 50% de las vacas posparto (Reinhardt et al., 2011, Martínez et al., 2012).

La hipocalcemia a menudo se conoce como una condición de entrada para resultados de salud indeseables. Concentraciones de Ca en sangre por debajo de varios umbrales son un factor de riesgo para cetosis (Rodríguez et al., 2017), abomaso desplazado (DA; Massey et al., 1993; Chapinal et al., 2011; Rodríguez et al., 2017; Martínez et al., 2018), y trastornos uterinos (Martínez et al., 2012, 2018; Rodríguez et al., 2017). Aunque estas asociaciones se describen en la literatura, la maraña de interacciones entre Los cambios metabólicos periparto y la inflamación hacen el estudiar la relación entre la hipocalcemia, la salud, la producción de leche y desempeño reproductivo, un gran reto.

### **2.5.7 Desplazamiento de abomaso**

Cuando el abomaso cambia de posición normal ya sea a la derecha o a la izquierda en un tiempo corto se le conoce como desplazamiento de abomaso, como este se encuentra suspendido de forma laxa de los epiplones mayor y menor se mueve de su lugar en la parte ventral derecha del abdomen, desplazándose hace un lado. Se puede dar hacia la derecha o izquierda, que se da comúnmente en vacas lecheras, hasta en un 20% en las vacas más viejas (Caixeta et al., 2018). Es particular a las de mayor producción de leche, pero pueden presentarse en toros, terneros y/o pequeños rumiantes (Doll et al., 2009). Las vacas alimentadas con dietas pobres en forraje o aquellas que se alimentan con dietas a base de forraje picado finamente son más susceptibles.

El desplazamiento a la izquierda del abomaso (LDA) es una condición que ocurre principalmente en vacas lecheras posparto de alta producción (Geishauser et al.,

2000). Normalmente el abomaso está situado en la parte ventral del abdomen y está lleno de líquido. El LDA surge cuando el abomaso se agranda, principalmente debido a la distensión del gas y se desplaza mecánicamente de su posición normal hacia el lado izquierdo de la cavidad abdominal, entre el rumen y la pared abdominal lateral izquierda. El rumen generalmente desciende para atrapar el abomaso en esta posición anormal (Fiore et al., 2018). Los factores de riesgo para el desarrollo de LDA incluyen raza, edad y estación (Constable et al., 1992), así como factores nutricionales y de manejo (Cameron et al., 1998). Las vacas lecheras con trastornos periparto como cetosis, distocia, muerte fetal, metritis e hipocalcemia tienen más probabilidades de desarrollar la afección (Rohrbach et al., 1999). Se han desarrollado muchas opciones de tratamiento diferentes para la corrección de la LDA, desde intervenciones dietéticas hasta tratamientos quirúrgicos abiertos y cerrados para reparar el abomaso (Jorritsma et al., 2008).

Su etiología es multifactorial, pero la atonía del abomaso y la producción contribuyen al desplazamiento. Otros factores importantes es la disminución de motilidad del abomaso asociada con la hipocalcemia, las enfermedades intercurrentes (mastitis, metritis y cetosis).

La presencia de sonido timpánico característico, el examen rectal y a patología clínica son maneras de sustentar el diagnóstico del desplazamiento del abomaso, así también como reducción del apetito, menor producción de leche, pérdida de peso y cetosis secundaria.

Para corregir este problema se pueden implementar técnicas cerradas o abiertas, una opción es rotando al paciente un arco de 70° después de haberlo colocado en decúbito lateral derecho, o bien, quirúrgicamente realizando una abomasopexia paramedial derecha, omentopexia por la fosa paralumbar derecha, o abomasopexiapa paralumbar izquierda (González-Martín et al., 2019).

## **2.6 Estrés térmico**

En los últimos años se ha visto afectados los productores de ganado lechero ya que el estrés térmico representa un serio problema para los establos lecheros, ya que los animales reducen el consumo de alimento, y por ende, afecta la cantidad y calidad de la leche, sin dejar a un lado las cuestiones reproductivas, y las económicas (Tao et al., 2020).

El estrés térmico es el resultado de la interacción que hay entre el animal y el medio ambiente (la temperatura ambiente, la humedad relativa, la ventilación y la radiación solar). El índice de temperatura-humedad (ITH), debido a que cuando la temperatura ambiental aumenta ocasiona que el animal pierda el equilibrio biológico entre la generación del calor metabólico y su termorregulación afectando negativamente la salud y productividad (Collier et al., 2019).

Las consecuencias del estrés por calor que sufren los animales son: elevadas temperaturas rectales, cambios en la respiración y frecuencia cardíaca, alteraciones en las cantidades de hematocritos y glóbulos rojos (Cardoso et al., 2015, Fabris et al., 2017), y con estas afecciones las vacas lecheras empiezan a bajar su productividad (Baumgard et al., 2006, Ahmed et al., 2017). Asimismo, sufren cambios considerables en los marcadores de estrés oxidativo, como también experimentan modificaciones a nivel sanguíneo de glucosa, sodio, potasio y cloro (Jeelani et al., 2019).

En época de calor intenso (primavera y verano en el norte de México), es de suma importancia brindar adecuada sombra a los animales, así como ventiladores, aspersores, esto con la finalidad de reducir el estrés por calor, como también hacer cambios en la dieta, que ayude a enfrentar el medio ambiente (Bernabucci et al., 2014; Herbut et al., 2018).

## **2.7 Índice de temperatura-humedad**

Hoy en día se usa el índice de temperatura y humedad (ITH) para evaluar el nivel de confort de los animales y como indicador del bienestar animal (Olivares et al. 2013, Carabaño et al. 2016; Nguyen et al. 2016).

La combinación de la humedad que hay en el medio ambiente y las altas temperaturas son consecuencias del cambio climático al que nos enfrentamos en la actualidad (Estenssoro, 2010; Lemaire et al., 2019). En el ganado lechero provoca en efecto negativo para su salud, repercutiendo directamente en el comportamiento, su producción y su bienestar, y por ello, se usa el ITH como principal indicador para conocer si el animal padece de estrés por calor, donde la vaca no responde adecuadamente con la termorregulación y no hay el equilibrio adecuado y se rebasa su temperatura normal (Cerqueira et al., 2016).

La temperatura y humedad se utilizan como variables meteorológicas y estas ocasionan estrés en el animal que, por ende, se ve afectada la homeostasis y la fisiología del animal (Neri y Briones, 2011), y el menor consumo de alimento, la menor producción de leche y sus problemas reproductivos como consecuencia de éste (Hernández et al. 2007; Ghiano et al., 2014).

Para calcular el ITH, se parte de la temperatura promedio y la humedad relativa, sirviendo como apoyo cuando no se cuenta con datos precisos directos de estrés como lo es la temperatura rectal y frecuencia respiratoria (Misztal, 2017). Varios autores que han estudiado sobre el estrés por calor, concluyen que el ganado lechero es más vulnerable, ya que se eleva el metabolismo en el proceso de la lactancia (Bernabucci et al., 2014, Carabaño et al., 2016, Nguyen et al., 2016).

## **2.8 Sanidad, producción y reproducción**

La Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE) determinó como bienestar animal, a una moderna disciplina, la cual detalla la amplia manera en la que incluye principalmente la sanidad, y a la vez, en como los individuos hacen frente al ambiente en el que se desarrollan, sus reacciones y otros efectos que influyen negativamente en los mecanismos físicos del animal (OIE, 2004).

Se debe tener en cuenta que los problemas sanitarios no solo dependen del animal, sino que también involucra el medio ambiente en que se desenvuelven, el

tipo y sistema de explotación y la zona geográfica en que se explotan (Santiago y Claudio, 2001).

La incidencia y susceptibilidad a ciertas enfermedades es alta en el hato cuando no se lleva a cabo el manejo sanitario adecuado, y por lo tanto, la principal afección para los hatos bovinos es la cuestión económica, debido a que se presentan enfermedades que afectan negativamente el desempeño reproductivo, causando enfermedades zoonóticas y uterinas, tales como leptospirosis y brucelosis, entre muchas otras, con la presentación de abortos, nacimiento de animales débiles y disminución de la eficiencia reproductiva y productiva (Wagner et al., 2001, Llanco, Suárez, Huanca y Rivera, 2017), mastitis, afecciones pódalas, cetosis, endometritis, metritis, etc. (Gernand et al., 2019).

El uso frecuente de medicamentos para el tratamiento de las diferentes enfermedades crea mayores resistencias de virus, bacterias o parásitos (Ministerio del Medio Ambiente, 2013). El control de las enfermedades reproductivas es importante para el mantenimiento de la salud y bienestar de las vacas lecheras (Gilbert, 2016).

## **ANEXO 1**



## Permanence time in the herd and milk production of Holstein cows with up to five successive extended lactations

I. J. Rodríguez-Godina<sup>1</sup> · J. E. García<sup>1</sup> · J. Mellado<sup>1</sup> · J. L. Morales-Cruz<sup>2</sup> · V. Contreras<sup>2</sup> · U. Macías-Cruz<sup>3</sup> · L. Avendaño-Reyes<sup>3</sup> · M. Mellado<sup>1</sup>

Received: 25 August 2020 / Accepted: 20 January 2021

© The Author(s), under exclusive licence to Springer Nature B.V. part of Springer Nature 2021

### Abstract

A total of 1338 high-yielding cows with five lactations from a large well-managed commercial dairy operation in a hot environment of northern Mexico were used to evaluate milk yield and reproductive performance of cows undergoing unplanned extended lactations (EL; > 450 days). The null hypothesis that cumulative milk yield during five consecutive lactations is the same in cows not having unplanned EL and cows with several EL was tested. All EL resulted from cows failing to become pregnant with  $\geq 4$  services. Cows were allocated to 1 of 6 groups according to the number of EL (EL0 for cows with no EL to EL5 for cows with 5 EL). Cumulative milk yield was highest ( $P < 0.01$ ) for EL5 cows (95,499 kg) and lowest for EL0 cows (56,236 kg). Likewise, cumulative days in milk were greatest ( $P < 0.01$ ) in EL5 (2968 days) and lowest in EL0 (1857 days) cows. Mean milk yield per lactation increased linearly with the increase in the number of extended lactations with a maximum of 19,099 kg of milk/lactation for EL5 cows. Mean daily milk yield/productive life was lowest ( $P < 0.01$ ) for EL0 (30.2 kg) and highest for EL5 (32.1 kg). The percentage of days in milk relative to days from birth to the end of the fifth lactation was highest for EL5 (78.1%) and lowest for EL0 (59.6%), with EL2 to EL4 cows intermediate. Length of calving interval was longest ( $P < 0.01$ ) for EL5 (24.7 months) and shortest for EL0 (15.5 months) cows. It was concluded that it is worthwhile maintaining high-yielding cows incapable to conceive before 230 days in milk because they did conceive again and produced considerable amounts of milk during their productive life, which substantially prolonged their permanence time in the herd.

**Keywords** Calving interval · Extended lactation · Lifetime productivity · Milk yield · Services per pregnancy

### Introduction

In intensive dairy operations, standard practice is to impregnate cows before 100 days postpartum to have calving intervals between 12 and 13 months to increase return over feed cost (Dalcq et al. 2018). In zones of intensive and prolonged warm weather, low reproductive efficiency represents a major problem in dairy herds (De Rensis et al. 2017; Wolfenson and Roth 2019) and normally impedes cows to have calving

intervals lower than 13 months. Attempts to maintain a 12–13-month calving interval in cows suffering hyperthermia most of the year lead to high numbers of cows being culled from the herd because of low pregnancy rate (Pinedo et al. 2010). Dairy operations that integrate lactations longer than 10 months may lessen this problem by giving cows more time to get pregnant after calving (Larsson and Berglund 2000). Also, by increasing the calving interval, more milk per lactation would be obtained as high-producing cows still have high-milk yield at 10 months (Chapinal et al. 2014), the typical moment of dry off.

Therefore, unplanned extended lactations (EL) derived from multiples services and consequently delayed pregnancy is used as a part of the herd production approach in intensive dairy herds in zones of intense warm climate (Flores et al. 2019) as heat stress compromises fertilization rate (Sartori et al. 2002; Hackbart et al. 2010) and numerous services are required to get cows pregnant (Mellado et al. 2016). In this poor fertility scenario, extending the calving interval not

✉ M. Mellado  
melladomiguel07@gmail.com

<sup>1</sup> Department of Animal Nutrition, Autonomous Agrarian University Antonio Narro, 25315 Saltillo, Mexico

<sup>2</sup> Department of Veterinary Science, Autonomous Agrarian University Antonio Narro, 27054 Torreon, Mexico

<sup>3</sup> Institute of Agriculture Science, Autonomous University of Baja California, 21705 Mexicali, Mexico

necessarily negatively influences economic returns of the dairy operations (Groenendaal et al. 2004; Inchaisri et al. 2011). On the contrary, extended calving intervals of high-yielding cows could have economic advantages and allows the farmer an option for decisions regarding individual cows (Arbel et al. 2001). Additionally, planned EL in intensive dairy herds may improve herd efficiency, health, longevity, and welfare of cows and herd profitability (Lehmann et al. 2019).

Additional advantages of extended lactations are the reduction of the total number of parturitions in the lifespan of cows, although ideally, total number of parturitions in the cow's life would not be reduced if longevity can be increased by reduced culling rates. Reduction of calvings would overcome metabolic and reproductive disorders occurring in the transition cows (Knight 2005) which decreases the risk of culling, as 50% of production diseases and 30% of involuntary cullings occur in the first 30 days in milk (DIM) (Roemer 2011). Postponing the time to first insemination increases the calving interval, which leads to more days in milk and fewer dry periods, which reduces the health problem of the udder during the dry period and the subsequent lactation (Green et al. 2002).

EL are obtained primarily by a longer voluntary waiting period for first insemination (Niozas et al. 2019). This deliberate delay of rebreeding has been amply tested in both intensive (Lehmann et al. 2016) and pasture-based dairying systems (Auld et al. 2007, 2010). However, to our best knowledge, no studies, except that of Österman and Bertilsson (2003) where two consecutive lactations for cows with 18 months calving interval were monitored, have been conducted to explore the long-term outcome of more than two EL on cows' milk yield. This is basically because studies on extended lactation are time-consuming, and the number of cows for these studies is limited. Therefore, this observational study aimed to analyze the association between the number of unplanned EL and milk yield and reproductive traits, as well as permanence time in the herd of high-milk yielding Holstein cows.

## Material and methods

The Institutional Animal Care and Use Committee of the Autonomous Agrarian University Antonio Narro approved the procedures applied to cows (protocol number 3001-2419).

### Study herd, housing, and feeding

Total lactations available were 19125 and the average herd structure (percentage of cows according to the number of lactations) was 34.0, 27.6, 18.6, 10.3, 7.1, and 2.4 for 1 to  $\geq 6$  lactations, respectively. DIM (mean  $\pm$  SD) for first to fifth

lactations for cows included in the present study were  $366 \pm 108$ ,  $409 \pm 111$ ,  $450 \pm 129$ ,  $479 \pm 142$ , and  $493 \pm 163$ , respectively.

The study included 1338 cows with five complete lactations that calved from January 2013 to December 2019 from an intensive, large well-managed dairy herd (4500 cows) in a hot environment of northern Mexico ( $25^\circ$  N; mean annual temperature  $23.7^\circ$  C, range maximum temperature  $3.4$  to  $42.8^\circ$  C). The following criteria were used for inclusion of cows to the study: (1) none of the lactations starting with an abortion; (2) none of the lactations induced hormonally; (3) all functional quarters during their productive life; (4) all complete lactations  $> 8000$  kg, and (5) cows having five consecutive complete lactations.

Cows were allocated to 1 of 6 groups according to the number of extended lactations (lactations  $\geq 450$  days, range 450 to 1018 days). Cows accumulated 0 (first group) to five (sixth group) extended lactations (EL0 to EL5), all of which occurred in cows failing to conceive with  $\geq 4$  services due to both acute and chronic heat stress ( $\geq 35^\circ$  C daily maximum temperature) and got pregnant after 230 DIM. All these five lactations included a heifer lactation.

Cows were kept in open dirt pens with plenty of shade (about  $3.5$  to  $4.5$  m<sup>2</sup>/cow) including the feed bunk area. Cows were fed a total mixed ration (TMR) based on corn silage, alfalfa hay, and grain concentrate (soybean meal, corn grain, and a mineral premix) in equal portions twice daily at 0800 and 1600 h. The forage: concentrate ratio was 50:50 and this ration met the requirements of fresh Holstein cows weighing 650 kg and producing 38 kg of 3.5% fat-corrected milk (NRC 2001). TMR was subsequently adjusted according to milk production (0–30, 30–150, 150–210, and 210 to  $\geq 305$  DIM). Cows were fed ad libitum with about 5 to 10% feed refusal. The average annual cow-culling rate was  $32 \pm 7\%$  (mean  $\pm$  standard deviation), infertility being (26.3% of all culls) the dominant reason for culling.

A great deal of these culled cows had extended lactations but these cows were not incorporated in the analysis due to this culling. Thus, only profitable animals not to be culled were included in the study.

### Milking management and data collection

Cows were milked 3 times per day (0000, 0800, and 1600 h) and daily milk weights were collected from each cow at every milking using electronic milk meters (Dairy Comp 305; Valley Agricultural Software, Tulare, CA) and this information was stored on the farm computer. The sum of the daily yields provided full lactation yields. The average daily herd milk production was 33.4 kg. Cows were dried off 50 to 75 days before expected parturition or when daily milk yield was less than 22 kg. Outcome variables were total milk yield per lactation, total milk yield during their productive life (interval

between entering the herd as freshening heifers and the time when they completed the fifth lactation, including dry periods), daily milk yield during the productive life, DIM, average daily milk yield during the entire lactation, days from birth to end of the fifth lactation, and calving intervals.

### Reproductive management

Cows were vaccinated against brucellosis at 6 months of age and annually thereafter. Cows were also vaccinated against leptospirosis, bovine viral diarrhoea, infectious bovine rhinotracheitis, bovine respiratory syncytial virus, and parainfluenza. Direct visual observation was used for heat detection aided by tail chalk that was applied on the cow's tail head daily. The voluntary waiting period was 50 days postpartum. Cows were checked for estrus twice daily. Cows in estrus in the morning were inseminated in late afternoon; those in estrus in the afternoon were inseminated the next morning.

Synchronization protocols (Presynch/Ovsynch) were used in cows with multiple services. Services per pregnancy included all inseminations in all cows divided by the number of pregnant cows. Due to a very low conception rate (26.6% for the first service) experienced in these cows, many cows continued to be inseminated beyond 250 days in milk; the range for number of services was 1–15. Cows unable to get pregnant with 15 services were culled. Attainment of a minimum number of services per conception is not feasible in this zone due to chronic and acute environmental heat; therefore, accepting longer intervals from calving to conception is a major item in attaining a cost-effective reproductive program linked to EL.

Pregnancy diagnosis was performed by the herd veterinarians by palpating per rectum the uterus and its contents at 42 to 49 days after insemination. Given that managers may be more likely to continue to inseminate high-yielding cows in estrus far beyond 120 days post-calving and to stop inseminating low-yielding cows sooner after calving (Eicker et al. 1996), a possible bias can be due to variation in maximum allowed time to last service. Therefore, we caution about a potential bias on the calculation of milk yield traits in this study because only subfertile high-producing cows were included in the study. This potential bias was not evaluated in the current study, in which only unplanned extended lactations were included. However, the scenario presented in the present study is a commonplace in dairy operations where the reproductive function of the heat-stressed dairy cows is very low, and therefore, the maintenance of a cost-effective reproductive function in the herd despondently implies to keep high-yielding subfertile cows which leads to involuntary EL.

### Statistical analysis

The outcome of number of EL was evaluated using the MIXED procedure of SAS version 9.4 (SAS Institute Inc.,

Cary, NC, USA) according to a completely randomized design. For this analysis, cow was considered the experimental unit (i.e., subject). The general model used was  $Y_{ij} = \mu + A_i + e_{ij}$ , where  $Y_{ij}$  is the dependent variable,  $\mu$  is the overall mean,  $A_i$  is the influence of the  $i$ th extended lactation number, and  $e_{ij}$  is the random residual error. Days in milk as percentage of days of life were arcsine-transformed before analysis. After limiting the number of services per gestation to pregnant cows, the outcome of group on the number of services per pregnancy was examined by the bivariate Wilcoxon rank-sum test (PROC NPAR1WAY; SAS).

The cumulative probability of cows to remain in milk at different times of lactation was determined using Kaplan-Meier survival curves produced with the Statgraphics Centurion XV statistical software (Statpoint Technologies Inc., Warrenton, VA, USA). The association between total milk yield during the first lactation and total milk yield during the five lactations was assessed using a nonlinear regression analysis with the CurveExpert Professional 2.5.6 software (Hyams Development, Madison, AL). The same procedure was used to assess the association between 305-day milk yield of first-calf heifers and the number of EL. For all statistical analyses, values with  $P < 0.05$  were regarded as statistically significant.

### Results and discussion

There was a strong association ( $r^2 = 0.99$ ; rational model) between the number of cumulative extended lactations of cows and 305-day milk production of first-calf heifers, indicating that, under the conditions of the present study, 305-day milk production of first-calf heifers may be used to predict the number of cumulative extended lactations of subfertile cows.

EL5 cows had 1.6 times more ( $P < 0.01$ ) DIM than EL0 cows and the average age (years) from birth to the end of the fifth lactation was 1.4 times higher ( $P < 0.01$ ) in EL5 than in EL0 (Table 1). Comparison of these results with those obtained in intensive dairy herds with traditional lactations (305 days) are inappropriate, but contrasting these scenarios helps to highlight the marked impact of extended lactations on the permanence time of cows in the herd. Dairy cattle productive life span in intensive systems is between 4.5 to 6 years (De Vries 2020; De Vries and Marcondes 2020). In the present study, despite the excellent reproductive management program used, multiple services per conception ( $5.1 \pm 3.2$ ; mean  $\pm$  SD) were required, but this was not a cause for culling, due to the hyperthermia conditions for most of the year in the study site; therefore, low reproductive efficiency in this herd led to unintentionally extended calving intervals and consequently to EL in many of the cows. Thus, contrary to the current opinion that high reproductive function enhances lifetime of dairy cows (Bell et al. 2010; Martin et al. 2019),

**Table 1** Milk yield traits and mean calving interval of high-yielding Holstein cows with five lactations and experiencing unplanned extended lactations ( $\geq 450$  days)

Variables	Number of extended lactations ( $\geq 450$ days)						SEM*
	0	1	2	3	4	5	
Number of complete lactations	201	443	414	212	62	6	
305-day milk yield as heifers (kg)	9052	9154	9244	9412	9550	9584	292
Cumulative milk (kg/productive life)	56236 <sup>a</sup>	63308 <sup>b</sup>	71077 <sup>c</sup>	80561 <sup>d</sup>	88685 <sup>e</sup>	95499 <sup>f</sup>	7228
Mean milk yield (kg/lactation)	11247 <sup>a</sup>	12661 <sup>b</sup>	14215 <sup>c</sup>	16112 <sup>d</sup>	17737 <sup>e</sup>	19099 <sup>f</sup>	1445
Cumulative days in milk (5 lact)	1857 <sup>a</sup>	2044 <sup>b</sup>	2258 <sup>c</sup>	2525 <sup>d</sup>	2762 <sup>e</sup>	2968 <sup>f</sup>	209
$\bar{x}$ daily yield/productive life (kg)**	30.2 <sup>a</sup>	30.9 <sup>b</sup>	31.4 <sup>c</sup>	31.9 <sup>d</sup>	32.0 <sup>de</sup>	32.1 <sup>e</sup>	0.45
$\bar{x}$ daily yield/day of life (kg)***	21.8 <sup>a</sup>	22.9 <sup>b</sup>	23.8 <sup>c</sup>	24.8 <sup>d</sup>	25.4 <sup>e</sup>	25.9 <sup>f</sup>	0.77
$\bar{x}$ days in milk (% days of prod life)	69.6 <sup>a</sup>	71.4 <sup>b</sup>	73.2 <sup>c</sup>	75.4 <sup>d</sup>	77.0 <sup>e</sup>	78.1 <sup>f</sup>	1.8
$\bar{x}$ years from birth to end 5th lact	7.7 <sup>a</sup>	8.2 <sup>b</sup>	8.8 <sup>c</sup>	9.5 <sup>d</sup>	10.2 <sup>e</sup>	10.8 <sup>f</sup>	0.57
Calving interval (months; $\bar{x}$ 5 lact)	15.5 <sup>a</sup>	17.0 <sup>b</sup>	18.8 <sup>c</sup>	21.0 <sup>d</sup>	23.0 <sup>e</sup>	24.7 <sup>f</sup>	1.76
Services per pregnancy ( $\bar{x}$ 5 lact)	4.6 <sup>a</sup>	6.0 <sup>ab</sup>	7.5 <sup>bc</sup>	7.6 <sup>bc</sup>	8.5 <sup>bc</sup>	9.9 <sup>c</sup>	1.92

Lact, lactations; SEM, standard error of the mean

\*\*Productive life: the number of days from the start of first lactation (freshening heifers) to the end of the fifth lactation

\*\*\*Days of life: the number of days from birth to the end of fifth lactation

<sup>a,b,c,d,e,f</sup> Means in a row with different superscripts differ ( $P < 0.01$ )

reproductive failure in this particular environment was a key component of the long permanence time of cows in the herd.

Given that only cows that completed five lactations were included in this study, understandably, cows with five successive extended lactations had the longest ( $P < 0.01$ ) years of life (Table 1). It is worth indicating that a longer herd life in 5EL does not necessarily mean that five successive EL results in a longer life as culling rate is influenced by management, diseases, herd expansion, accidents, among other reasons. And, more importantly, this does not mean that the farmer can simply extend lactations of other unexceptional cows to increase herd life because this only was possible in a high-yielding subset of animals, and not every cow may be capable of such EL. This increased permanence time in the herd would increase lifetime efficiency, but this advantage probably would be canceled out by the fact that milk yield is a driver of efficiency (milk yield/dry matter intake), and thus, for extended lactations, there are more days with lower-than-average milk production, which could decrease milk efficiency (Kolver et al. 2007). However, cows in late lactation usually receive less concentrate and more roughages or by-products, and the value of milk increases due to higher levels of milk constituents, which can again improve their efficiency. In the present study, it was found a higher milk yield per day of productive life, so a decreased milk efficiency was not documented.

In the present study, length of herd life was over 10 years for EL4 and EL5 cows, which indicates that retaining high-yielding cows unable to get pregnant with various services markedly reduced involuntary culling due to reproductive failure, which increased permanence time in the herd, and

productivity. This management positively affected the efficiency of the herd, not only for the enormous cumulative milk yield of cows but the reduction rearing costs of replacement calves and the fewer number of replacement heifers needed. Furthermore, it allowed cows to achieve their maximum milk yield (fifth lactation; Mellado et al. 2011) and have the highest milk sales minus feed cost (Mißfeldt et al. 2015) and increased the proportion of higher yielding cows in the herd (M'Hamdi et al. 2010).

Mean milk yield per lactation differed ( $P < 0.01$ ) among groups of cows with a steady increase in milk yield with increasing the number of EL (Table 1). It is worth mentioning the potential bias of these data because an increase in milk yield of cows leads to lower fertility (Toledo-Alvarado et al. 2017), and thus, cows with an increased number of extended lactations were those with higher milk yield which is not compatible with good reproductive performance.

Mean daily yield/productive life increased ( $P < 0.01$ ) with increased number of EL, which apparently was due to a high milk persistence from these cows milked three times per day. This response is partially supported by findings of Burgers et al. (2020) who found that effective lactation yield at Dutch farms was greatest in cows with calving intervals from 364 to 531 days, due to increased persistency with extending calving interval in these farms.

The maximum milk yield was reached in EL5 cows and this milk production was nearly two times higher than the 10748 kg obtained annually by cows in intensive dairy farms in the USA (NASS 2020). Thus, five successive EL would represent ten parturitions in the traditional dairy operations

with one calving per year. However, it should be kept in mind that EL may not work for all cows; thus, EL in itself may not be a practical solution for all cows.

In this area with highly intensified production systems, besides the emphasis on reducing the impact of climate conditions, profitability can be improved through increased milk production per cow as a means to improve efficiency of milk yield through dilution of nutritional requirements for maintenance, reduced veterinary costs, and reduced metabolic and reproductive disorders.

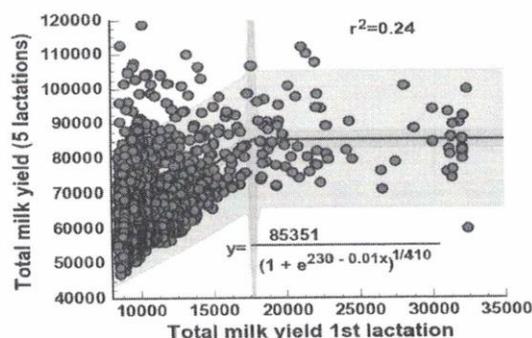
Cumulative milk yield during 5 lactations linearly increased ( $P < 0.01$ ) with the number of EL, with EL5 cows producing 70% more milk than EL0 cows (Table 1). The level of milk production is one of the most important factors affecting the length of productive life. In the present study, cumulative milk yield in cows with  $>2$  EL ranged from 71077 to 95499 kg, which is 2.7 to 4-fold higher than lifetime (milk production in successive full lactations) yield observed in other studies with cows in intensive systems with non-EL (Sawa and Krwzel-Czopek 2009; Curran et al. 2013). These comparisons, however, are not quite fair as cows in the current study were high-yielding cows capable to maintain high milk production far beyond 15 months of lactation. These results were intuitively obvious as increased number of extended lactations increased the cumulative total milk yield. It is worth mentioning the methodological limitations of this study were an expected bias towards a strong milk yield outcome with increasing number of EL; however, the evidence indicates that successive extended lactations were effective even in the existence of these potential biases. A key factor for milk production efficiency is the lifetime milk yield of dairy cows. The higher the lifetime milk yield, the better the economic efficiency per cow because economic efficiency is mostly a result of achieving high milk production and longevity (Martens and Bange 2013). These results have important implications because it was demonstrated that it is possible or even a good practice to keep subfertile cows in the herd, even after many inseminations, because they can still produce high amounts of milk during prolonged lactation periods. Thus, these results might help dairy farmers in hot environments to take better rebreeding decisions as cows are capable of producing large quantities of milk with continuous extended lactations and this is noteworthy for dairy farmers that doubt whether to cull or keep inseminating high-yielding cows.

It is worth noting that data of the current study did not derive from a randomized trial which resulted in unbalanced groups and the exclusive use of subfertile high-milk yielding and therefore could be susceptible to bias compared to randomized studies. Thus, results must be interpreted with caution. However, it was deemed that this study has adequate methodological quality because of the large number of data that reduced confounding factors. Additionally, the strength of

this study is its greater closeness to the challenges and difficulties that modern dairy farmers face.

Calving interval was significantly longer in EL5 cows than EL0 to EL4 (Table 1) and this was a direct consequence of delayed pregnancy in cows. Calving interval traditionally has been used as one of the most reliable measures of reproductive performance and this trait is highly associated with the profitability of dairy herds (Giordano et al. 2011). Twelve to 13 months calving interval have been a general recommendation for maximizing dairy herd profitability (Hansson and Óhlmer 2008; Dono et al. 2013); however, the present study has justified longer calving intervals for subfertile high-producing cows based on increased milk yield per lactation due to the lessened effect of pregnancy on milk yield in cows with excessive days open (Penasa et al. 2016). Other studies have demonstrated that a delay of first insemination post-calving compared to the usual voluntary waiting period of high-yielding cows has economic advantages (Arbel et al. 2001; Lehmann et al. 2016; Stangafarro et al. 2018). Services per pregnancy were affected by number of extended lactations ( $P < 0.01$ ), being lowest for cows with no extended lactations and highest in cows with five successive EL (Table 1).

The association between the total milk yield during the first lactation and cumulative milk yield in five lactations was low (Fig. 1), which was expected because of the extremely variable lactation lengths of cows. These results are not in line with other studies where medium to high correlations (0.45–0.65) between first lactation milk yield and lifetime yield have been found (Jairath et al. 1995; Sawa and Krwzel-Czopek 2009). Thus, the high total milk yield of cows undergoing unplanned EL during the first lactation does not necessarily mean that these cows would have successive EL and consequently higher milk yield during their permanence time in the



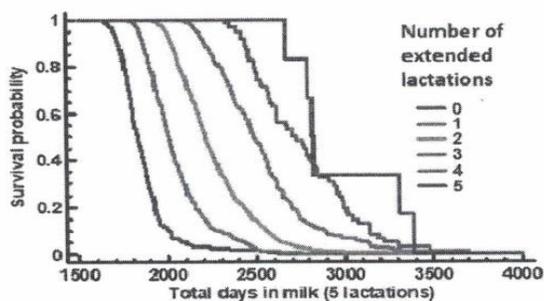
**Fig. 1** Association between total milk yield during the first lactation and cumulative milk yield during five lactations of high-yielding Holstein cows experiencing up to five extended ( $\geq 450$  days) lactations. Lighter bands are 95% confidence intervals for estimated values. Darker bands are 95% confidence intervals for real values

herd. This implies that, with the occurrence of EL, selection on first lactation yield would not be a reliable variable to select for lifetime performance.

Milk production has an important role in the length of productive life. Results shown in Fig. 2 showed that cumulative days in milk among cows with greater number of unplanned EL were greater than cows with fewer EL ( $P < 0.01$ ; Wilcoxon test). Apart from persistence of milk yield, herd life and animal health are key factors to extend the length of productive life. In the present study, the average productive life in cows with five consecutive lactations was about two-fold longer than a high-yielding cow in intensive systems (De Vries and Marcondes 2020). This implies that increasing the calving interval would reduce the portion of the cow's lactation cycle associated with this high-risk period for reproductive and metabolic disorders and would increase productive life and improving profitability by reducing replacement, reproduction, and veterinary costs. These results highlight the potential for altering the days from birth to the end of the fifth lactation of Holstein cows undergoing heat stress through connecting several EL via the delayed effect of pregnancy on persistency of milk yield.

## Conclusion

It was concluded that in hot environments, it is worthwhile maintaining high-yielding Holstein cows incapable to conceive with repeated services because many of them eventually conceive again and produced considerable amounts of milk during their productive life, which minimizes the involuntary culling and substantially prolonged their permanence time in the herd. Furthermore, linking various extending lactations offers greater lifetime productivity (over 10 years) and improved profitability of dairy production, and hopefully the wider social acceptability of intensive dairy systems.



**Fig. 2** Kaplan-Meier survival curves for cumulative days in milk during five lactations of high-yielding Holstein cows experiencing 0 to 5 unplanned extended lactations ( $\geq 450$  days)

**Author contribution** MM and IJR designed and drafted the manuscript. MM and JM carried out the statistical analysis. JEG processed the data. VC and JLM revised the manuscript and reviewed the pertinent literature. UM and LA collected and cured the data. Finally, all authors revised the manuscript and approved the submitted version.

**Funding** This work was financially supported by the Autonomous Agrarian University Antonio Narro (grant 3001-2419).

**Data availability** The data that support the findings of this study are available from the corresponding author, upon reasonable request.

## Declarations

**Ethics approval** Although this was a retrospective study, the Institutional Animal Care and Use Committee of the Autonomous Agrarian University Antonio Narro approved all the procedures applied to cows from which records were obtained.

**Conflict of interests** The authors declare no competing interests.

## References

- Arbel, R., Bigun, Y., Ezra, E., Sturman, H., Hojman, D. 2001. The effect of extended calving intervals in high-yielding lactating cows on milk production and profitability. *Journal of Dairy Science*, 84, 600–608.
- Auldust, M.J., O'Brien, G., Cole, D., Macmillan, K.L., Grainger, C. 2007. Effects of varying lactation length on milk production capacity of cows in pasture-based dairying systems. *Journal of Dairy Science*, 90, 3234–3241.
- Auldust, M.J., Grainger, C., Houlihan, A.V., Mayes, J.J., Williams, R.P.W. 2010. Composition, coagulation properties, and cheesemaking potential of milk from cows undergoing extended lactations in a pasture-based dairying system. *Journal of Dairy Science*, 93, 1401–1411.
- Bell, M.J., Wall, E., Russell, G., Roberts, D.J., Simm, G. 2010. Risk factors for culling in Holstein Friesian dairy cows. *Veterinary Record*, 167, 238–240.
- Burgers, E.E.A., Kok, A., Goselink, R.M.A., Hogeveen, H., Kemp, B., van Knegsel, A.T.M. 2020. Fertility and milk production on commercial dairy farms with customized lactation lengths. *Journal of Dairy Science*, 104, 443–458.
- Chapinal, N., Zobel, G., Painter, K., Leslie, K.E. 2014. Changes in lying behavior after abrupt cessation of milking and regrouping at dry-off in freestall-housed cows: a case study. *Journal of Veterinary Behavior*, 9, 364–369.
- Curran, R.D., Weigel, K. A., Hoffman, P. C., Marshall, J. A., Kuzdas, C. K., Coblenz, W. K. 2013. Relationships between age at first calving; herd management criteria; and lifetime milk, fat, and protein production in Holstein cattle. *Professional Animal Scientist*, 29, 1–9.
- Dalcq, A.C., Beckers, Y., Mayeres, P., Reding, E., Wyzen, B., Colinet, F., Delhez P., Soyeurt, H. 2018. The feeding system impacts relationships between calving interval and economic results of dairy farms. *Animal*, 12, 1662–1671.
- De Rensis, F., Lopez-Gatius, F., Garcia-Ispuerto, I., Morini, G., Scaramuzzi, R.J. 2017. Causes of declining fertility in dairy cows during the warm season. *Theriogenology*, 91, 145–153.
- De Vries, A. 2020. Symposium review: Why revisit dairy cattle productive lifespan? *Journal of Dairy Science*, 103, 3838–3845.
- De Vries, A., Marcondes, M.I. 2020. Review: Overview of factors affecting productive lifespan of dairy cows. *Animal*, 14, 155–164.

- Dono, G., Giraldo, L., Nazzaro, E. 2013. Contribution of the calving interval to dairy farm profitability: results of a cluster analysis of FADN data for a major milk production area in southern Italy. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 114, 857-868.
- Eicker, S.W., Grohn, Y.T., Hertl, J.A. 1996. The association between cumulative milk yield, days open, and days to first breeding in New York Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 79, 235-241.
- Flores, J., García, J.E., Mellado, J., Gaytán, L., De Santiago, A., Mellado, M. 2019. Effect of growth hormone on milk yield and reproductive performance of subfertile Holstein cows during extended lactations. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 17 (1), e0403, <https://doi.org/10.5424/sjar/2019171-13842>
- Giordano J.O., Fricke, P.M., Wiltbank, M.C., Cabrera, V.E. 2011. An economic decision-making support system for selection of reproductive management programs on dairy farms. *Journal of Dairy Science*, 94, 6216-6232.
- Green, M.J., Green, L.E., Medley, G.F., Schukken, Y.H., Bradley, A.J. 2002. Influence of dry period bacterial intramammary infection on clinical mastitis in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 85, 2589-2599.
- Groenendaal, H., Galligan, D.T., Mulder, H.A. 2004. An economic spreadsheet model to determine optimal breeding and replacement decisions for dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 87, 2146-2157.
- Hackbart, K.S., Ferreira, R.M., Dietsche, A.A., Socha, M.T., Shaver, R.D., Wiltbank, M.C., Fricke, P.M. 2010. Effect of dietary organic zinc, manganese, copper, and cobalt supplementation on milk production, follicular growth, embryo quality, and tissue mineral concentrations in dairy cows. *Journal of Animal Science*, 88, 3856-3870.
- Hansson, H., Öhlmér, B. 2008. The effect of operational managerial practices on economic, technical and allocative efficiency at Swedish dairy farms. *Livestock Science* 118 (1-2):34-43
- Inchaisri, C., Jorritsma, R., Vos P.L., van der Weijden, G.C. Hogeveen, H. 2011. Analysis of the economically optimal voluntary waiting period for first insemination. *Journal of Dairy Science*, 94, 3811-3823.
- Jairath, L.K., Hayes, J.F., Cue, R.I. 1995. Correlations between first lactation and lifetime performance traits of Canadian Holsteins. *Journal of Dairy Science*, 78, 438-448.
- Knight, C.H. 2005. Extended lactation: Turning theory into reality. *Advances in Dairy Technology*, 17, 113-124.
- Kolver, E.S., Roche, J.R., Burk, C.R., Kay, J.K., Aspin, P.W. 2007. Extending lactation in pasture-based dairy cows: I. Genotype and diet effect on milk and reproduction. *Journal of Dairy Science*, 90, 5518-5530.
- Larsson, B., Berglund, B. 2000. Reproductive performance of cows with extended calving interval. *Reproduction in Domestic Animals*, 35, 277-280.
- Lehmann, J.O., Fadel, J.G., Mogensen, L., Kristensen, T., Gaillard, C., Kebreab, E. 2016. Effect of calving interval and parity on milk yield per feeding day in Danish commercial dairy herds. *Journal of Dairy Science*, 99, 621-633.
- Lehmann, J.O., Mogensen, L., Kristensen, T. 2019. Extended lactations in dairy production: Economic, productivity and climatic impact at herd, farm and sector level. *Livestock Science*, 220, 100-110.
- M'Hamdi, N., Aloulou, R., Bouallegue, M., Brar, S.K. Hamouda, M.B. 2010. Study on functional longevity of Tunisian Holstein dairy cattle using a Weibull proportional hazard model. *Livestock Science*, 132, 173-176.
- Martens, H., Bange, C. 2013: Longevity of high producing dairy cows: a case study. *Lohmann Information*, 48, 53-57.
- Martin, O., Blavy, P., Derks, M., Friggens, N.C., Blanc, F. 2019. Coupling a reproductive function model to a productive function model to simulate lifetime performance in dairy cows. *Animal*, 13, 570-579.
- Mellado, M., Antonio-Chirino, E., Meza-Herrera, C., Veliz, F.G., Arevalo, J.R., Mellado, J., de Santiago, A. 2011. Effect of lactation number, year, and season of initiation of lactation on milk yield of cows hormonally induced into lactation and treated with recombinant bovine somatotropin. *Journal of Dairy Science*, 94, 4524-4530.
- Mellado, M., Flores, J.M., de Santiago, A., Veliz, F.G., Macías-Cruz, U., Avendaño-Reyes, L., García, J.E. 2016. Extended lactation in high-yielding Holstein cows: Characterization of milk yield and risk factors for lactations >450 days. *Livestock Science*, 189, 50-55.
- Mißfeldt, F., Mißfeldt, R., Kuwan, K. 2015. Economic lifetime of milk cows. *Zuchtungskunde*, 87, 120-143.
- National Agricultural Statistics Service (NASS). 2020. Agricultural Statistics Board, United States Department of Agriculture USDA. <https://downloads.usda.library.cornell.edu/usda-esmis/files/h989r321c/z603rf49q/b2774d05q/mkpr0220.pdf>. Retrieved May 25, 2020.
- National Research Council (NRC). 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. National Academies Press: Washington, D.C., USA
- Niozas, G., Tsousis, G., Steinhöfel, I., Brozos, C., Römer, A., Wiedemann, S., Bollwein, H., Kaske, M. 2019. Extended lactation in high-yielding dairy cows. I. Effects on reproductive measurements. *Journal of Dairy Science*, 102, 799-810.
- Österman, S., Bertilsson, J. 2003. Extended calving interval in combination with milking two or three times per day: Effects on milk production and milk composition. *Livestock Production Science*, 82, 139-149.
- Penasa, M., De Marchi, M., Cassandro, M. 2016. Short communication: Effects of pregnancy on milk yield, composition traits, and coagulation properties of Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 99, 4864-4869.
- Pinedo, P.J., De Vries, A., Webb, D.W. 2010. Dynamics of culling risk with disposal codes reported by Dairy Herd Improvement dairy herds. *Journal of Dairy Science*, 93, 2250-2261.
- Roemer, A. 2011. Investigations on longevity in German Holstein cows. *Zuchtungskunde*, 83, 8-20.
- Sartori, R., Sartori-Bergfeldt, R., Mertens, S.A., Guenther, J.N., Parrish, J.J., Wiltbank, M.C. 2002. Fertilization and early embryonic development in heifers and lactating cows in summer and lactating and dry cows in winter. *Journal of Dairy Science*, 85, 2803-2812.
- Sawa, A., Krwzel-Czopek, S. 2009. Effect of first lactation milk yield on efficiency of cows in herds with different production levels. *Archiv für Tierzucht*, 52, 7-14.
- Stangaferro, M.L., Wijma, R., Masello, M., Thomas, M.J., Giordano, J.O. 2018. Economic performance of lactating dairy cows submitted for first service timed artificial insemination after a voluntary waiting period of 60 or 88 days. *Journal of Dairy Science*, 101, 7500-7516.
- Toledo-Alvarado, H., Cecchinato, A., Bittante, G. 2017. Fertility traits of Holstein, Brown Swiss, Simmental, and Alpine Grey cows are differently affected by herd productivity and milk yield of individual cows. *Journal of Dairy Science*, 100, 8220-8231.
- Wolfenson, D., Roth, Z. 2019. Impact of heat stress on cow reproduction and fertility. *Animal Frontiers*. 91 <https://doi.org/10.1093/af/vfy027>.

## ANEXO 2

### **Effect of heat stress during the dry period on milk yield and reproductive performance of Holstein cows**

Iris J. Rodríguez-Godina<sup>a</sup>, José E. García<sup>a</sup>, Juan L. Morales<sup>b</sup>, Viridiana Contreras<sup>b</sup>, Francisco G. Véliz<sup>b</sup>, Ulises Macías-Cruz<sup>c</sup>, Leonel Avendaño-Reyes<sup>c</sup>, Miguel Mellado<sup>a\*</sup>

<sup>a</sup>Department of Animal Nutrition, Autonomous Agrarian University, Antonio Narro, 25315 Saltillo, Mexico

<sup>b</sup>Department of Veterinary Science, Autonomous Agrarian University, Antonio Narro, 27054 Torreon, Mexico

<sup>c</sup>Institute of Agriculture Science, Autonomous University of Baja California, 21705 Mexicali, Mexico

\* Corresponding author. Department of Animal Nutrition, Autonomous Agrarian University, Antonio Narro, Saltillo, Mexico.

*E-mail address:* melladomiguel07@gmail.com|

#### **ABSTRACT**

The objective of this study was to determine the influence of heat stress during the dry period on milk yield and reproductive performance of Holstein cows in a hot environment. Breeding and milk production records of cows, as well as meteorological data between 2017 and 2020

from a commercial dairy herd (n=12102 lactations), were used to determine the relationship between climatic conditions during the dry period [average of the temperature-humidity index (THI) at the beginning, middle, and end of the dry period] and reproductive efficiency and milk yield traits. THI was divided into >70 (no heat stress), 70-80 (moderate heat stress), and >80 (severe heat stress). First-service pregnancy rate of cows decreased ( $P < 0.05$ ) with increasing hyperthermia during the dry period (8.9, 10.5, and 5.0% for THI >70, 70-80, and >80, respectively). All-services pregnancy rate was highest ( $P < 0.05$ ) for cows not undergoing heat stress during the dry period (61.6%) and lowest (46.7%) for cows with severe heat stress during the dry period. Cows not suffering heat stress during the dry period required a mean  $\pm$  SD of  $4.4 \pm 2.8$  services per pregnancy compared with  $5.9 \pm 3.9$  ( $P < 0.05$ ) for cows subjected to THI >80 during the dry period. Cows not suffering heat stress during the dry period produced more ( $P < 0.05$ ) 305-d milk ( $10986 \pm 1200$  kg) than cows subjected to moderate ( $10880 \pm 1218$  kg) or severe ( $10757 \pm 1269$  kg) heat stress during the dry period. Total milk yield did not differ ( $P > 0.10$ ) between cows not undergoing heat stress ( $13449 \pm 3472$  kg) and cows subjected to severe heat stress during the dry period ( $13536 \pm 3575$  kg). It was concluded that environmental management of dry cows during hot months is warranted to maximize reproductive performance and milk yield.

*Keywords:* hyperthermia; pregnancy rate; services per pregnancy; extended lactations; 305-d milk production

## 1. Introduction

Heat stress constitutes one of the most significant factors limiting milk production (Liu et al., 2019) and reproductive performance (Sammad et al., 2020) in high-yielding dairy cows. Thus, heat abatement mechanisms, such as water soaker, shade, and, fans are effective approaches to reduce the negative effect of heat stress. These cooling systems should be employed in intensive dairy operations where high ambient temperature causes a reduction in milk yield and reproductive efficiency and impair animal welfare.

Hyperthermia in late gestation is critical for the production cycle of dairy cattle. Cows exposed to heat stress in the dry period have diminished mammary development in the subsequent lactation (Tao et al., 2011), present less secretory activity and productivity in the subsequent lactation (Fabris et al., 2020) and consequently produce less milk (from 3 to 4.1 kg/d less) than cows not exposed to heat stress during the entire dry period (Karimi et al., 2015; Fabris et al., 2019).

Autophagy increases during involution when dry cows are exposed to cooling systems relative to cows subjected to heat stress (Wohlgemuth et al., 2016). This seems to alter mammary cell proliferation when mammary gland involution ends (Tao et al., 2011; Wohlgemuth et al., 2016). An additional detrimental effect of heat stress during the dry period is the reduction of feed intake of cows (Adin et al., 2009; Karimi et al., 2015), which leads to lower body weight gain in late gestation than those animals under heat stress abatement equipment (do Amaral et al., 2009, 2011).

Additionally, heat stress during the dry period compromises immune function in the transition period (do Amaral et al., 2011) and reduces birth weight of calves (Reyes et al., 2007; López et al., 2018) due to compromised placental and fetal growth (Tao and Dahl 2013). Late gestation heat stress also diminishes the stature of calves at weaning and weight and height at 12 ~~mo~~ of age (Dahl et al., 2016). Also, heat stress during the last months of

pregnancy compromises newborn calves' immune function and decreases hematocrit values and total plasma protein concentration (Tao et al., 2012, 2014; Monteiro et al., 2014).

Most intensive dairy operations in hot areas of northern Mexico provide fans alone or sprinkler and fans cooling systems for the lactating herd. At the same time, dry cows are oversighted, and dairy facilities provide no cooling systems for them. These cows usually cannot dissipate enough metabolically produced or absorbed heat, and consequently, thermal balance cannot be preserved (Bernabucci et al., 2014). Therefore, there is a gap regarding lessening the effects of heat stress during the dry period in high-yielding dairy cows and the well-being of dry cows in hot environments. We hypothesized that heat stress during the dry period hampers subsequent milk yield and reproductive performance of high milk-yielding cows. The objective of this study was to determine the influence of heat stress during the dry period on milk yield traits and reproductive performance of Holstein cows in a hot environment.

## **2. Material and methods**

### *2.1 Study site, dairy facility, and feeding*

The study was carried out in a single commercial dairy farm (~ 3000 lactating cows) in northern Mexico (25° N and 103° W) at an altitude of 1140 m above sea level, an average annual temperature of 23.9 °C, and an annual rainfall of 230 mm. During the study period (2016-2021), the maximum and minimum ambient temperature was 42.6 and 2.1 °C, respectively (THI range 69.6 to 87.5). A total of 12102 complete lactation records of Holstein cows were used. Cows were kept in dry lots (open, dirt-based pens), with plenty of shade in

the corrals and feed bunk area. Shades in the feed allies were equipped with fans and sprinklers, which turned on when the environmental temperature exceeded 25 °C.

Cows were fed a total mixed ration, twice daily after refusals of the previous feeding were removed, formulated using the NRC (2001) recommendations to fulfill the dietary requirements for a lactating cow weighing 680 kg and producing 45 kg of 3.5% fat with a feed intake (dry matter) of 25 kg/d. Water was provided at libitum.

## 2.2 Reproductive and health management

All cows were yearly vaccinated bovine viral diarrhea (BVD), infectious bovine rhinotracheitis, bovine respiratory syncytial virus, parainfluenza-3, and five *Leptospira* serovars (CattleMaster Gold FP5®, Zoetis, Mexico DF, Mexico). Also, all cows were vaccinated against brucellosis (strain RB51; BRUCEL®, PISA laboratories, Santa Catarina, Mexico; live attenuated vaccine strains of *Brucella abortus*) at six months of age and annually thereafter. In addition, at dry-off, cows were vaccinated against *Clostridium chauvoei*, *C. septicum*, *C. novyi*, *C. tetani*, *C. haemolyticum*, *C. sordelli*, and *C. perfringens* (4 types) (COVEXIN® 10, MSD Salud Animal, CDMX, Mexico).

The herd veterinary routinely examined fresh cows few days after parturition to identify and treat cows with postpartum reproductive disorders, such as retained placenta and metritis. Artificial insemination began at the estrus exhibited after 50 d postpartum. Cows were observed for standing estrus twice a day and were inseminated following the AM-PM rule using frozen semen from 52 different bulls from semen-producing companies of USA. All inseminated cows were examined for pregnancy by rectal palpation at  $45 \pm 3$  days after the last AI.

### *2.3 Milking management and milk recording*

Cows were dried off around 60 days before expected calving with abrupt termination of milking and intramammary infusion of 200 mg cephalexin monohydrate, 340 mg neomycin sulfate, and 500 mg cloxacillin benzathine (Cefa-Sec® Agrovvet Market, Tlaquepaque, Mexico) for all quarters. Cows were milked 3 times daily, and milk yields were measured and recorded automatically for individual cows for each milking. Milking was performed in a conventional herringbone milking parlor system (vacuum level 44 kPa, pulsation rate 60 cycles/min, and pulsation ratio 65:35). The average ( $\pm$  SD) daily milk yield for the enrolled cows during the study period was  $33.1 \pm 3.2$  kg/d.

### *2.4 Statistical analyses*

The data were edited and checked for biological plausibility (e.g., lactations starting with abortion or induced hormonally were deleted; 305-d lactations <9000 kg or lactations from cows with dry period <40 days were removed). The outcome of milk traits variables was analyzed using the GLM procedure of SAS version 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) according to a completely randomized design. Cow was the experimental unit, and body condition score at calving and parity were included in the model as covariates. The PDIF option of SAS was used to compare the means of groups.

The GENMOD procedure of SAS was used to assess the effect of no heat stress, moderate or severe heat stress during the dry period on first-service pregnancy rate and all-services pregnancy rate, and percentage of extended lactations. Body condition score and parity were

included as a covariate in the model to adjust pregnancy outcome. Least squares means were estimated and compared using the PDIF option of SAS when fixed effects were significant.

Time to pregnancy was modeled using a semiparametric proportional hazards model (PROC PHREG of SAS). After limiting the number of services per pregnancy to gestating cows, the outcome of group of cows on the number of services per pregnancy was analyzed by the bivariate Wilcoxon rank-sum test (PROC NPAR1WAY of SAS). The cumulative probability of cows remaining in milk during the lactation was determined using Kaplan-Meier survival curves calculated with the Statgraphics Centurion XV statistical software (Statpoint Technologies Inc., Warrenton, VA, USA). The association between 305-d milk yield and various THI values was assessed using a nonlinear regression analysis with the CurveExpert Professional 2.5.6 software (Hyams Development, Madison, AL). The same procedure was used to assess the association between pregnancy rate and a range of THI values. For all statistical analyses, values with  $P < 0.05$  were regarded as statistically significant.

### **3. Results**

#### *3.1 Milk production*

Table 1 depicts milk traits of cows subjected to no heat stress, moderate or severe heat stress during the dry period. Cows suffering severe heat stress during the dry period had 15 more ( $P < 0.05$ ) days in milk than cows undergoing moderate or no heat stress during the dry period. Cows not suffering heat stress during the dry period produced 229 kg more 305-d milk ( $P < 0.05$ ) compared to cows undergoing severe heat stress during the dry period.

Regarding total milk yield, no differences existed between cows with no heat stress and those subjected to severe heat stress during the dry period. However, cows not suffering heat stress during the dry period had increased ( $P < 0.05$ ) total milk yield compared with cows with moderate heat stress during the dry period.

Cows exposed to heat stress during the dry period had a slight but significant ( $P < 0.05$ ) reduction in peak milk yield compared with non-stressed cows. *Days at peak milk yield increased linearly with increasing THI values during the dry period ( $P < 0.05$ )*. Both 305-d and total lactation persistence were lower ( $P < 0.05$ ) in cows with severe heat stress during the dry period than cows not suffering heat stress during the dry period. Percentage of cows with extended lactations ( $> 450$  days) was 7 percentage points higher ( $P < 0.05$ ) in cows undergoing severe heat stress during the dry period than cows with moderate or no heat stress. The decline in 305-d milk yield was relatively constant from average THI  $<70$  to  $>85$  during the dry period and presented an almost linear decrease with increasing THI (Figure 1).

### 3.2 Reproductive performance

Severe heat stress during the dry period drastically reduced ( $P < 0.05$ ) first service conception rates. This variable was reduced 50% in cows suffering heat stress during the dry period compared with cows suffering moderate heat stress during this period (Table 2). Likewise, all-services conception rate was 15 percentage points higher ( $P < 0.05$ ) in non-stressed cows than severely heat-stressed cows during the dry period. The nonlinear association between the increase in the average THI during the dry period and the decrease in pregnancy rate is presented in Figure 2. Beyond THI 76-79 during the dry period, pregnancy rate sharply declined. The mean services per pregnancy was significantly different

( $P < 0.05$ ) between groups of cows, with 1.5 more services in cows undergoing severe heat stress during the dry period compared with cows not suffering heat stress during the dry period (Table 2). Based on Kaplan-Meier survival analysis (Figure 3), median days open for cows non experiencing heat stress during the dry period was shorter ( $P < 0.05$ ; Cox-Mantel test) compared with cows experiencing moderate or severe heat stress during the non-lactating period of cows.

## 4. Discussion

### 4.1 Milk production

Consistent with other studies with adult cows (Fabris et al., 2017, 2019; Orellana Rivas et al., 2021) and nulliparous heifers (Davidson et al., 2021), results from this study have shown that milk yield of cows suffering heat stress during the dry period is reduced in the subsequent lactation. It must be noted, however, that the reduction in milk yield in the current experiment was not as severe as that observed in previous experiments in humid subtropical environments (do Amaral et al., 2009; Fabris et al., 2017). Experimental and ambient differences might explain the smaller milk-yield response in the current study relative to earlier reports. THI in previous studies was not as high as the one registered in the present study. In the present study, all cows were not cooled during the dry period, and milk yield was recorded during the entire lactation. In previous studies, a group of cows was cooled during the dry period, and milk yield was recorded for a maximum of 280 days (Do Amaral et al., 2009; Fabris et al., 2017, 2019; Dado-Senn et al., 2019). Cows in the present study

may have developed some acclimation adjustments to heat stress during the dry period (Collier et al., 2019).

One consequence of hyperthermia during the dry period is the reduction of feed intake (Fabris et al., 2019), which is a compensatory response by the cow under heat stress conditions, to her inability to dissipate the heat increment of metabolism and digestion (Lees et al., 2019). This reduction in feed intake diminishes body weight compared with cows subjected to prepartum evaporative cooling (Fabris et al., 2019), although changes in BCS have been inconsistent (Tao et al., 2011; Thompson et al., 2014; Fabris et al., 2017). Also, as ambient heat load increases, cows divert energy available for growth towards maintaining homeostasis (Lees et al., 2019). Additionally, hyperthermia is associated with an increase in maintenance energy requirements (Becker et al., 2020), which is related to higher energy costs for dissipating accumulated heat load (Wheelock et al., 2010), and this response is more pronounced in high producing cows than low yielding cows (Yan et al., 2021). All these events could impede cows from building enough body energy reserves to adequately face the transition into lactation and mobilize enough body fat reserves to provide energy for milk synthesis.

An additional explanation for milk yield reduction in cows suffering heat stress during the dry period is the hampering of the replenishment of new mammary cells before parturition to replace senescent mammary epithelial cells (Tao et al., 2011), and reduction in alveoli number and an increase in connective tissue (Dado-Senn et al., 2019). This occurs due to down-regulated expression of various genes related to autophagy and apoptosis (Ouellet et al., 2021), which leads to a lower proportion of mammary epithelial cells, stromal, and total cell apoptosis and development (Fabris et al., 2020), diminished expression of microtubule-associated protein light chain 3 (Wohlgemuth et al., 2016), and decreased blood prolactin

and estrogen concentrations in dry cows suffering heat stress (Ouellet et al., 2021). Other changes induced by hyperthermia in the mammary gland cells are the fragmentation of mitochondria and the decreased of ATP level, membrane potential, and anti-oxidant enzyme activity, and the increase of respiratory chain complex I activity (Chen et al., 2020).

These hormonal and mammary tissue alterations seem to disturb mammary gland remodeling during the dry period, causing the observed reduced milk production during the subsequent lactation of heat-stressed cows during the dry period. An additional cause for the reduction in milk yield production in heat-stressed cows during the dry period is the carry-over effects of late-gestational heat hyperthermia on reduced udder health as hyperthermia negatively alters the normal physiological functions of the cow, which result in a higher incidence of intramammary infections during hot weather (Nasr and El-Tarabany, 2017) and spreading of mastitis-causing pathogens (Hamel et al., 2021). These problems are exacerbated by the weakened immune systems of cows suffering heat stress (Bagath et al., 2019).

#### *4.2 Reproductive performance*

There was a time-lagged heat stress effect on fertility of cows in the current study. Median days to pregnancy were 152 to 166 for cows not suffering or suffering heat stress during the dry period; thus, climatic conditions in late gestation were still manifested several months after calving. However, both pregnancy rate at first service and all services was drastically reduced in cows suffering severe hyperthermia during the dry period. The underlying processes by which hyperthermia hampers pregnancy rate are multifactorial. Some of these effects directly affect the hypothalamus, anterior pituitary, follicle, oocyte, and embryo. In

contrast, other effects are indirect and associated with changes in the metabolic axis linked to reducing feed intake (Bragança and Zangirolamo, 2018).

One of the main mechanisms involved in the adverse effects of prenatal heat stress on reproduction is reduced nutrient ingestion (Chang-Fung-Martel et al., 2021), derived from a physiological strategy to decrease metabolic heat production (Renaudeau et al., 2012), which in turn can prolong negative energy balance after calving (Wheelock et al., 2010). This reduction in nutrient ingestion driven by hyperthermia can cause significant body energy reserves losses (Polsky and von Keyserlingk, 2017), which ultimately hampers the cow's ability to get pregnant. Also, the reduction of feed intake and the extension of the negative energy balance decrease plasma insulin, glucose, and IGF-I concentrations and LH surge profile and increases blood growth hormone concentration and non-esterified fatty acids.

This alteration in metabolic hormones negatively influences the hypothalamic-pituitary axis and the ovaries, negatively affecting fertility (Armengol-Gelonch et al., 2017; Wolfenson and Roth, 2019). Additional negative consequences of low feed intake due to heat stress in the dry period is the occurrence of metabolic disorders such as fatty liver, displaced abomasum, and ketosis in the first months of lactation (Sammad et al., 2020), which impede cows to become pregnant (Bisinotto et al., 2012; Shin et al., 2015). Additional causes of reduced fertility in heat-stressed cows during the dry period are the increased incidence of retained placenta (Nobre et al., 2012; Gernand et al., 2019) and susceptibility to infection associated with hyperthermia (Tao and Dahl, 2013).

Another major reason for the adverse long-term effect of heat stress on pregnancy rate is the alteration of follicular growth dynamics in cows and the reduced quality of oocytes (Roth, 2018). In cattle, follicles are susceptible to heat stress at all growing stages, including the primary and the secondary follicles (de Aguiar et al., 2020); therefore, the growth phase of

oocytes is critical not only for final follicle maturation and ovulation but successful fertilization and embryonic development (Sammad et al., 2020).

Even though cows may no longer be subjected to hyperthermia, a decreased estradiol concentration in the follicular fluid of the preovulatory follicle has been registered at the end of the summer, autumn, and even early winter, which demonstrate the carryover effect of heat stress on the ovarian follicles (Roth, 2008). Adverse effects of low estradiol production might lead to reduced estrus behavior duration and intensity and failure to initiate an LH surge (Dobson et al., 2008); which, in turn, might impair events associated with ovulation, development of ovarian cysts, and alteration of corpus luteum functioning, associated with reduced progesterone production (Nanas et al., 2021), and eventually embryo mortality (Sammad et al., 2020).

Services per pregnancy were higher among cows that had experienced moderate or severe heat stress during the dry period. Given that the dairy operation had good reproductive management practices, failure of cows to become pregnant with various services was due to the altered physiology of cows suffering heat stress before calving. The higher number of services per pregnancy in heat-stressed cows resulted in an additional 16 days open and a higher proportion of cows with lactations >450 days. Services per pregnancy and days open in the current study are very high relative to intensive dairy farming standards. Still, these values are common in the study area (Mellado et al., 2014) due to hyperthermia for most of the year.

## **5. Conclusions**

These data indicate that heat stress during the dry period has profound residual adverse effects on the subsequent lactational performance and reproductive performance of high milk-yielding Holstein cows in a hot environment. These findings highlight the importance of heat stress abatement mechanisms for dry cows in hot climates to improve dry cow performance.

#### **Declaration of competing interest**

The authors declare that they have no conflict of interest

#### **Ethics statement**

The Autonomous Agrarian University Antonio Narro Institutional Animal Care and Use Committee approved all actions connected with cows used for this study (protocol number 3001-2114).

#### **Credit authorship contribution statement**

Data acquisition: I.J. Rodríguez-Godina, V. Contreras. Study design and drafted the manuscript: M. Mellado, F.G. Véliz. Analyzed the results: J.L. Morales, M. Mellado. Revised the manuscript and reviewed the pertinent literature: I.J. Rodríguez-Godina, U. Macías-Cruz, J.E. García, L. Avendaño-Reyes. All authors read and approved the final version of the manuscript.

### Funding information

This work was supported by a grant from Autonomous Agrarian University Antonio Narro (research project 3001-2419).

### References

- Adin, G., Gelman, A., Solomon, R., Flamenbaum, I., Nikbachat, M., Yosef, E., Zenou, A., Shamay, A., Feuermann, Y., Mabjeesh, S.J., Miron J., 2009. Effects of cooling dry cows under heat load conditions on mammary gland enzymatic activity, intake of food water, and performance during the dry period and after parturition. *Livest. Sci.* 124, 189–195.
- Armengol-Gelonch, R., Mallo, J.M., Ponté, D., Jimenez, A., Valenza, A., Souza, A.H., 2017. Impact of phase of the estrous cycle and season on LH surge profile and fertility in dairy cows treated with different GnRH analogs (gonadorelin vs. buserelin). *Theriogenology* 91, 121-126.
- 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.
- Becker, C.A., Collier, R.J., Stone, A.E., 2020. Invited review: physiological and behavioral effects of heat stress in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 103, 6751–6770.
- Bernabucci, U., Biffani, S., Buggiotti, L., Vitali, A., Lacetera, N., Nardone, A., 2014. The effects of heat stress in Italian Holstein dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 97, 471-486.

- Bisinotto, R.S., Greco, L.F., Ribeiro, E.S., Martinez, N., Lima, F.S., Staples, C.R., Thatcher, W.W., Santos, J.E.P. 2012. Influences of nutrition and metabolism on fertility of dairy cows. *Anim. Reprod.* 9, 260-272.
- Bragança, L.G., Zangiacomo, A.F., 2018. Strategies for increasing fertility in high productivity dairy herds. *Anim. Reprod.* 15, 256-260.
- Chang-Fung-Martel, J., Harrison, M.T., Brown, J.N., Rawnsley, R., Smith, A.P. Meinke, H., 2021. Negative relationship between dry matter intake and the temperature-humidity index with increasing heat stress in cattle: a global meta-analysis. *Int. J. Biometeorol.* 65, 2099–2109.
- Chen, K.L., Wang, H.L., Jiang, L.Z., Qian, Y., Yang, C.X., Chang, W.W., Zhong, J.F., Xing, G.D., 2020. Heat stress induces apoptosis through disruption of dynamic mitochondrial networks in dairy cow mammary epithelial cells. *In Vitro Cell. Dev. Biol. Animal* 56, 322-331.
- Collier, R.J., Baumgard, L.H., Zimelman, R.B., Xiao, Y., 2019. Heat stress: Physiology of acclimation and adaptation. *Anim. Front.* 9, 12-19.
- Dado-Senn, B., Skibieli, A.L., Fabris, T.F., Dahl, G.E., Laporta, J., 2019. Dry period heat stress induces microstructural changes in the lactating mammary gland. *PLOS ONE*, 14(9), e0222120.
- Dahl, G.E., Tao, S., Monteiro, A.P., 2016. Effects of late-gestation heat stress on immunity and performance of calves. *J. Dairy Sci.* 99, 3193-3198.
- Davidson, B.D., Dado-Senn, B., Padilla, N.R., Fabris, T.F., Casarotto, L.T., Ouellet, V., Toledo, I.M., Dahl, G.E., Laporta, J., 2021. Late-gestation heat stress abatement in dairy heifers promotes thermoregulation and improves productivity. *J. Dairy Sci.* 104, 2357-2368.

- de Aguiar, L.H., Hyde, K.A., Pedroza, G.H., Denicol, A.C., 2020. Heat stress impairs in vitro development of preantral follicles of cattle. *Anim. Reprod. Sci.* 213, 106277.
- do Amaral, B.C., Connor, E.E., Tao, S., Haven, M.J., Bubolz, J.W., Dahl, G.E., 2009. Heat-stress abatement during the dry period: Does cooling improve transition into lactation? *J. Dairy Sci.* 92, 5988–5999.
- do Amaral, B.C., Connor, E.E., Tao, S., Haven, M.J., Bubolz, J.W., Dahl, G.E., 2011. Heat stress abatement during the dry period influences metabolic gene expression and improves immune status in the transition period of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 94, 86–96.
- Dobson, H., Walker, S.L., Morris, M.J., Routly, J.E., Smith, R.F., 2008. Why is it getting more difficult to successfully artificially inseminate dairy cows? *Animal* 2, 1104-1111.
- Fabris, T.F., Laporta, J., Corra, F.N., Torres, Y.M., Kirk, D.J., McLean, D.J., Chapman J.D., Dahl, G.E., 2017. Effect of nutritional immune-modulation and heat stress during the dry period on subsequent performance of cows. *J. Dairy Sci.* 100, 6733–6742.
- Fabris, T.F., Laporta, J., Skibiel, A.L., Corra, F.N., Senn, B.D., Wohlgemuth, S.E., Dahl, G.E., 2019. Effect of heat stress during early, late, and entire dry period on dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 102, 5647-5656.
- Fabris, T.F., Laporta, J., Skibiel, A.L., Dado-Senn, B., Wohlgemuth, S.E., Dahl, G.E., 2020. Effect of heat stress during the early and late dry period on mammary gland development of Holstein dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 103, 8576-8586.
- 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.* 102, 6660-6671.

- Hamel, J., Zhang, Y., Wente, N., Krömker, V., 2021. Heat stress and cow factors affect bacteria shedding pattern from naturally infected mammary gland quarters in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 104, 786-794.
- Kadzere, C.T., Murphy, M.R., Silanikove, N., Maltz, E., 2002. Heat stress in lactating dairy cows: A review. *Livest. Prod. Sci.* 77, 59–91.
- Karimi, M.T., Ghorbani, G.R., Kargar, S., Drackley, J.K., 2015. Late-gestation heat stress abatement on performance and behavior of Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.* 98, 6865–6875.
- Lees, A.M., Veerasamy, S., Wallage, A.L., Steel, C.C., Mader, T.L., Lees, J.C., Gaughan, J.B., 2019. The impact of heat load on cattle. *Animals* 9 (6), 322.
- Liu, J., Li, L., Chen, X., Lu, Y., Wang, D., 2019. Effects of heat stress on body temperature, milk production, and reproduction in dairy cows: a novel idea for monitoring and evaluation of heat stress -A review. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 32, 1332–1339.
- López, E., Mellado, M., Martínez, A.M., Véliz, F.G., García, J.E., de Santiago, A., Carrillo, E., 2018. Stress-related hormonal alterations, growth and pelleted starter intake in pre-weaning Holstein calves in response to thermal stress. *Int. J. Biometeorol.* 62, 493-500.
- Mellado, M., Garcia, A.M., Arellano-Reynoso, B., Diaz-Aparicio, E., Garcia, J.E., 2014. Milk yield and reproductive performance of brucellosis-vaccinated but seropositive Holstein cows. *Trop. Anim. Health Prod.* 46, 391-397.
- Monteiro, A.P., Tao, S., Thompson, I.M., Dahl, G.E., 2014. Effect of heat stress during late gestation on immune function and growth performance of calves: Isolation of altered colostral and late-gestation heat stress abatement on performance and behavior of Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.* 97, 6426-6439.

- Nanas, I., Chouzouris, T.M., Dovolou, E., Dadouli, K., Stamperna, K., Kateri, I., Barbagianni, M., Amiridis, G.S., 2021. Early embryo losses, progesterone and pregnancy associated glycoproteins levels during summer heat stress in dairy cows. *J. Therm. Biol.* 98, 102951.
- Nasr, M.A.F., El-Tarabany, M.S., 2017. Impact of three THI levels on somatic cell count, milk yield and composition of multiparous Holstein cows in a subtropical region. *J. Therm. Biol.* 64, 73-77.
- Nobre, M.M., Coelho, S.G., Haddad, J.P.A., Campos, E.F., Lana, A.M.Q., Reis, R.B., Saturnino, H.M., 2012. Avaliação da incidência e fatores de risco da retenção de placenta em vacas mestiças leiteiras [Evaluation of the rate and risk factors for retained placenta in crossbred dairy cows]. *Arqu. Bras. Med. Vet. Zoot.* 64, 101-107.
- NRC, 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle., (7th rev. ed), Natl. Acad. Sci., Washington, D.C.
- Orellana Rivas, R.M., Marins, T.N., Weng, X., Monteiro, A.P.A., Guo J., Gao, J., Chen, Y.C., Woldemeskel, M.W., Bernard, J.K., Tomlinson, D.J., DeFrain, J.M., Tao, S., 2021. Effects of evaporative cooling and dietary zinc source on heat shock responses and mammary gland development in lactating dairy cows during summer. *J. Dairy Sci.* 104, 5021-5033.
- Ouellet, V., Negrao, J., Skibiél, A.L., Lantigua, V.A., Fabris, T.F., Marrero, M.G., Dado-Senn, B., Laporta, J., Dahl, G.E., 2021. Endocrine signals altered by heat stress impact dairy cow mammary cellular processes at different stages of the dry period. *Animals* 11(2), 563.
- Polsky, L., von Keyserlingk, M.A., 2017. Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare. *J. Dairy Sci.* 100, 8645–8657.

- Renaudeau, D., Collin, A., Yahav, S., De Basilio, V., Gourdine, J., Collier, R., 2012. Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. *Animal* 6, 707–728.
- Reyes, L.A., Valenzuela, F.D.A., Calderon, A.C., Quintero, J.S.S., Acuna, F.R., Zarate, F.J.V., Flores, C.F.A., Robinson, P.H., 2007. Evaluation of a cooling system used in the dry period of dairy cattle in summer. *Tec. Pecu. Mex.* 45, 209–225.
- Roth, Z., 2018. Stress-induced alterations in oocyte transcripts are further expressed in the developing blastocyst. *Molec. Reprod. Dev.* 85, 821-835.
- Roth, Z., 2008. Heat stress, the follicle, and its enclosed oocyte: Mechanisms and potential strategies to improve fertility in dairy cows. *Reprod. Dom. Anim.* 43, 238-244.
- Sammad, A., Umer, S., Shi, R., Zhu, H., Zhao, X., Wang, Y., 2020. Dairy cow reproduction under the influence of heat stress. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 104, 978-986.
- 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*, 84, 252-260.
- Tao, S., Bubolz, J.W., do Amaral, B.C., Thompson, I.M., Hayen, M.J., Johnson, S.E., Dahl, G.E., 2011. Effect of heat stress during the dry period on mammary gland development. *J. Dairy Sci.* 94, 5976-5986.
- Tao, S., Dahl, G.E., 2013. Invited review: Heat stress effects during late gestation on dry cows and their calves. *J. Dairy Sci.* 96, 4079-4093.
- Tao, S., Monteiro, A.P., Thompson, I.M., Hayen, M.J., Dahl, G.E., 2012. Effect of late-gestation maternal heat stress on growth and immune function of dairy calves. *J. Dairy Sci.* 95, 7128–7136.

- Tao, S., Monteiro, A.P.A., ~~Hayen~~, M.J., Dahl, G.E., 2014. Short communication: Maternal heat stress during the dry period alters postnatal whole-body insulin response of calves. *J. Dairy Sci.* 97, 897–901.
- Thompson, I.M.T., Tao, S., Monteiro, A.P., ~~Jeong~~, K.C., Dahl, G.E., 2014. Effect of cooling during the dry period on immune response after *Streptococcus uberis* intramammary infection challenge of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 97, 7426-7436.
- Wheelock, J.B., Rhoads, R.P., ~~VanBaale~~, M.J., Sanders, S.R., ~~Baumgard~~, L.H., 2010. Effects of heat stress on energetic metabolism in lactating Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 93, 644–655.
- Wohlgemuth, S.E., Ramirez-Lee, Y., Tao, S., Monteiro, A.P.A., Ahmed, B.M., Dahl, G.E., 2016. Short communication: Effect of heat stress on markers of autophagy in the mammary gland during the dry period. *J. Dairy Sci.* 99, 4875-4880.
- ~~Wolfenson~~, D., Roth, Z., 2019. Impact of heat stress on cow reproduction and fertility. *Anim. Front.* 9, 32-38.
- 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.

**Table 1**

Milk traits of high milk-yielding Holstein cows in three temperature-humidity index groups during the dry period. Values are means  $\pm$  SD.



Variables	No heat stress (n=1122)	Moderate stress (n=5529)	Severe heat stress (n=5351)
Days in milk	403 $\pm$ 123 <sup>b</sup>	402 $\pm$ 116 <sup>b</sup>	417 $\pm$ 124 <sup>a</sup>
305-d milk yield, kg	10986 $\pm$ 1200 <sup>a</sup>	10880 $\pm$ 1218 <sup>b</sup>	10757 $\pm$ 1269 <sup>c</sup>
Total milk yield, kg	13449 $\pm$ 3472 <sup>a</sup>	13279 $\pm$ 3274 <sup>b</sup>	13536 $\pm$ 3575 <sup>a</sup>
Peak milk yield, kg	48.8 $\pm$ 4.3 <sup>a</sup>	48.7 $\pm$ 4.2 <sup>ab</sup>	48.6 $\pm$ 4.3 <sup>b</sup>
Days at peak milk yield	71 $\pm$ 20 <sup>a</sup>	72 $\pm$ 23 <sup>b</sup>	77 $\pm$ 25 <sup>c</sup>
305-d lactation persistence, %	73.9 $\pm$ 7.2 <sup>a</sup>	73.5 $\pm$ 7.4 <sup>a</sup>	72.7 $\pm$ 7.3 <sup>b</sup>
Total lactation persistence, %	69.7 $\pm$ 9.0 <sup>a</sup>	69.1 $\pm$ 9.2 <sup>b</sup>	67.9 $\pm$ 9.0 <sup>c</sup>
Extended lactations, %	242/1222 (19.8) <sup>b</sup>	1118/5529 (20.2) <sup>b</sup>	1448/5351 (27.1) <sup>a</sup>

No heat stress= ITH <70; moderate heat stress= ITH 70-80; severe heat stress = ITH >80.

<sup>a-c</sup>Values within rows differing in superscript differ (P < 0.05).

**Table 2**

Reproductive traits of high milk-yielding Holstein cows in three temperature-humidity index groups during the dry period. Values are means  $\pm$  SD.

Variables	No heat stress (n=1094)	Moderate heat stress (n=5599)	Severe heat stress (n=5409)
First-service pregnancy rate, %	109/1222 (8.9) <sup>b</sup>	580/5529 (10.5) <sup>a</sup>	265/5351 (5.0) <sup>c</sup>
All-services pregnancy rate (%)	753/1222 (61.6) <sup>a</sup>	3244/5529 (58.7) <sup>ab</sup>	2501/5351 (46.7) <sup>c</sup>
Services per pregnancy*	4.4 $\pm$ 2.8 <sup>c</sup>	4.7 $\pm$ 3.5 <sup>b</sup>	5.9 $\pm$ 3.9 <sup>a</sup>
Time to pregnancy, days	168 $\pm$ 84 <sup>b</sup>	171 $\pm$ 88 <sup>b</sup>	184 $\pm$ 97 <sup>a</sup>

\*Only pregnant cows.

No heat stress= ITH <70; moderate heat stress= ITH 70-80; severe heat stress = ITH >80

<sup>a-c</sup>Values within rows differing in superscript differ (P < 0.05).

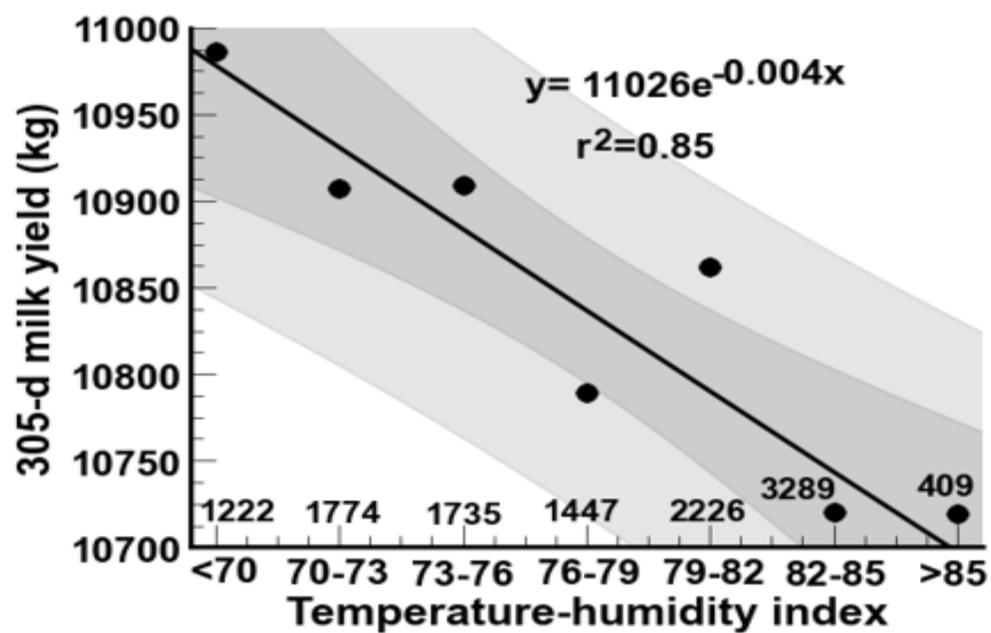


Figure 1. The exponential relationship between the average temperature-humidity index during the dry period and 305-d milk yield of high milk-yielding Holstein cows in a hot environment.

## CONCLUSIÓN GENERAL

Este estudio mostró que la producción de leche acumulada fue más alta para vacas con 5 lactancias prolongadas (95499 kg) y más baja para vacas sin lactancias prolongadas (56236 kg). Asimismo, los días acumulados en leche fueron mayores en vacas con cinco lactancias prolongadas (2968 días) que en vacas sin lactancias prolongadas en cinco lactancias (1857 días). Por lo anterior, las lactancias repetidas, minimizan el sacrificio involuntario de vacas al retener vacas que no pueden quedar preñadas temprano en la lactancia con lo que se puedan salvar más vacas en el hato, lo que, a su vez, facilita el aumento de la producción de leche. Además, vincular varias lactancias extendidas ofrece una mayor productividad de por vida (más de 10 años) y una mayor rentabilidad de la producción lechera y, con suerte, una mayor aceptación social de los sistemas lecheros intensivos.

Se concluye también que la tasa de preñez de todos los servicios fue más alta para vacas que no sufrieron estrés por calor durante el período seco (61.6%) y más baja (46.7%) para vacas con estrés por calor severo durante el período seco. Las vacas que no sufrieron estrés por calor durante el período seco requirieron una media  $\pm$  DE de  $4.4 \pm 2.8$  servicios por preñez en comparación con  $5.9 \pm 3.9$  para las vacas sometidas a un índice de temperatura humedad de  $>80$  durante el período seco. Las vacas que no sufrieron estrés por calor durante el período seco produjeron más leche en 305 días ( $10986 \pm 1200$  kg) que las vacas sometidas a estrés por calor moderado ( $10880 \pm 1218$  kg) o severo ( $10757 \pm 1269$  kg) durante el período seco. Estos datos indican que el estrés por calor durante el período seco tiene profundos efectos adversos residuales en el desempeño de la lactancia y el desempeño reproductivo posteriores de las vacas Holstein de alta producción de leche en un ambiente caluroso. Estos hallazgos resaltan la importancia de los mecanismos de reducción del estrés por calor para las vacas secas en climas cálidos para mejorar el rendimiento de las vacas secas.

## LITERATURA CITADA

- Akers, R.M. 2017. A 100-Year Review: Mammary development and lactation. *Journal of Dairy Science*, 100, 10332-10352.
- Amin, Y.A., Hussein, H.A. 2022. Latest update on predictive indicators, risk factors and 'Omic' technologies research of retained placenta in dairy cattle – A review. *Reproduction in Domestic Animals*, rda.14115. <https://doi.org/10.1111/rda.14115>
- Arbel R, Bigun Y, Ezra E, Sturman H and Hojman D. 2001. The effect of extended calving intervals in high lactating cows on milk production and profitability. *Journal of Dairy Science*, 84, 600–608
- Atallah, S.A., Abdel-Gawad, A.H., Emara-Samira, A. Clinical and biochemical studies on dystocia and retained placenta in cattle. *Assiut Veterinary Med. J.* 1999, 42, 337-352.
- Atashi, H., Asaadi, A., Hostens, M. 2021. Association between age at first calving and lactation performance, lactation curve, calving interval, calf birth weight, and dystocia in Holstein dairy cows. *PLoS ONE* 16(1), e0244825.
- Atashi, H., Zamiri, M., Dadpasand, M. 2013. Association between dry period length and lactation performance, lactation curve, calf birth weight, and dystocia in Holstein dairy cows in Iran. *Journal of Dairy Science*, 96, 3632–3638.
- Auldust, M.J., O'Brien, G., Cole, D., Macmillan, K.L., Grainger, C. 2007. Effects of varying lactation length on milk production capacity of cows in pasture-based dairying systems. *Journal of Dairy Science* 90, 3234-3241
- Barragan, A.A., Piñeiro, J.M., Schuenemann, G.M., Rajala-Schultz, 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. *Journal of Dairy Science*, 101, 8248-8258.
- Bates, A.J., Dohoo, I. 2016. Factores de riesgo para mastitis diagnosticada por granjeros peri-parturientes en hatos lecheros de Nueva Zelanda: Hallazgos de un estudio de cohorte retrospectivo. *Medicina veterinaria preventiva*, 127, 70-76.
- Baumgard, L., Wheelock, J., Shwartz, G., O'Brien, M., VanBaale, M., Collier, R., Rhoads, M., Rhoads, R. 2006. Effects of Heat Stress on Nutritional Requirements of Lactating Dairy Cattle. *Proceedings of the 5th Annual Arizona Dairy Production Conference*, pp. 1–10.
- 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. *Journal of Dairy Science*, 90, 2804-2814.
- Bernabucci, U., Biffani, S., Buggiotti, L., Vitali, A., Lacetera, N., Nardone, A. 2014. The effects of heat stress in Italian Holstein dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 97, 471–486.
- Berry, D.P., Friggens, N. C., Lucy, M., Roche, J.R. 2016. Milk production and fertility in cattle. *Annual Review of Animal Biosciences*, 4, 269-290.
- Bezman, D., Lembierskiy-Kuzin, L., Katz, G., Merin, U., Leitner, G. 2015. Influence of intramammary infection of a single gland in dairy cows on the cow's milk quality. *Journal of Dairy Research*, 82, 304–311.
- 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.
- Blum, S., Heller, E.D., Krifucks, O., Sela, S., Hammer-Muntz, O., Leitner, G. 2008. Identification of a bovine mastitis *Escherichia coli* subset. *Veterinary Microbiology*, 132, 135–148.
- Bogado-Pascottini, O., Probo, M., LeBlanc, S.J., Opsomer, G., Hostens, M. 2020. Assessment of associations between transition diseases and reproductive performance of dairy cows using survival analysis and decision tree algorithms. *Preventive Veterinary Medicine*, 176, 104908
- Borman, J.M., Macmillan, K.L., Fahey, J. 2004. The potential for extended lactations in Victorian dairying: A review. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 44(6), 507.
- Borsberry, S., Dobson, H. 1989. Periparturient diseases and their effect on reproductive performance in five dairy herds. *Veterinary Record*, 124, 217–219.
- Çagdas, C. 2013. Physiological and metabolic changes during the transition period and the use of calcium propionate for prevention or treatment of hypocalcemia and ketosis in periparturient cows. *Journal of Biology Environment Science*, 7, 9–17.
- Cainzos, J.M., Andreu-Vazquez, C., Guadagnini, M., Rijpert-Duvivier, A., Duffield, T. 2022. A systematic review of the cost of ketosis in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, S0022030222002727. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-21539>
- Caixeta, L.S., Herman, J.A., Johnson, G.W., McArt, J.A.A. 2018. Herd-level

- monitoring and prevention of displaced abomasum in dairy cattle. *Veterinary Clinics of Food Animal* 34, 83–99.
- Caixeta, L.S., Ospina, P.A., Capel, M.B., Nydam, D.V. 2017. Association between subclinical hypocalcemia in the first 3 days of lactation and reproductive performance of dairy cows. *Theriogenology*, 94,1–7.
- Cameron, R.E., Dyk, P.B., Herdt, T.H., Kaneene, J.B., Miller, R., Bucholtz, H.F. 1998. Dry cow diet, management, and energy balance as risk factors for displaced abomasum in high producing dairy herds. *Journal of Dairy Science*, 81(1), 132–9.
- CANILEC (Cámara Nacional de Industriales de la Leche) 2021. Estadísticas del sector lácteo 2010 – 2020. Disponible: <https://www.canilec.org.mx/wp-content/uploads/2021/04/Compendio-del-Sector-Lacteo-2021.pdf>
- Cano, C. 2006. Diagnóstico Y Tratamiento de los Principales Problemas Reproductivos en los Bovinos. FMVZ. UNAM.
- Capper, J.L., Castañeda-Gutierrez, E., Cady, R.A, Bauman, D.E. 2008. The environmental impact of recombinant bovinosomatotropin (rbST) use in dairy production. *PNAS* 105, 28. [www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0802446105](http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0802446105)
- Carabaño, M.J., Logar, B., Bormann, J., Minet, J., Vanrobays, M.L., Diaz, C., Tychon, B., Gengler, N. Hammami, H. 2016. Modeling heat stress under different environmental conditions. *Journal of Dairy Science*, 99, 3798–3814.
- Carvalho, M.R., Peñagaricano, J.E.P., Santos, T.J., DeVries, B.W., McBride, E.S., Ribeiro, A. 2019. Long-term effects of postpartum clinical disease on milk production, reproduction, and culling of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 102, 11701-11717.
- Cerqueira, J.O., Araújo, J.P., Blanco, P., Cantalapiedra, J., Silvestre, A., Silva, S. J. 2016. Producción de estrés térmico en vacas lecheras mediante indicadores ambientales y fisiológicos . 8.
- Chapinal, N., Carson, M., Duffield, T.F., Capel, M., Godden, S., Overton, M., Santos, J.E.P., LeBlanc, S.J. 2011. The association of serum metabolites with clinical disease during the transition period. *Journal of Dairy Science*, 94, 4897–4903.
- Chapinal, N., Zobel, G., Painter, K., Leslie, K.E. 2014. Changes in lying behavior after abrupt cessation of milking and regrouping at dry-off in freestall-housed cows: a case study. *Journal of Veterinary Behavior*, 9, 364-369
- Cheong, S.H., Nydam, D.V., Galvao, K.N., Crosier, B.M., Gilbert, R.O. 2011. Cow-level and herd-level risk factors for subclinical endometritis in lactating

- Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 94, 762-770.
- Collier, R.J., Lance H. Rosemarie B., Yao Z., Xiao Y. 2019. Heat stress: Physiology of acclimation and adaptation. *Animal Frontiers* 9, 12–19. displacement. *Veterinary Journal*, 181, 90–96.
- Constable, P.D., Miller, G.Y., Hoffsis, G.F., Hull, B.L., Rings, D.M. 1992. Risk factors for abomasal volvulus and left abomasal displacement in cattle. *American Journal of Veterinary Research*, 53, 1184–1192.
- Dalcq, A.C., Beckers, Y., Mayeres, P., Reding, E., Wyzen, B., Colinet, F., Delhez, P., Soyeurt, H. 2018. The feeding system impacts relationships between calving interval and economic results of dairy farms. *Animal*, 12, 1662-1671
- Davies, C.J., Eldridge, J.A., Fisher, P.J., Schlafer, D.H. 2006. Evidence for expression of both classical and non-classical major histocompatibility complex class I genes in bovine trophoblast cells. *American Journal of Reproductive Immunology*, 55, 188–200.
- Davies, C.J., Hill, J.R., Edwards, J.L., Schrick, F.N., Fisher, P.J., Eldridge, J.A. 2004. Major histocompatibility complex antigen expression on the bovine placenta: its relationship to abnormal pregnancies and retained placenta. *Animal Reproduction Science*, 82–83, 267–280.
- 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. *Journal of Dairy Science*, 103(8), 7377-7391.
- De Rensis, F., Lopez-Gatius, F., García-Ispuerto, I., Morini, G., Scaramuzzi, R.J. 2017. Causes of declining fertility in dairy cows during the warm season. *Theriogenology*, 91, 145-153
- Djokovic, R., Ilic, Z., Kurcubic, V., Petrovic, M., Cincovic, M., Petrovic, M., Caro-Perovic, V. 2019. Diagnosis of subclinical ketosis in dairy cows. *Biotechnology in Animal Husbandry*, 35(2), 111-125.
- Djokovic, R., Ilic, Z., Kurcubic, V., Petrovic, M., Cincovic, M., Petrovic, M., Caro-Perovic, V. 2019. Diagnosis of subclinical ketosis in dairy cows. *Biotechnology in Animal Husbandry*, 35, 111-125.
- Doll, K., Sickinger, M., Seeger, T. 2009. New aspects in the pathogenesis of abomasal
- 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. *Journal of Dairy Science*, 94, 1339-1346.

- Duffield, T.F. Subclinical ketosis in lactating dairy cattle. 2000. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 16, 231–253.
- Elkjaer, K., Labouriau, R., Ancker, M.L., Gustafsson, H., Callesen, H. 2013. Short communication: Large-scale study on effects of metritis on reproduction in Danish Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 96, 372–377.
- El-Sayed, A., Kamel, M. 2021. Bovine mastitis prevention and control in the post-antibiotic era. *Tropical Animal Health and Production*, 53(2), 236.
- Espadamala, A., Pereira, R., Pallarés, P., Lago, A., Silva-del-Río, N. 2018. Metritis diagnosis and treatment practices in 45 dairy farms in California. *Journal of Dairy Science*, 101, 9608-9616.
- Fabris, T., Laporta, J., Corra, F., Torres, Y., Kirk, D., McLean, D., Chapman, J., Dahl, G. 2017. Effect of nutritional immunomodulation and heat stress during the dry period on subsequent performance of cows. *Journal of Dairy Science*, 100, 1–10.
- Fiore, F., Musina, D., Cocco, R., Di Cerbo, A., Spissu, N. 2018. Association between left-displaced abomasum corrected with 2-step laparoscopic abomasopexy and milk production in a commercial dairy farm in Italy. *Irish Veterinary Journal*, 71(1), 20.
- Flores, J., García, J.E., Mellado, J., Gaytán, L., De Santiago, Á., Mellado, M. 2019. Effect of growth hormone on milk yield and reproductive performance of subfertile Holstein cows during extended lactations. *Spanish Journal of Agricultural Research* 17 (1), e0403.
- García, M.E., Quintela, A., Taboada, M., Alonso, G., Varela-Portas, B., Díaz, C., Barrio, M., Becerra, J., Peña, A., Deiros, J. y Herradón, P., 2004. Factores de Riesgo de la Metritis en Vacas Lecheras: Estudio Retrospectivo en el No de España. *Archivos de zootecnia*, 53, 383- 386.
- Geishauser, T., Leslie, K., Duffield, T. 2000. Metabolic aspects in the etiology of displaced abomasum. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 16, 255–65
- Gernand, E., König, S., Kipp, C. 2019. Influence of on-farm measurements for heat stress indicators on dairy cow productivity, female fertility, and health. *Journal of Dairy Science*, 102, 6660-6671.
- Ghiano, A.J., Taverna, A.M.S.M., Gastaldi, M.S.L., Walter, T.E. 2014. Manejo del estrés calórico. *Jornada Nacional de Forrajes Conservados*. Disponible en: [http://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-5\\_jornada\\_nacional\\_de\\_forrajes\\_conservados\\_-\\_m\\_3.pdf](http://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-5_jornada_nacional_de_forrajes_conservados_-_m_3.pdf) Consulta (14/3/2016)

- Gilbert, R.O., Shin, S.T., Guard, C.L., Erb, H.N., Frajblat, M. 2005. Prevalence of endometritis and its effects on reproductive performance of dairy cows. *Theriogenology* 64, 1879-1888.
- Giuliodori, M.J., Magnasco, R.P., Becu-Villalobos, D., Lacau-Mengido, I.M., Risco, C.A., de la Sota, R.L. 2013. Clinical endometritis in an Argentinean herd of dairy cows: risk factors and reproductive efficiency. *Journal of Dairy Science*, 96, 1-9.
- Goff, J.P., Horst, R.L. Physiological changes at parturition and their relationship to metabolic disorders. *Journal of Dairy Science*, 1997, 80, 1260–1268.
- González-Martín, J.V., Perez-Villalobos, N., Baumgartner, W., Astiz, S. 2019. An investigation into the development of right displaced abomasum by rolling 268 dairy cows with left displaced abomasum. *Journal of Dairy Science*, 102, 11268–11279.
- Gonzalez-Recio, O., Alenda, R., Chang, Y.M., Weigel, K.A, Gianola, D. 2006. Selection for female fertility using censored fertility traits and investigation of the relationship with milk production. *Journal of Dairy Science*, 89, 4438–4444.
- Gonzalez-Recio, O., Perez-Cabal, M.A., Alenda, R. 2004. Economic value of female fertility and its relationship with profit in Spanish dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 87, 3053–3061.
- Grossman, M. , Koops, W.J. 2003. Modelado de curvas de lactancia extendidas del ganado lechero: una base biológica para el enfoque multifásico. *Journal de Ciencias de la leche*, 86, 988–998.
- Gruet, P., Maincent, P., Berhelot, X., Kaltsatos, V. 2001. Bovine mastitis and intramammary drug delivery: Review and perspectives. *Advanced Drug Delivery Review*, 50, 245–259.
- Grummer, R.R. 2008. Nutritional and management strategies for the prevention of fatty liver in dairy cattle. *Veterinary Journal*, 176, 10–20.
- Halasa, T., Huijps, K., Østerås, O., Hogeveen, H. 2007. Economic effects of bovine mastitis management: A review. *Veterinary Quarterly* 29, 18–31.
- 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. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 113, 21–29.
- Han, P., Trinidad, B.J., Shi, J. 2015. Hypocalcemia-induced seizure: Demystifying the calcium paradox. *ASN Neuro*, 7.

- Harris, B.L., Kolver, E.S. 2001. Revisión de la holsteinización de la ganadería lechera de pastoreo intensivo en Nueva Zelanda, *Journal de Ciencias de la leche*, 84, E56 - E61.
- Heikkilä, A.M., Liski, E., Pyörälä, S., Taponen, S. 2018. Pathogen-specific production losses in bovine mastitis. *Journal of Dairy Science*, 101, 9493–9504.
- Heikkilä, A.M., Nousiainen, J.I., Pyörälä, S. 2012. Costs of clinical mastitis with special reference to premature culling. *Journal of Dairy Science*, 95, 139–150.
- Herbut, P., Angrecka, S., Walczak, J. 2018. Environmental parameters to assessing of heat stress in dairy cattle—A review. *International Journal of Biometeorology*, 62, 2089-2097.
- Herd, T.H. 2000. Ruminant adaptation to negative energy balance -Influences on the etiology of ketosis and fatty liver. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 16, 215–230.
- Hernández, A., Cervantes, P., Salinas, V.M., García, R., Tejeda, A., Gallardo, F. Álvarez, J.L. 2007. “Respuesta al estrés por calor en la vaca criollo lechero tropical bajo un sistema de doble propósito en México”. *Revista de Salud Animal*, 29, 85–90.
- Heuwieser, W., Tenhagen, B.A., Tischer, M., Luhr, J., Blum, H. 2000. Effect of three programs for the treatment of endometritis on the reproductive performance of a dairy herd. *Veterinary Record*, 146, 338–341.
- Horst, R.L., Goff, J.P., Reinhardt, T.A. 2005. Adapting to the transition between gestation and lactation: Differences between rat, human and dairy cow. *Journal of Mammary Gland Biology Neoplasia*, 10, 141-156.
- Horta, A.E.M. Etiopatogenia e terapeutica da retencao placentária nos bovinos *Proc 7as jornadas internacionais de reproduccion animal*, 1994. Murcia, pp. 181-192.
- Ingvartsen, K.L., Dewhurst, R.J, Friggens, N.C. 2003. On the relationship between lactational performance and health, is it yield or metabolic imbalance that causes production diseases in dairy cattle? A position paper. *Livestock Production Science*, 73, 277-308.
- Jamali, H., Barkema, H.W., Jacques, M., Levallee-Bourget, E., Malouin, F., Saini, V., Stryhn, H., Dufour, S. 2018. Invited review: Incidence, risk factors, and effects on clinical mastitis recurrence in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 101, 4729–4746.

- Jeelani, R., Konwara, D., Khana, A., Kumarb, D., Chakraborty, D., Brahmaa, B. 2019. Reassessment of temperature-humidity index for measuring heat stress in crossbred dairy cattle of a sub-tropical region. *Journal of Thermal Biology* 82, 99–106.
- Jorritsma, R., Westerlaan, B., Bierma, M.P., Frankena, K. 2008. Milk yield and survival of Holstein-Friesian dairy cattle after laparoscopic correction of left-displaced abomasum. *Veterinary Record*, 162, 743–746.
- Khan, M.Z., Khan, A. 2006. Basic facts of mastitis in dairy animals: Review. *Pakistan Veterinary Journal*, 26, 204–208
- Kimura, K., Goff, J.P., Ir, M.E.K., Reinhardt, T.A. 2002. Decreased neutrophil function as a cause of retained placenta in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 85, 544–550.
- Kimura, K., Goff, J.P., Reinhardt, T.A., Saito, S., Tyler, H.D. 2003. Association between retained placenta and impaired neutrophil function in dairy cows. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 44(Suppl 1), 24.
- Kolver, E.S., Roche, J.R., Burk, C.R., Kay, J.K., Aspin, P.W. 2007. Extensión de la lactancia en vacas lecheras a base de pasto: I. Genotipo y efecto de la dieta sobre la leche y la reproducción. *Revista de Ciencia Láctea*, 90, 5518–5530.
- Larsson, B., Berglund, B. 2000. Reproductive performance of cows with extended calving interval. *Reproduction in Domestic Animals*, 35, 277-280.
- Laven, R.A., Peters, A.R. 1996. Bovine retained placenta: aetiology, pathogenesis and economic loss. *Veterinary Record*, 139, 465-471.
- LeBlanc, S.J. 2008. Postpartum uterine disease and dairy herd reproductive performance: a review. *Veterinary Journal*, 176, 102-114.
- Lehmann, J.O., Fadel, J.G., Mogensen, L., Kristensen, T., Gaillard, C., Kebreab, E. 2016. Effect of calving interval and parity on milk yield per feeding day in Danish commercial dairy herds. *Journal of Dairy Science*, 99, 621–633.
- Lehmann, J.O., Mogensen, L., Kristensen, T. 2019. Extended lactations in dairy production: Economic, productivity and climatic impact at herd, farm and sector level. *Livestock Science*, 220, 100-110.
- Lehmann, J.O., Mogensen, L., Kristensen, T. 2014. Las lactancias prolongadas pueden mejorar la salud y la productividad de las vacas y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero de la producción de lácteos orgánicos. *Agricultura Orgánica*, 4, 295-299.
- Lei, M.A.C., Simões, J. 2021. Milk beta-hydroxybutyrate and fat to protein ratio

patterns during the first five months of lactation in Holstein dairy cows presenting treated left displaced abomasum and other post-partum diseases. *Animals*, 11, 816.

- Lemaire, G., Giroud, B., Bathily, B., Lecomte, P., Corniaux, C. 2019. Toward integrated crop-livestock systems in West Africa: a project for dairy production along Senegal river. In: *Agroecosystem Diversity*. 1st Ed. Ed. Academic Press, Elsevier, London, England. p. 275-285, ISBN: 978-0-12-811050-8, DOI: 10.1016/B978-0-12-811050-8.00017-0
- Lima, F.S., Vieira-Neto, A., Snodgrass, J.A., De Vries, A., Santos, J.E.P. 2019. Economic comparison of systemic antimicrobial therapies for metritis in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 102, 7345-7358.
- Linzell, J.L. 1973. Innate seasonal oscillations in the rate of milk secretion in goats. *Journal of Physiology*, 230, 225-233.
- Llanco, L., Suárez, F., Huanca, W., Rivera, H. 2017. Frecuencia y Riesgo de Infección de Leptospirosis Bovina en Dos Establos Lecheros de la Costa y Sierra Peruana. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 28(3), 696.
- Loiklung, C., Sukon, P., Thamrongyoswittayakul, C. 2022. Global prevalence of subclinical ketosis in dairy cows: A systematic review and meta-analysis. *Research in Veterinary Science*, 144, 66-76.
- Madoz, L.V., Giuliadori, M.J., Migliorisi, A.L., Jaureguiberry, M., de la Sota, R.L. 2014. Endometrial cytology, biopsy, and bacteriology for the diagnosis of subclinical endometritis in grazing dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 97, 195-201.
- Martinez, N., Risco C.A., Lima F.S., Bisinotto, R.S., Greco, L.F., Ribeiro, E.S., Maunsell, F., Galvão, K., Santos, J.E.P. 2012. Evaluation of periparturient calcium status, energetic profile, and neutrophil function in dairy cows at low or high risk of developing uterine disease. *Journal of Dairy Science*, 95, 7158–7172.
- Martinez, N., Risco, C.A., Lima, F.S., Bisinotto, R.S., Greco, L.F., Ribeiro, E.S., Maunsell, F., Galvao, K., Santos, J.E. 2012. Evaluation of periparturient calcium status, energetic profile, and neutrophil function in dairy cows at low or high risk of developing uterine disease. *Journal of Dairy Science*, 95, 7158-7172.
- Martinez, N., Rodney, R.M., Block, E., Hernandez, L.L., Nelson, C.D., Lean, I.J., Santos, J.E.P. 2018. Effects of preparturient dietary cation-anion difference and source of vitamin D in dairy cows: Health and reproductive responses. *Journal of Dairy Science*, 101, 2563–2578

- Massey, C.D., Wang, C., Donovan, G.A., Beede, D.K. 1993. Hypocalcemia at parturition as a risk factor for left displacement of the abomasum in dairy cows. *Journal of the American Veterinary Medical Association* 203, 852–853.
- McArt, J.A.A., Neves, R.C. 2020. Association of transient, persistent, or delayed subclinical hypocalcemia with early lactation disease, removal, and milk yield in Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 103, 690–701.
- McArt, J.A.A., Nydam, D.V., Overton, M.W. 2015. Hyperketonemia in early lactation dairy cattle: A deterministic estimate of component and total cost per case. *Journal of Dairy Science*, 98, 2043–2054.
- Mellado, M., Flores, J. M., de Santiago, A., Veliz, F.G., Macías-Cruz, U., Avendaño-Reyes, L., García, J.E. 2016. Extended lactation in high-yielding Holstein cows: Characterization of milk yield and risk factors for lactations >450 days. *Livestock Science*, 189, 50-55.
- Mellado, M., Sepulveda, A., Meza-Herrera, C., Veliz, F.G., Arevalo, J.R., Mellado, J., De Santiago, A. 2013. Effects of heat stress on reproductive efficiency in high yielding Holstein cows in a hot arid environment. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 26, 193-200.
- Mellado, J., Flores, J., Véliz, F.G., de Santiago Á., García, J.E., Gutierrez H.L., Mellado, M. 2021. Impact of frequency of milking on milk yield and fertility of Holstein cows undergoing extended lactations due to failure to conceive. *Emirates Journal of Food and Agriculture* 33, 113-119.
- Ministerio del Medio Ambiente. 2013. Implementación de buenas prácticas para el manejo adaptativo del sistema pecuario y la conservación del ecosistema páramo en la microcuenca de papallacta. Obtenido de <http://www.ambiente.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2014/07/Gu%C3%A1da-Sanitaria-Ganado.pdf>
- Mostert, P.F., Bokkers, E.A.M., van Middelaar, C.E., Hogeveen, H., de Boer, I.J.M. 2018. Estimating the economic impact of subclinical ketosis in dairy cattle using a dynamic stochastic simulation model. *Animal*, 12, 145–154.
- Neave, H.W., Lomb, J., Weary, D.M., LeBlanc, S.J., Huzzey, J.M., von Keyserlingk, M. A. G. 2018. Behavioral changes before metritis diagnosis in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 101, 4388-4399.
- Neri, C., Briones, F. 2011. Cada quien su sequía. Caracterización de la vulnerabilidad en Sonora, México. In: *Perspectivas de investigación y acción frente al cambio climático en Latinoamérica*. 1st Ed. Ed. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina, Ciudad de Panamá, República de Panamá, p.119-150, ISBN: 978-980-7519-00-7

- Nguyen, T.T.T., Bowman, P.J., Haile-Mariam, M., Pryce, J.E. Hayes, B.J. 2016. Genomic selection for tolerance to heat stress in Australian dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 99, 2849–2862.
- Nigussie T. 2018. A review on the role of energy balance on reproduction of dairy cow. *Journal of Dairy Research and Technology*, 1, 003.
- Niozas, G., Tsousis, G., Steinhöfel Brozos, C., Römer, A. Wiedemann, S., Bollwein, H., Kaske, M. 2019. Extended lactation in high-yielding dairy cows. I. Effects on reproductive measurements. *Journal of Dairy Science*, 102, 799-810.
- O'Brien, G.N., Cole, D.J. 2004. Evaluación del interés de los ganaderos lecheros en un sistema de lactancia extendida. *Animación Pinchar*. agosto , 25 (2004), pp. 128–131.
- OIE. (World Organisation for Animal Health). 2004. Annual Animal Disease 9Status, Bovine Tuberculosis. <http://www.oie.int/hs2/report.asp?lang=en>
- Ortiz, M.A., Chávez, G.C., Herrera, S.F., Esparza, B.H. Utilización de Montanoa tomentosa (zoapatle) en infusión intrauterina como tratamiento alternativo para la retención placentaria en bovinos lecheros XXIV Congreso Nacional de Buiatria de la Asociación Mexicana de Médicos Veterinarios Especialistas en Bovinos, 2000. Guadalajara México.
- Ospina, P.A., Nydam, D.V., Stokol, T., Overton, T.R. 2010. Evaluation of nonesterified fatty acids and beta-hydroxybutyrate in transition dairy cattle in the northeastern United States: Critical thresholds for prediction of clinical diseases. *Journal of Dairy Science*, 93, 546–554
- Overgård, J.O., Lisbeth, L., Kristensen, T. 2019. Extended lactations in dairy production: Economic, productivity and climatic impact at herd, farm and sector level. *Livestock Science*, 120, 100-110.
- Overton, T.R., McArt, J.A.A., Nydam, D.V.A. 2017. 100-year review: Metabolic health indicators and management of dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 100, 10398–10417.
- Paiano, R.B., Lahr, F.C., Poit, D.A.S., Costa, A.G.B.V.B., Birgel, D.B., Birgel Junior, E.H. 2018. Biochemical profile in dairy cows with artificial induction of lactation. *Pesquisa Veterinaria Brasileira*, 38, 2289–2292.
- Parkinson, T. 2009. Infertility and subfertility in the cow: structural and functional abnormalities, management deficiencies and non-specific infections. En: Noakes DE, Parkinson TJ, England GCW, eds. *Veterinary reproduction and obstetrics*. 9ª ed. Oxford: Saunders Elsevier. p 393-475

- Pérez, N., Alonso, M. y León, O. 2003. Enfermedad de los músculos blancos en añosos. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Camagüey.
- Pinedo, P.J., De Vries, A., Webb, D.W. 2010. Dynamics of culling risk with disposal codes reported by dairy herd improvement dairy herds. *Journal of Dairy Science*, 93, 2250-2261.
- Raboisson, D., Mounié, M., Khenifar, E., Maigné, E. 2015. The economic impact of subclinical ketosis at the farm level: Tackling the challenge of over-estimation due to multiple interactions. *Preventive Veterinary Medicine*, 122, 417–425.
- Reinhardt, T.A., Lippolis, J.D., McCluskey, B.J., Goff, J.P., Horst, R.L. 2011. Prevalence of subclinical hypocalcemia in dairy herds. *Veterinary Journal* 188, 122–124.
- Reinhardt, T.A., Lippolis, J.D., McCluskey, B.J., Goff, J.P., Horst, R.L. 2011. Prevalence of subclinical hypocalcemia in dairy herds. *Veterinary J.*, 188, 122-124.
- Ribeiro, E.S., Gomes, G., Greco, L.F., Cerri, R.L.A., Vieira-Neto, A., Monteiro, P.L., Lima, F.S., Bisinotto, R.S., Thatcher, W.W., Santos, J.E.P. 2016. Carryover effect of postpartum inflammatory diseases on developmental biology and fertility in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 99(3), 2201-2220.
- Robledo Padilla, R. 2018. Producción de leche en México y el impacto de las importaciones de leche en polvo. En: perspectivas teóricas, globalización e intervenciones públicas para el desarrollo regional. Universidad Nacional Autónoma de México y Asociación Mexicana de Ciencias para el Desarrollo Regional A.C, Coeditores, México. ISBN UNAM: 978-607-30-0970-6, ISBN AMECIDER: 978-607-8632-01-5
- Roche, J.R., Kay, J.K., Friggens, N.C., Loor, J.J., Berry, D.P. 2013. Assessing and managing body condition score for the prevention of metabolic disease in dairy cows. *Veterinary Clinical of North American Food Animal Practice*, 29, 387–412.
- Rodríguez, E.M., Arís, A., Bach, A. 2017. Associations between subclinical hypocalcemia and postparturient diseases in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 100, 7427–7434.
- Rodríguez-Godina, I.J., García, J.E., Mellado, J., Morales-Cruz, J.L., Contreras, V., Macías-Cruz, U., Avendaño-Reyes, L., Mellado, M. 2021. Permanence time in the herd and milk production of Holstein cows with up to five successive extended lactations. *Tropical Animal Health and Production* 53(1):141.
- Rohrbach, BW, Cannedy, AL, Freeman, K, Slenning, BD. 1999. Risk factors for

- abomasal displacement in dairy cows. *Journal of American Veterinary Medical Association* 214, 1660–1663.
- Ruegg, P. 2017. 100-Year Review: Mastitis detection, management, and prevention. *Journal of Dairy Science*, 100, 10381–10397.
- Saidani, M., Messadi, L., Soudani, A., Daaloul-Jedidi, M., Châtre, P., Ben Chehida, F., Mamlouk, A., Mahjoub, W., Madec, J.Y., Haenni, M. 2018. Epidemiology, antimicrobial resistance, and extended-spectrum Beta-lactamase-producing enterobacteriaceae in clinical bovine mastitis in Tunisia. *Microbiology and Drug Resistance*, 24, 1242–1248.
- Sánchez-Macías, D., Hernández-Castellano, L.E., Morales-delaNuez, A., Herra-Chávez, B., Argüello, A., Castro, N. 2020. Somatic cells: A potential tool to accelerate low-fat goat cheese ripening. *International Dairy Journal*, 102, 104598.
- Sánchez-Macías, D., Morales-delaNuez, A., Torres, A., Hernández-Castellano, L.E., Jiménez-Flores, R., Castro, N., Argüello, A. 2013. Effects of somatic cells to carpine milk on cheese quality. *International Dairy Journal*, 29, 61–67.
- Santos, R.M., Vasconcelos, J.L.M., Souza, A.H., Meneghetti, M., Ferreira Jr., N. 2002 Efeito da aplicação de prostaglandina (PGF<sub>2a</sub>) no pós-parto imediato sobre a incidência de retenção de placenta em vacas de leite. *Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinary y Zootecnia*, 54, 29-34.
- Seegers, H., Fourichon, C., Beaudeau, F. 2003. Review article: Production effects related to mastitis and mastitis economics in dairy cattle herds. *Veterinary Research* 34, 475–491.
- Sehested, J., Gaillard, C., Lehmann, J.O., Maciel, G M., Vestergaard, M., Weisbjerg, M.R., Mogensen, L., Larsen, L.B., Poulsen, N.A., Kristensen, T. 2019. Review: Extended lactation in dairy cattle. *Animal*, 13, s65-s74.
- Sevinga, M., Hesselink, J.W., Barkema, H.W. 2002. Reproductive performance of friesland mares after retained placenta and manual removal of the placenta *Theriogenology*, 57, 923-930.
- Sharma, N., Singh, N.K., Bhadwal, M.S. 2011. Relationship of somatic cell count and mastitis: An overview. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 24, 429-438.
- Shearer, J.K., Harris, B., Jr. 2003. Mastitis in Dairy Goats, Animal Science Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences: Gainesville, FL, USA, pp. 1–6. 43.
- Sheldon, I.M., Cronin, J.G., Bromfield, J.J. 2019. Tolerance and innate immunity

- shape the development of postpartum uterine disease and the impact of endometritis in dairy cattle. *Annual Review of Animal Biosciences*, 7, 361-384.
- Sheldon, I.M., Cronin, J., Goetze, L., Donofrio, G., Schuberth, H.J. 2009. Defining postpartum uterine disease and the mechanisms of infection and immunity in the female reproductive tract in cattle. *Biology of Reproduction* 8, 1025-1032.
- Sheldon, I.M., Lewis, G.S., LeBlanc, S., Gilbert, R.O. 2006. Defining postpartum uterine disease in cattle. *Theriogenology*, 65, 1516-1530.
- Sheldon, I.M., Williams, E.J., Miller, A.N.A., Nash, D.M., Herath, S. 2008. Uterine diseases in cattle after parturition. *The Veterinary Journal*, 176, 115-121.
- SIAP (Servicio de información agroalimentaria y pesquera). 2018. Panorama de la Leche, diciembre 2018. Disponible en: <http://infosiap.siap.gob.mx/opt/boletlech/Panorama%20de%20Leche%20octubre-diciembre%202018.pdf>
- Silvia, W.J. 2003. Abordar la disminución del rendimiento reproductivo de las vacas lecheras lactantes: la perspectiva de un investigador. *Ciencias Veterinarias Mañana*. vol. 3, 15 de septiembre de 2003. <http://www.vetscite.org/publish/articles/000043/print.html> Consultado el 15 de noviembre de 2006.
- Soberon, F., Ryan, C.M., Nydam, D. V., Galton, D.M., Overton, T.R. 2011. The effects of increased milking frequency during early lactation on milk yield and milk composition on commercial dairy farms. *Journal of Dairy Science*, 94(9), 4398-4405.
- Song, Y., Looor, J.J., Li, C., Liang, Y., Li, N., Shu, X., Yang, Y., Feng, X., Du, X., Wang, Z., Liu, G., Li, X. 2021. Enhanced mitochondrial dysfunction and oxidative stress in the mammary gland of cows with clinical ketosis. *Journal of Dairy Science*, 104, 6909-6918.
- Sordillo, L.M., Raphael, W. 2013. Significance of metabolic stress, lipid mobilization, and inflammation on transition cow disorders. *Veterinary Clinical of North American Food Animal Practice*, 29, 267–278.
- Stevens, M., Piepers, S., De Vliegheer, S. 2016. Mastitis prevention and control practices and mastitis treatment strategies associated with the consumption of (critically important) antimicrobials on dairy herds in Flanders, Belgium. *Journal of Dairy Science*, 99, 2896–2903.
- Takagi, M., Fujimoto, S., Ohtani, M., Miyamoto, A., Wijagunawardane, M.P.B., Acosta, T. J., Miyazawa, K., Sato, K. 2002. Bovine retained placenta: Hormonal concentrations in fetal and maternal placenta. *Placenta*, 23(5), 429-437.

- Tao, S., Orellana Rivas, R.M., Marins, T.N., Chen, Y.C., Gao, J., Bernard, J.K. 2020. Impact of heat stress on lactational performance of dairy cows. *Theriogenology*, 150, 437-444.
- Tarazon-Herrera, M.A., Huber, J.T., Santos, J.E.P., Nussio, L.G. 2000. Effects of bovine somatotropin on milk yield and composition in Holstein cows in advanced lactation fed low- and high-energy diets. *Journal of Dairy Science*, 83, 430–434.
- Trapnell, B. Malcolm, L. 2006. Economic analysis of changing from a 300 day lactation to an extended lactation dairy system. In: *Proceedings of the Biennial Conference of the Australasian Farm Business Management Network*, September 2006, Marcus Oldham College, 8 p.
- USDA, Animal and Plant Health Inspection Service, Veterinary Services, Center for Epidemiology and Animal Health, and National Animal Health Monitoring System 2018.
- Vallejo Timarán, DA, Benavides Melo, CJ, Morillo Patiño, DP, Astaíza Martínez, JM, Chaves Velásquez, C.A. 2017. Efecto de las enfermedades en posparto temprano sobre el intervalo parto concepción: estudio de cohorte en vacas lecheras de Pasto, Colombia. *Revista CES de Medicina y Zootecnia*, 12, 33-43.
- VanRaden, P.M., Dematawewa, C.M.B., Pearson, R.E., Tooker, M.E. 2006. Vida productiva incluyendo todas las lactancias y lactancias más largas con créditos decrecientes. *Journal de Ciencias de la Leche*, 89, 3213–3220.
- Vargas, B., Koops, W.J., Herrero, M., Van Arendonk, J.A.M. 2000. Modeling extended lactations of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 83, 1371-1380.
- Vergara, C.F., Dopfer, D., Cook, N.B., Nordlund, K.V., McArt, J.A., Nydam, D.V., Oetzel, G.R. 2014. Risk factors for postpartum problems in dairy cows: explanatory and predictive modeling. *Journal of Dairy Science*, 97, 4127-4140.
- Vilar, M.J., Rajala-Schultz P.J. 2020. Dry-off and dairy cow udder health and welfare: Effects of different milk cessation methods. *Veterinary Journal*, 262, 105503
- Wagner D.C., BonDurant R.H., Sisco W.M. 2001. Reproductive effects of estradiol cypionate in postparturient dairy cows. *Journal of American Veterinary Medical Association*, 219, 220-223.
- Wankhade P.R., Manimaran A., Kumaresan S., Jeyakumar K.P., Ramesha V., Sejian D., Varghese R.M. R. 2017. Metabolic and immunological changes in

- transition dairy cows: A review. *Veterinary World* 10, 1367-1377.
- Wolfenson, D., Roth, Z. 2019. Impact of heat stress on cow reproduction and fertility. *Animal Frontiers*, 9, 32–38.
- Zhang, G., Hailemariam, D., Dervishi, E., Goldansaz, S.A., Deng, Q., Dunn, S.M., Ametaj, B.N. 2016. Dairy cows affected by ketosis show alterations in innate immunity and lipid and carbohydrate metabolism during the dry off period and postpartum. *Research in Veterinary Science*, 107, 246–256.
- Zhu, Y., Liu, G., Du, X., Shi, Z., Jin, M., Sha, X., Li, X., Wang, Z., Li, X. 2019. Expression patterns of hepatic genes involved in lipid metabolism in cows with subclinical or clinical ketosis. *Journal of Dairy Science*, 102(2), 1725-1735.
- Zi, C., Zeng, D., Ling, N., Dai, J., Xue, F., Jiang, Y., Li, B. 2018. An improved assay for rapid detection of viable *Staphylococcus aureus* cells by incorporating surfactant and PMA treatments in qPCR. *BMC Microbiology*, 18, 132.
- Zouharova, M., Rysanek, D. 2008. Multiplex PCR and RPLA Identification of *Staphylococcus aureus*. enterotoxigenic strains from bulk tank milk. *Zoonoses Public Health*, 55, 313–319.