

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS MÉDICO VETERINARIAS



En hatos de vacas Holstein, la producción láctea se incrementa, la fertilidad es variable y el anestro posparto disminuye durante los años de 2002 a 2019

POR:

ABRAHAM MARTÍNEZ HIDALGO

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Torreón, Coahuila, México

Marzo 2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS MÉDICO VETERINARIAS

En hatos de vacas Holstein, la producción láctea se incrementa, la fertilidad es variable y el anestro posparto disminuye durante los años de 2002 a 2019

Por:

ABRAHAM MARTÍNEZ HIDALGO

TESIS

Que se somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para obtener el título de:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

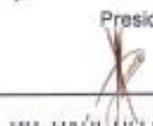
Aprobada por:


DRA. ILDA GRACIELA FERNÁNDEZ GARCÍA

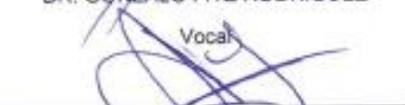
Presidente


DR. GONZALO FITZ RODRÍGUEZ

Vocal


DR. RAÚL ULLÓA ARVIZU

Vocal


DR. JUAN CARLOS MARTÍNEZ ALFARO

Vocal Suplente


MC. J. GUADALUPE RODRÍGUEZ MARTÍNEZ
Coordinador de la División Regional de Ciencia Animal

Torreón, Coahuila, México

Marzo 2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS MÉDICO VETERINARIAS

En hatos de vacas Holstein, la producción láctea se incrementa, la fertilidad es variable y el anestro posparto disminuye durante los años de 2002 a 2019

Por:

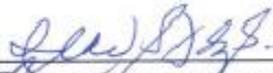
ABRAHAM MARTÍNEZ HIDALGO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

MEDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Aprobada por el comité de Asesoría:



DRA. ILDA GRACIELA FERNÁNDEZ GARCÍA

Asesor Principal



DR. GONZALO FITZ RODRÍGUEZ

Coasesor



DR. RAÚL ULLOA ARVIZU

Coasesor



MC. J. GUADALUPE RODRÍGUEZ MARTÍNEZ
Coordinador de la División Regional de Ciencia Animal

Torreón, Coahuila, México

Marzo 2021

AGRADECIMIENTOS

A mis padres Sr. Abraham Martínez Hernández y Sra. Gabina Hidalgo Serrano, por su apoyo incondicional a lo largo de toda mi formación académica, por los valores y la mentalidad inculcada para llegar a ser una persona de bien que me han llevado a donde estoy ahora.

A mi tía Arcely Martínez Hernández, por su apoyo brindado en mi carrera universitaria.

A la Dra. Ilda Graciela Fernández García, por ser mi gran guía y tutora en mi formación universitaria, tener esa gran atención y paciencia hacia mi persona en el desarrollo y conclusión de mi tesis.

Al Dr. Raúl Ulloa Arvizu del Departamento de Genética y Bioestadística de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México por su ayuda en los análisis estadísticos y por la revisión de la presente tesis.

A mi *Alma Mater*, la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por ser mi segunda casa y brindarme la oportunidad de lograr mis estudios de licenciatura, por su programa de movilidad académica que me llevó a salir del país a estudiar por un semestre en Colombia, por su internado donde fui interno a lo largo de toda mi carrera y el comedor, un noble servicio en pro de nuestros bolsillos de los **Narro** foráneos.

Al Dr. Gonzalo Fitz Rodríguez y al Dr. Juan Carlos Martínez Alfaro por su colaboración en el trabajo de tesis.

DEDICATORIA

A mi abuelita QEPD Juana Hidalgo Serrano, por su gran amor y cariño que siempre me expresó, por sus consejos y por esos deseos de verme que concluí mi carrera profesional.

A mi madre Sra. Gabina Hidalgo Serrano, por su exigencia en superar lo que ella logró y por su gran sacrificio durante mi vida universitaria para lograr la culminación de ésta.

A mi padre Sr. Abraham Martínez Hernández, por guiarme por un buen camino y formarme en una persona de trabajo, por decirme "*las vacas necesitan título*".

A mi familia, por todos sus consejos, apoyo y palabras de motivación para culminar mi formación académica.

RESUMEN

Los objetivos del presente estudio fueron determinar en hatos de vacas Holstein: i) el nivel de producción de leche y sus variaciones durante el año, ii) el porcentaje de fertilidad a primer servicio y sus variaciones durante el año, y iii) el porcentaje de anestros en el postparto y sus variaciones durante el año. Se utilizó la información de 16 hatos lecheros en la Comarca Lagunera de México, mediante 2 580 registros de enero de 2002 a diciembre de 2019. La producción de leche, la fertilidad y el anestro se analizaron mediante Ecuaciones de Estimación Generalizadas (EEG). La producción de leche a través de los años registró un efecto lineal ($P < 0.001$). Al inicio del estudio en el año 2002 la producción de leche registrada fue de 27.8 ± 0.7 L/vaca/día. La producción de leche se incrementó partir del año 2010 en 2.0 L/vaca/día, hasta que finalizó el estudio en el año 2019. La fertilidad varió en forma errática durante los años de 2002 a 2012. A partir del año 2013 a 2019 se observó una tendencia a incrementar, aunque en el año 2017 alcanzó un máximo 30.7 ± 1.1 % ($P > 0.05$). El anestro mostró una tendencia lineal a disminuir ($P < 0.001$), aunque en 2006 y 2008 se observaron incrementos de hasta en un 4.1 %. Se concluye que en las vacas Holstein altas productoras de leche (> 30 litros de leche), la producción láctea se incrementa, la fertilidad al primer servicio es altamente variable y los anestros disminuyen durante los años de estudio.

Palabras clave: Vacas Holstein, Producción de leche, Fertilidad, Anestros.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIA	ii
RESUMEN	iii
ÍNDICE	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
1. INTRODUCCIÓN	1
HIPÓTESIS	3
OBJETIVO GENERAL	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Bovino (<i>Bos primigenius taurus</i>) productor de leche	5
2.2 Mecanismos endocrinos en la vaca	5
2.3 Hormonas que participan en la reproducción y lactancia de la vaca	6
2.3.1 Kisspeptina.....	6
2.3.2 Hormona Liberadora de Gonadotropinas	7
2.3.3 Hormona Folículo Estimulante.....	7
2.3.4 Hormona Luteinizante	8
2.3.5 Estrógenos	8
2.3.6 Progesterona	8
2.3.7 Prostaglandinas.....	8
2.3.8 Inhibina	9
2.3.9 Leptina	9
2.3.10 Activina	9
2.3.11 Prolactina.....	10
2.4 Ciclo estral en la vaca	10
2.4.1 Fase folicular	12
2.4.2 Fase lútea	13
2.5 Ciclos de lactancia	14
2.6 Factores que influyen en el reinicio de la actividad sexual postparto	14
2.6.1 Balance Energético Negativo (BEN).....	16
2.6.2 Enfermedades más frecuentes en el puerperio de la vaca.....	17

2.6.2.1	Distocias	17
2.6.2.2	Retención placentaria	18
2.6.2.3	Hipocalcemia.....	18
2.6.2.4	Cetosis.....	19
2.6.2.5	Desplazamiento del abomaso.....	19
2.6.2.6	Metritis	20
2.6.3	Estrés Calórico.....	21
2.7	Eficiencia reproductiva expresada por parámetros en el hato lechero.....	22
2.7.1	Parto-primera ovulación	22
2.7.2	Eficiencia en la detección de celos	22
2.7.3	Intervalo parto-primer servicio	23
2.7.4	Servicios por concepción	23
2.7.5	Porcentaje de concepción.....	23
2.7.6	Días abiertos	24
3.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
3.1	<i>Área de estudio</i>	25
3.2	<i>Manejo de los hatos lecheros</i>	25
3.3	<i>Registros</i>	26
3.4	Variables a determinar	26
3.5	Clasificación de los hatos lecheros basado en la producción láctea.....	26
3.6	<i>Análisis estadístico</i>	27
4.	RESULTADOS	28
4.1	Producción de leche.....	28
4.2	Fertilidad a primer servicio.....	30
4.3	Anestro postparto.....	31
5.	DISCUSIÓN.....	33
6.	CONCLUSIONES.....	36
7.	LITERATURA CITADA	37

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1 Interacción hormonal del eje hipotálamo-hipofisiario-gonadal. Hormona Liberadora de Gonadotropinas (GnRH), Hormona Folículo Estimulante (FSH), Hormona Luteinizante (LH), Estrógenos (E2), Progesterona (P4), Cuerpo Lúteo (CL) (Tomado de Rangel, 2018)	11
Figura 2 Etapas, estructuras ováricas y endocrinología del ciclo estral en la vaca. Hormona Folículo Estimulante (FSH), Hormona Luteinizante (LH), Estrógenos (E2), Progesterona (P4), Prostaglandina (PGF2 α) (Tomado de Rangel, 2018)	12
Figura 3 Modelo de trabajo actual propuesto que resume los efectos del balance energético negativo sobre los parámetros reproductivos en el período posparto temprano; Folículo Dominante DF, Progesterona P4 (Tomado de Peter et al., 2009).	17
Figura 4 Cambios en producción de leche por mes ($P < 0.001$; media \pm eem) en vacas Holstein de la Comarca Lagunera de México. El estudio se llevó a cabo de 2002-2019.	28
Figura 5 Cambios por año en producción de leche ($P < 0.001$; media \pm eem) en vacas Holstein de la Comarca Lagunera de México. El estudio se llevó a cabo de 2002-2019	29
Figura 6 Cambios en el porcentaje de fertilidad ($P > 0.05$) a primer servicio en por mes (media \pm eem) en vacas Holstein de la Comarca Lagunera de México. El estudio se llevó a cabo de 2002-2019.	30
Figura 7 Cambios en el porcentaje de fertilidad a primer servicio ($P > 0.05$) por año (media \pm eem) en vacas Holstein de la Comarca Lagunera de México. El estudio se llevó a cabo de 2002-2019.	31
Figura 8 Cambios en el porcentaje de anestros (media \pm eem) por mes en vacas Holstein de la Comarca Lagunera de México ($P > 0.05$). El estudio se llevó a cabo de 2002-2019.	32
Figura 9 Cambios con tendencia lineal a disminuir el porcentaje de anestros ($P < 0.001$) por año (media \pm eem) en vacas Holstein de la Comarca Lagunera de México. El estudio se llevó a cabo de 2002-2019	32

1. INTRODUCCIÓN

La demanda de leche y productos lácteos en el mundo se ha incrementado como consecuencia del crecimiento demográfico y de los cambios en los hábitos alimenticios. Se estima que más de 6 000 millones de personas a nivel mundial consumen productos lácteos y la mayoría viven en países en vías de desarrollo. Del total de la producción láctea en el mundo la leche de origen de bovino representa el 81 por ciento, siendo la más consumida y producida (FAO, 2019).

En este contexto, México es uno de los países que más leche en polvo importa para cubrir el déficit que tiene. Por ejemplo, en los años de 2009 al 2018, las importaciones de leche en polvo crecieron a una tasa promedio anual de 7.6 por ciento, mientras que el crecimiento de la producción nacional de leche hasta el 2019 fue del 2.3 por ciento (FIRA, 2019).

En el año de 2018 la ganadería lechera mexicana registró una producción estimada en 12 mil millones de litros, con una población del hato que supera los 2.5 millones de cabezas, la mayor población de ganado lechero bovino especializado se encuentra en Jalisco, Coahuila, Durango, Chihuahua, Estado de México, y Querétaro. La Comarca Lagunera comprende los estados Coahuila y Durango, se considera como la cuenca líder de producción lechera en América Latina, concentra la mayor parte del inventario de bovino de leche en México con un promedio de 483 397 vacas que representan alrededor de 20 % del hato nacional distribuidas en aproximadamente 300 establos, con una producción láctea de 2 576 835 miles de litros de leche (Viramontes *et al.*, 2015; SIAP-SADER, 2019).

En la Comarca Lagunera el modelo de producción lechera se caracteriza por ser intensiva, grande, moderno y altamente tecnificado. Debido al déficit en producción láctea, esta actividad busca ser más eficiente en el sistema de producción en el hato lechero. Otro aspecto que siempre se ha intentado mejorar es la fertilidad en las vacas, ya que esto lleva directamente al parto de la vaca y por ende a su producción láctea (Fodor *et al.*, 2019). Otro factor que modifica la eficiencia reproductiva en el hato lechero es el incremento en el número de días en el retorno a la actividad ovárica post-parto en la vaca, que disminuye la eficiencia reproductiva en el hato. Un parámetro a considerar es el porcentaje de vacas que no muestran celo en el post-parto. Asimismo, el porcentaje de fertilidad en las vacas al primer servicio, el cual indica el total de hembras preñadas en su primera inseminación artificial (IA).

Por ello, el presente estudio se llevó a cabo para investigar cómo es el comportamiento productivo y reproductivo durante el post-parto en vacas Holstein en hatos de la Comarca Lagunera de México.

HIPÓTESIS

- i) Las vacas Holstein altas productoras de leche incrementan la producción de leche.
- ii) En las vacas Holstein altas productoras de leche la fertilidad disminuye.
- iii) Las vacas Holstein altas productoras de leche incrementan el anestro en el postparto.

OBJETIVO GENERAL

Determinar si el nivel de producción de leche, la fertilidad y los anestros en el postparto se modifican a través de los años de 2002 a 2019 en el postparto en vacas Holstein.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- i) Determinar el nivel de producción de leche y sus variaciones durante el año en vacas Holstein.
- ii) Determinar el porcentaje de fertilidad a primer servicio y sus variaciones durante el año en vacas Holstein.
- iii) Determinar el porcentaje de anestros en el postparto y sus variaciones durante el año en vacas Holstein.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

En las últimas décadas la selección genética intensiva, las mejoras en el confort y la formulación de dietas altamente especializadas para producción láctea, han contribuido a incrementar el rendimiento individual de las vacas (Little *et al.*, 2016; Rodney *et al.*, 2015). Sin embargo, paralelamente a esta tendencia es evidente la disminución en la fertilidad debido principalmente a la falta en la expresión del celo, a las infecciones uterinas, a embriones de menor tamaño, a ovocitos defectuosos y a otros problemas clínicos posparto (Buják *et al.*, 2018; Süß *et al.*, 2019).

Durante las primeras semanas de lactancia las vacas lecheras se caracterizan por presentar balance energético negativo (BEN), el cual es el resultante del alto incremento en la producción de láctea y el bajo consumo de ingesta alimenticia (Piñeyrúa *et al.*, 2018; Peisker *et al.*, 2019). Dependiendo del grado del BEN puede tener como resultado mayor incidencia en las enfermedades metabólicas y en consecuencia infertilidad reproductiva (Piñeyrúa *et al.*, 2018). Por lo tanto, un buen manejo de la vaca fresca durante el período de transición, específicamente la implementación de estrategias nutricionales, disminuye significativamente el impacto del estrés metabólico y mejora los parámetros de productivos y reproductivos (Rodney *et al.*, 2015). En objetivo en las explotaciones lecheras es el mejoramiento reproductivo durante los primeros 100 días en la leche (DEL) debido a que en estos días la mayor parte de los animales deben de ser servidos y/o estar ya gestantes (Leesen *et al.*, 2014; Buják *et al.*, 2018). Por lo tanto,

el manejo del programa reproductivo en el ganado lechero en lactación es un desafío debido a que disminuye la productividad del hato lechero (Rodney *et al.*, 2015).

2.1 Bovino (*Bos primigenius taurus*) productor de leche

La vaca Holstein es la especie que más se utiliza en las explotaciones pecuarias, donde la selectividad genética ha permitido un incremento en la producción de leche con un menor número de animales (Toledo *et al.*, 2014).

La eficiencia reproductiva tiene gran impacto positivo en la rentabilidad económica de la unidad de producción, cuando ésta mejora, los días en leche promedio disminuyen manteniendo una mayor proporción de vacas en la primera etapa de su lactancia incrementando el promedio diario de la producción láctea (Santos *et al.*, 2009). Se considera como aceptable un intervalo entre partos de 12 meses como un parámetro reproductivo rentable, para lograr dicho parámetro las vacas deben de gestarse antes de 85 días en leche (Niozas *et al.*, 2019). Sin embargo, la alta producción de leche presenta una correlación negativa en la fertilidad del hato, donde la tasa de fertilidad ha disminuido en los últimos 20 años (Grimard *et al.*, 2012). De hecho, la alta producción de leche afecta la expresión conductual de celo, debido a la alteración metabólica y a una disminución en las hormonas reproductiva (Silper *et al.*, 2017).

2.2 Mecanismos endocrinos en la vaca

Existen mecanismos endocrinos que mediante la acción hormonal ejercen funciones específicas en la comunicación entre una célula y otra. Es el hipotálamo, órgano central del sistema neuroendocrino encargado de regular la función

reproductiva. Los distintos núcleos o áreas hipotalámicas tienen a su cargo diversas funciones, como el área preóptica y el área ventromedial donde se localizan las neuronas productoras de la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH), la cual llega a la hipófisis mediante el sistema porta-hipofisiario para estimular la neurohipófisis y liberar las hormonas gonadotrópicas la hormona folículo estimulante (FSH) y la hormona luteinizante (LH), las cuales viajan a través del torrente sanguíneo hasta sus órganos diana, específicamente en las estructuras gonadales para estimular la esteroidogénesis y gametogénesis correspondiente para cada sexo. Los ovarios de igual forma realizan la función glandular endocrina secretando estrógenos, inhibina folicular y progesterona, las cuales tienen un papel importante en la regulación de la liberación de la GnRH, FSH y LH mediante la retroalimentación negativa y positiva sobre hipotálamo e hipófisis según la etapa del ciclo estral en que se encuentre. Otra de las principales hormonas producidas es la prostaglandina $F2\alpha$ ($PGF2\alpha$), la cual tiene una función luteolítica cuando no hay reconocimiento de la gestación (Davidson y Stabenfeldt, 2014; Boeta *et al.*, 2018).

2.3 Hormonas que participan en la reproducción y lactancia de la vaca

2.3.1 Kisspeptina

La kisspeptina es un péptido que se secreta a nivel hipotalámico, es un regulador central, donde las neuronas Kiss reciben información ambiental y a nivel endógeno, que le indican el momento óptimo para su secreción y participación a nivel reproductivo. Las neuronas Kiss que producen este péptido expresan receptores para estradiol, mismo que regula la liberación tónica y cíclica de la GnRH (Zarco, 2018).

2.3.2 Hormona Liberadora de Gonadotropinas

La GnRH es un decapeptido neuronal que se sintetiza y almacena en las neuronas GnRH que se ubican en el hipotálamo eminencia media en el área preóptica. Después de la estimulación neuronal la GnRH se libera de manera pulsátil a través de las terminales nerviosas ubicadas en la eminencia media e ingresa a la circulación portal hipofisaria para llegar a los gonadotropos en la glándula pituitaria anterior (Kyeong-Hoon y Úrsula, 2006). Otra forma secreción es la peri ovulatoria o cíclica; sin embargo, el principal patrón de liberación es en forma pulsátil (Hernández-Cerón, 2012; Davidson y Stabenfeldt 2014). La GnRH tiene como función principal estimular las células gonadotrópicas para la liberación de las dos gonadotropinas hipofisarias la FSH y la LH y tener funciones a nivel cerebral interviniendo en procesos de la receptividad sexual. La GnRH actúa como un factor permisivo para estimular pulsos de la FSH; sin embargo, el caso de la LH la relación es más estrecha ya que a cada pulso de GnRH corresponde a un pulso en síntesis y la liberación de la LH (Zarco, 2018).

2.3.3 Hormona Folículo Estimulante

La FSH es una hormona de naturaleza peptídica, su función fisiológica esencial en la reproducción es a través de la interacción con los receptores de la FSH gonadales estimulando de manera secuencial el crecimiento de las células germinales de la fase folicular, además en forma conjunta con los estrógenos estimulando la mitosis en células de la granulosa y en la producción de líquido folicular en el antro (Rajkovic *et al.*, 2006; Zarco, 2018).

2.3.4 Hormona Luteinizante

La LH es una hormona de naturaleza peptídica es esencial en la etapa final del crecimiento folicular, maduración final del ovocito, ovulación y la luteinización del tejido folicular postovulación (Nogueira *et al.*, 2010; Zarco, 2018).

2.3.5 Estrógenos

Los estrógenos son hormonas de naturaleza esteroidea producidos por las células de la granulosa del folículo ovárico además de las glándulas adrenales. Tienen efectos directos sobre la manifestación del comportamiento y de la atracción sexual, durante el estro tienden a incrementarse en su producción teniendo un efecto de liberación positiva de la LH en la hipófisis, evento necesario para inducir la ovulación (Zarco, 2018).

2.3.6 Progesterona

La progesterona es una hormona de naturaleza esteroidea producida principalmente por las células funcionales del cuerpo lúteo y en mayor proporción por las células trofoblásticas de las membranas fetales en los bovinos principalmente. Dentro de funciones de la progesterona se encuentran la preparación del endometrio para su implantación inhibiendo la liberación de pulsos de la LH mediante la retroalimentación negativa de la GnRH, estimulando la proliferación y secreción de glándulas uterinas para la nutrición de trofoblasto (*conceptus*) previo a la implantación (Hernández, 2018; Zarco, 2018).

2.3.7 Prostaglandinas

Las prostaglandinas son ácidos grasos secretados por el útero a nivel endometrial, actúan como un factor luteolítico posterior a una falla en la concepción

o expresión de factores antiluteolíticos por parte del trofoblasto en animales domésticos como los son bovinos cabras, yeguas, cerdas y ovejas (Stouffer, 2006).

2.3.8 Inhibina

La inhibina es una hormona producida por células de la granulosa, reproductivamente disminuye la síntesis de la FSH y el contenido celular, así como, la liberación de la FSH basal y estimulada por la GnRH en las células de la pituitaria (Kyeong-Hoon y Ursula, 2006).

2.3.9 Leptina

La leptina es una hormona proteica secretada principalmente por el tejido adiposo, esta hormona muestra un vínculo importante entre el metabolismo y la reproducción que funciona como una señal metabólica que informa al sistema reproductivo que hay suficientes reservas de grasa disponibles para satisfacer las demandas calóricas durante la reproducción. El estrés metabólico, la restricción de alimentos y la elevada producción láctea reducen el nivel de leptina en la circulación periférica y en consecuencia disminuye la fertilidad (Rajkovic *et al.*, 2006).

2.3.10 Activina

La activina se producen en múltiples tejidos del cuerpo, incluida la pituitaria. La activina incrementa la síntesis primaria de la FSH y los niveles de ARNm, seguido de la estimulación de la secreción de la FSH, mejora la respuesta de la GnRH en las células gonadotrópicas también puede alterar la población de células gonadotrópicas y aumenta el número de células secretoras de la FSH (Kyeong-Hoon y Ursula, 2006).

2.3.11 Prolactina

La prolactina es una hormona de naturaleza peptídica secretada por las células lactotropas de la hipófisis, esta hormona desempeña un papel importante en la lactogenia. Es producida mediante estímulos sensoriales (mama, ordeño, succión), esta hormona en conjunto con la hormona del crecimiento estimula directamente a los alveolos de la glándula mamaria la síntesis y liberación de la leche alveolar (Davidson y Stabenfeldt., 2014).

2.4 Ciclo estral en la vaca

Los eventos que controlan la actividad reproductiva en la vaca, son el ciclo estral y las hormonas que interactúan a lo largo del ciclo. El ciclo estral comprende una serie de eventos fisiológicos, endocrinos y conductuales recurrentes que tienen la finalidad de que ocurra la ovulación, el apareamiento y la gestación (Gutiérrez *et al.*, 2008).

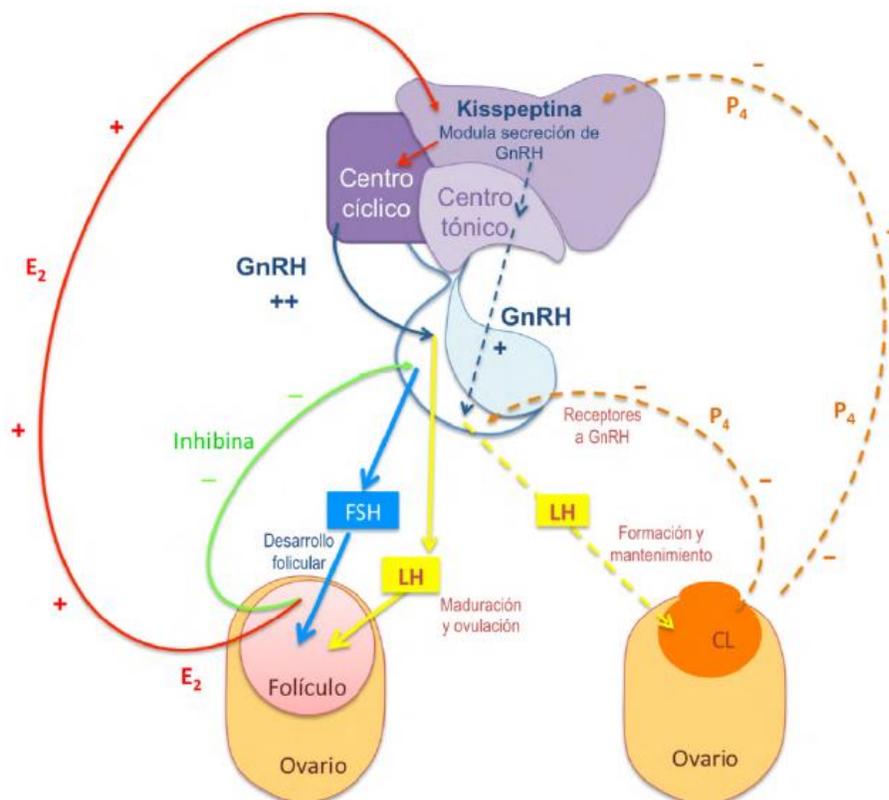


Figura 1. Interacción hormonal del eje hipotálamo-hipofisiario-gonadal. Hormona Liberadora de Gonadotropinas (GnRH), Hormona Folículo Estimulante (FSH), Hormona Luteinizante (LH), Estrógenos (E₂), Progesterona (P₄), Cuerpo Lúteo (CL) (Tomado de Rangel, 2018).

Las vacas son consideradas como poliéstricas continuas, con un ciclo estral de 21 días \pm 3, y se diferencia en dos fases en relación a su comportamiento o estado gonadal que son: la fase folicular que comprende el proestro y el estro, y la fase lútea que comprende el metaestro y el diestro (Gutiérrez *et al.*, 2008; Rangel, 2018).

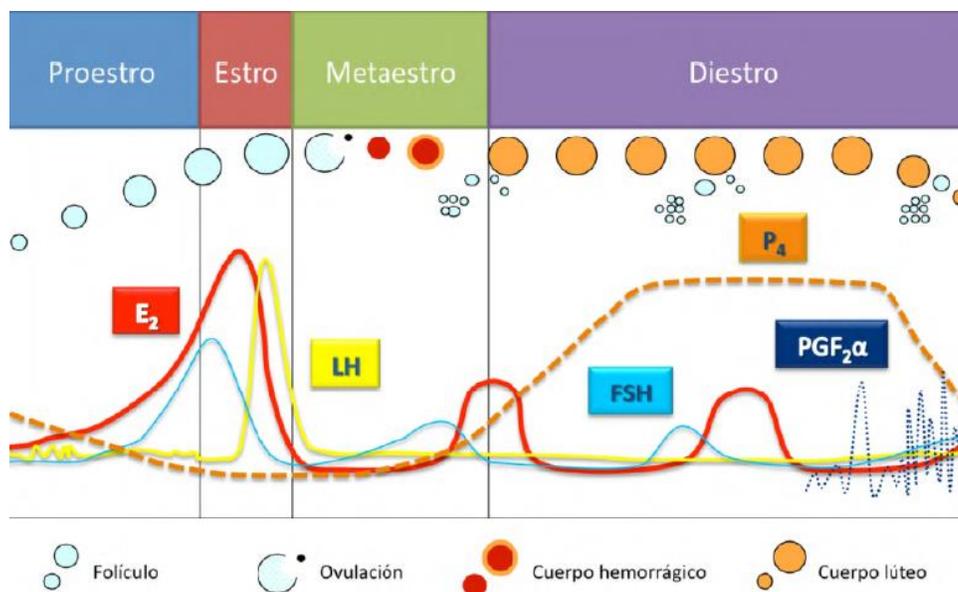


Figura 2. Etapas, estructuras ováricas y endocrinología del ciclo estral en la vaca. Hormona Folículo Estimulante (FSH), Hormona Luteinizante (LH), Estrógenos (E₂), Progesterona (P₄), Prostaglandina (PGF₂α) (Tomado de Rangel, 2018).

2.4.1 Fase folicular

En esta fase ocurre el desarrollo, maduración de los folículos; los estrógenos son la hormona predominante, los cuales son responsables del comportamiento sexual, así como, la modificación del aparato reproductor para la secreción de sustancias que resultan en la atracción al macho (Gutiérrez *et al.*, 2008; Rangel, 2018).

Proestro, inicia cuando las concentraciones de progesterona han disminuido a niveles basales como consecuencia de la lisis del cuerpo lúteo, entonces ocurre el crecimiento de un folículo dominante que proviene de la última oleada folicular. Durante el proceso hay incremento en la producción de estrógenos e inhibina folicular y un aumento en el nivel de la FSH conforme se acerca al estro (Gutiérrez *et al.*, 2008; Rangel, 2018).

Estro, durante esta etapa los estrógenos alcanzan su pico máximo haciendo evidente la expresión conductual del celo, la hembra acepta la monta de otras hembras, o la cópula con el macho, la duración promedio de esta fase es de 8 a 18 hora en hembras Holstein. Los altos niveles de estradiol generan una respuesta positiva sobre la hipófisis para la liberación de la LH y la posterior ovulación en la siguiente etapa (Gutiérrez *et al.*, 2008; Rangel, 2018).

2.4.2 Fase lútea

La fase lútea predomina la mayor parte del ciclo estral, inicia después de la ovulación y finaliza cuando el cuerpo lúteo no es funcional, con nivel <1 ng/mL de progesterona (Gutiérrez *et al.*, 2008; Hernández-Cerón 2012; Rangel, 2018).

Metaestro, esta etapa inicia cuando la hembra ya no acepta la monta del macho, durante esta etapa ocurre la ovulación y posterior formación de un cuerpo lúteo a partir del cuerpo hemorrágico; tiene una duración de 4 a 5 días. Los niveles de progesterona se incrementan, esto es, cuando las concentraciones séricas de progesterona son mayores a 1 ng/mL, entonces el cuerpo lúteo ha llegado a su madurez, y por lo tanto termina la etapa del metaestro. Además, hay una disminución en el nivel de los estrógenos que ocasiona que el tono uterino, la hiperemia y el edema bulbar disminuyan (Gutiérrez *et al.*, 2008; Hernández-Cerón 2012; Rangel, 2018).

Diestro, se considera la etapa más larga del ciclo entre 12 a 14 días, se caracteriza por mantener un cuerpo lúteo en plena funcionalidad hasta la lisis del mismo, al término de esta fase por efecto de las $\text{PGF}_{2\alpha}$; la producción de progesterona por parte del cuerpo lúteo es constante, por arriba a 1 ng/mL, lo que

mantiene una retroalimentación negativa sobre el eje hipotálamo hipófisis inhibiendo la liberación de la GnRH. Durante el diestro se detectan folículos de diferentes tamaños debido a las oleadas foliculares (Gutiérrez *et al.*, 2008; Hernández-Cerón 2012; Rangel, 2018).

2.5 Ciclos de lactancia

La lactancia en las vacas Holstein el pico de la lactancia se alcanza 1 mes después del parto en el ganado vacuno lechero, seguido por un suave descenso de la producción; el ordeño se suele detener 305 días después del parto, lo que permite la preparación de la siguiente lactación. Esta se puede dividir en tres tercios: temprano 0-100 días, medio 100-200 días y tardío 200-300 días. El estado de la lactancia en que se encuentra cada vaca es muy importante ya que la composición varía; una vaca que tiende a prolongar su lactancia disminuye su eficiencia productiva por lo que se debe buscar lograr un intervalo entre partos de 12 meses (Davidson y Stabenfeldt, 2014).

2.6 Factores que influyen en el reinicio de la actividad sexual postparto

En las vacas lecheras, hay varios factores que afectan el re-inicio de los ciclos ováricos, entre ellos se mencionan al balance energético negativo, enfermedades puerperales, enfermedades infecciosas y factores ambientales.

Posterior al parto entre 4 a 5 días se incrementa la secreción de la FSH, y después inicia la primera onda folicular. El folículo dominante de la primera onda folicular puede inducir la ovulación, la regresión o la formación de quistes foliculares. Si el primer folículo dominante ovula, se reanuda un ciclo ovárico acompañado de

formación de un cuerpo lúteo. En caso de que el primer folículo dominante sufra una degeneración, la segunda y siguientes ondas foliculares repetirán la selección, el crecimiento y la regresión hasta que se produzca la primera ovulación. Dado que no hay cuerpo lúteo o secreción de progesterona en el momento de la primera ovulación, la mayoría de las vacas no presentan signos de celo, y solo alrededor del 10% de las vacas muestran celo. Sin embargo, en la segunda ovulación después del primer ciclo ovárico, el cual se define como el período que ocurre la primera y la segunda ovulación posparto se acompaña por la formación del cuerpo lúteo, después de estos eventos fisiológicos la proporción de vacas que presentan el celo aumenta al 40 por ciento. Este evento indica la oportunidad de la primera IA basada en la detección del estro (Furukawa *et al.*, 2020). Las vacas que reinician la función ovárica poco después del parto es más probable que queden gestantes en el primer servicio. En vacas lecheras, para lograr una satisfacción en el desempeño reproductivo durante este período crítico, es necesario que la hembra ovule un ovocito competente y le proporcione un ambiente uterino adecuado para la fertilización, desarrollo embrionario y fetal (Krause *et al.*, 2014).

La recuperación lenta de la actividad ovárica durante el período posparto es una limitante en el manejo reproductivo en vacas después del final del período de espera voluntario (PVE). Las vacas anéstricas o anovulares, son las vacas que no han ovulado o que no muestran celo en las primeras 4 a 8 semanas después del parto (Santos *et al.*, 2009).

2.6.1 Balance Energético Negativo (BEN)

El balance energético resulta de la energía ingerida, menos la energía utilizada para el mantenimiento metabólico y la producción de leche. Posterior al parto los requerimientos nutricionales aumentan rápidamente debido a incremento en la producción de leche; sin embargo, la ingesta de alimento disminuye, esto conduce a un estado de BEN. Las vacas que entran en BEN suprimen su actividad reproductiva lo que limita el reclutamiento de número de folículos ováricos, el crecimiento y el tamaño máximo del folículo dominante, retrasa la primera ovulación, interfiere con la ovulación, dificulta la expresión del estro y disminución de las concentraciones plasmáticas de progesterona. En consecuencia, registran una disminución de la frecuencia de los pulsos de la GnRH y la primera ovulación se retrasará por la inhibición de pulsos de LH, bajas concentraciones de glucosa, insulina, factor de crecimiento similar a la insulina (IGF-1) (Peter, *et al.*, 2009).

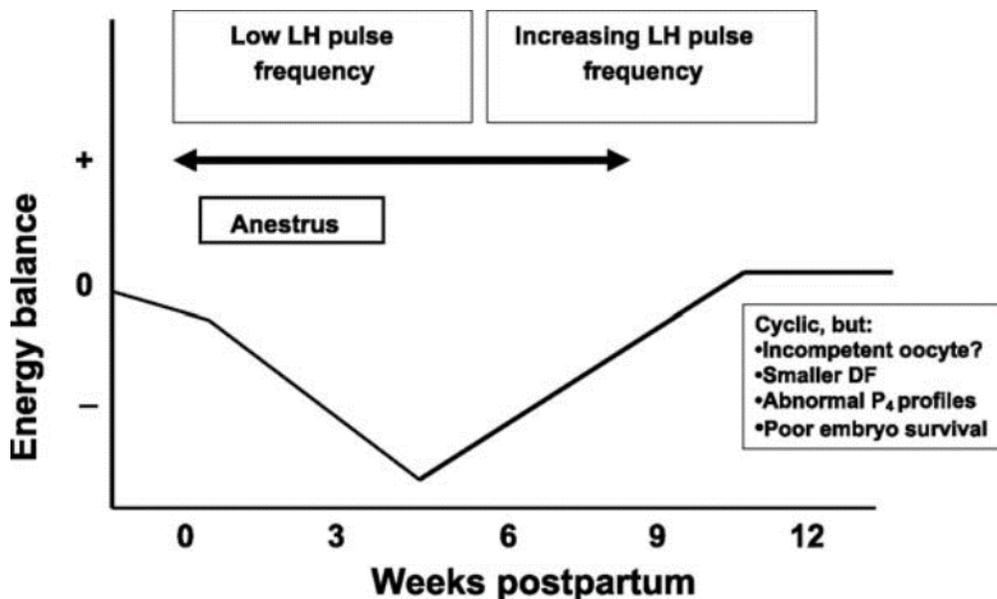


Figura 3. Modelo de trabajo propuesto que resume los efectos del balance energético negativo sobre los parámetros reproductivos en el período posparto temprano; Folículo Dominante (DF), Progesterona (P4) (Tomado de Peter *et al.*, 2009).

2.6.2 Enfermedades más frecuentes en el puerperio de la vaca

2.6.2.1 Distocias

La distocia se conoce como parto difícil y se define como un parto prolongado o difícil que es el resultado en la falla en las fuerzas de expulsión del producto debido a la estrechez del canal de parto, a la estática fetal incorrecta, a partos gemelares o a un tamaño desproporcional. Este tipo de problemas puede ocasionar disminución en la ingesta de materia seca, además de la alta incidencia de retención placentaria posterior a la distocia es común que se presentan infecciones uterinas, así como, se incrementa el tiempo de involución uterina teniendo un efecto negativo en la eficiencia reproductiva y en la producción de leche (Proudfoot *et al.*, 2009; Atashi *et al.*, 2012).

2.6.2.2 Retención placentaria

En el ganado lechero de alto rendimiento la retención placentaria se considera como un síndrome puerperal que tiene etiología multifactorial, que representa un factor de riesgo en la presentación de enfermedades uterinas posparto influyendo de manera directa en la involución uterina, en la reanudación de los ciclos ováricos (Cui *et al.*, 2014). La fisiopatología de la retención placentaria responde a fallas en la separación del complejo carúncula-cotiledón debido a la hipotonía del útero que puede provocar desde un retraso en la involución uterina hasta una sepsis aguda (Christensen *et al.*, 2010).

2.6.2.3 Hipocalcemia

Se define a la hipocalcemia como un nivel del calcio inferior al que normalmente se encuentra en sangre, es decir <7.5 mg/dL (Goff, 2010). La hipocalcemia puede tener efectos directos la fertilidad de la vaca debido a alteraciones en la contractilidad uterina, al balance energético negativo, a la retención placentaria, a una baja en la respuesta inmune y a una disminución en el flujo sanguíneo ovárico (Mahen *et al.*, 2018). Se ha reportado que las vacas con antecedentes de hipocalcemia en la misma lactancia tienen mayor diámetro en los cuernos uterinos entre los 15 y 32 días posparto debido a un retraso en la involución de útero (Heppelmann *et al.*, 2015). En consecuencia, disminuye el tiempo de regreso a la ciclicidad ovárica y estas vacas tienen menos probabilidad de quedar gestantes en el primer servicio (Mahen *et al.*, 2018).

2.6.2.4 Cetosis

La cetosis es una enfermedad que se caracteriza por concentraciones elevadas de cuerpos cetónicos (acetona, ácido acetoacético y ácido β -hidroxibutírico [BHB]) en tejidos y líquidos corporales. La cetosis se presenta como una patología únicamente cuando la absorción y producción de cuerpos cetónicos excede su uso como fuente de energía en el rumiante, provocando una elevación en las cetonas sanguíneas, los ácidos grasos libres o los ácidos grasos no esterificados, así como, a la disminución de la glucosa sanguínea (Fleming, 2010). El aumento de cuerpos cetónicos se debe a la respuesta metabólica por el incremento en la demanda de energía al inicio de la lactación. Sin embargo, las concentraciones sanguíneas posparto del ácido β -hidroxibutírico por arriba del nivel de referencia están relacionados con una deficiencia en el desempeño reproductivo, a una disminución en la producción de leche y a un mayor riesgo en el desplazamiento del abomaso. Los folículos en desarrollo de las vacas lecheras en balance energético negativo se afectan cuando se exponen a concentraciones elevadas de ácidos grasos no esterificados y al ácido β -hidroxibutírico, por lo tanto, presentan una sensibilidad disminuida a la LH circulante que conduce a una disminución en la producción de estradiol. En consecuencia, el intervalo parto a primer estro, parto a primera inseminación, y parto a preñez se prolongan en las vacas con cetosis (Rutherford *et al.*, 2016).

2.6.2.5 Desplazamiento del abomaso

El desplazamiento del abomaso es una enfermedad que afecta a las vacas, con mayor frecuencia en las primeras semanas de lactancia. Las vacas son

alimentadas con dietas altas en concentrados para estimular una mayor producción de leche. Otro factor que predispone al desplazamiento de abomaso es que después de que ocurre el parto existe un reacomodo visceral donde el abomaso puede sufrir un desplazamiento; existen dos formas de desplazamiento del abomaso, desplazamiento de abomaso a la izquierda que es más común y el desplazamiento de abomaso a la derecha que es menos frecuente. El efecto desplazamiento del abomaso incluye enfermedades concurrentes como metritis, mastitis y cetosis, así como, disminución de producción de leche y una pérdida de la condición corporal (Baird *et al.*, 2017).

2.6.2.6 Metritis

La metritis y endometritis se definen un proceso inflamatorio del útero y del endometrio, respectivamente, causada por una infección bacteriana o fúngica que generalmente ocurre dentro de los 21 días posteriores al parto (Genís *et al.*, 2018). La metritis y endometritis tienen alta prevalencia en vacas lecheras de alta producción que han experimentado distocias, retención de placenta, hipocalcemia y demás patologías en el puerperio. La metritis y endometritis se asocian una disminución de la preñez, incremento prolongado del intervalo a la preñez, y al incremento en el desecho de vacas (Pinedo *et al.*, 2017). Posterior al parto las vacas lecheras reducen el número y función de los linfocitos donde la disminución de la actividad fagocítica de los neutrófilos es un factor predisponente a mastitis y metritis. Se ha reportado que en las vacas con metritis el factor de crecimiento similar a la insulina (IGF-I) se altera en comparación con las vacas sanas donde hay una regulación positiva compensatoria del receptor IGFR-I (Galvão *et al.*, 2019). De

hecho, un nivel alto de lipopolisacáridos (LPS) expresados por las bacterias gram (-) afecta la teca folicular y las células de la granulosa lo que resulta en una disminución en la producción de estradiol-17 β y, como consecuencia disminuye la progesterona (Heidari *et al.*, 2019).

2.6.3 Estrés Calórico

El estrés calórico representa un factor medioambiental que afecta negativamente la salud de la vaca, así como, la fertilidad y la lactancia (Sigdel *et al.*, 2019). Estos factores incluyen la función endometrial comprometida, la actividad secretora, el tamaño folicular más pequeño y función del folículo dominante disminuida. Dentro de las alteraciones del equilibrio hormonal incluyen una disminución en la esteroidogénesis y consecuentemente una concentración sérica de estradiol baja, también existe una baja secreción de progesterona luteal. Bajo el estrés por calor las células del *cumulus oophorus* y la zona pelúcida del ovocito sufren una hipoplasia celular dejando expuesto el ovocito al ambiente uterino, los embriones que sufren estrés por calor suelen presentar un tamaño reducido por una baja en la producción de P4 lútea que tiene efectos directos sobre la producción de histotrofo y la nutrición del embrión (Schüller *et al.*, 2014).

Las vacas lecheras generan calor asociado a su metabolismo basal, a la fermentación ruminal, a la lactancia y a la gestación. La termorregulación se realiza a través de cuatro mecanismos: conducción, convección, radiación y evaporación. La conducción, convección y radiación dependen del gradiente de temperatura entre el cuerpo del animal y el ambiente externo, mientras que la evaporación depende del gradiente de vapor de agua en la interfaz cuerpo-aire, a medida que

umentan la temperatura ambiente y la humedad relativa el animal tiende mostrar una incapacidad para regular su temperatura corporal lo que puede hacer que el animal presente estrés calórico (Ouellet *et al.*, 2019).

2.7 Eficiencia reproductiva expresada por parámetros en el hato lechero

Los parámetros reproductivos son datos obtenidos durante las actividades realizadas en el hato lechero o cualquier explotación pecuaria. Los parámetros proporcionan información que sirven para evaluar las diferentes actividades desarrolladas con los animales.

2.7.1 Parto-primera ovulación

Este parámetro hace referencia a la primera ovulación que sucede después del parto y tiene una importancia dentro de la eficiencia reproductiva, las vacas que tienen pronta ovulación postparto tienen más ciclos estrales, y por tanto mayor fertilidad, un parámetro aceptable es 45 días. Sin embargo, el intervalo parto-primera ovulación es afectado principalmente por los cambios metabólicos que ocurren durante el periodo de transición (Hernández-Cerón, 2012).

2.7.2 Eficiencia en la detección de celos

Es la proporción de vacas observadas en el celo del total de vacas elegibles que muestran celo en un periodo equivalente a la duración de un ciclo estral. La meta esperada en la eficiencia en la detección de celo debe de ser mayor al 60 por ciento (Hernández-Cerón, 2012). Actualmente la disminución en la tasa de detección se debe a una baja expresión del celo debido al alto nivel de producción de leche, además se mencionan problemas de manejo como la falta en la observación de los celos, en el caso de explotaciones más mecanizadas se ha

evidenciado la falta de experiencia, así como, al entendimiento y al mantenimiento en los paquetes tecnológicos que se emplean para monitorear la actividad física de las vacas (Pfeiffer, 2020).

2.7.3 Intervalo parto-primer servicio

Es el número de días promedio desde que ocurrió el parto hasta el día de la primera inseminación, este parámetro permite evaluar el comportamiento reproductivo del animal antes de la hembra sea inseminada (Haile y Yoseph, 2018). Este evento sucede posterior al término del periodo voluntario de espera, cuando el aparato reproductor está en condiciones de recibir una IA (Hernández-Cerón, 2012).

2.7.4 Servicios por concepción

Indica el número de servicios (naturales o artificiales) necesarios para lograr una concepción exitosa. El número de inseminaciones necesarias para lograr la concepción, es uno de los parámetros más útiles en la eficiencia reproductiva (Haile y Yoseph, 2018). Un número alto de servicios por concepción sugiere infertilidad, la cual puede estar relacionada con el postparto (Hernández-Cerón, 2012).

2.7.5 Porcentaje de concepción

Es la proporción de vacas gestantes del total de vacas inseminadas y se calcula al momento de realizar el diagnóstico de gestación, los resultados de este parámetro pueden variar en virtud de diversos factores que pueden variar entre las explotaciones y las condiciones climáticas del entorno se considera una meta de entre 35 a 40 por ciento (Hernández-Cerón, 2012).

2.7.6 Días abiertos

Este parámetro indica los días que transcurren desde el parto hasta el día que la vaca queda gestante (Haile y Yoseph, 2018). Este parámetro indica eficiencia en la detección de celos y en la fertilidad del hato (Jainudeen y Hafez, 2002). La meta de este parámetro considerando las vacas gestantes y las abiertas, no debe ser mayor a 150 días (Hernández-Cerón, 2012).

Por lo anteriormente expuesto en el presente estudio se investigará cómo es comportamiento en la producción de leche, cuál es la fertilidad a primer servicio y cuál es el comportamiento en los anestros en el postparto de vacas Holstein.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 *Área de estudio*

El estudio se llevó a cabo en la Comarca Lagunera, ubicada en los estados de Coahuila y Durango en el norte de México (24°- 26° 22' - 23' N, 104°47' O, 1200 m sobre el nivel medio del mar), en el desierto Chihuahuense. El clima de esta región se clasifica como semi-árido, la temperatura máxima extrema (a la sombra) durante la primavera es 44.8 °C y la temperatura mínima extrema (a la sombra) durante el invierno es -1.0 °C (CONAGUA, 2013).

3.2 *Manejo de los hatos lecheros*

Las vacas fueron ordeñadas tres veces al día. Los hatos lecheros del presente estudio cuentan con instalaciones altamente tecnificadas como sala de ordeño en carrusel o en paralelo, sesiones de baño que comprenden: aspersión hídrica 1 minuto de duración y ventilación forzada 4 minutos en sala de ordeño, sombras artificiales en los corrales, trampas para el manejo del ganado, camas de descanso suaves y frescas que son acondicionadas a diario para incrementar el confort del animal, comederos adecuados y bebederos automáticos. El estro fue detectado mediante podómetro las 24 horas. La inseminación artificial se realizó utilizando el protocolo am-pm-am con semen de alto valor genético en las vacas que mostraron criterios de vacas en estro (incremento de actividad motora, monta entre otras vacas, turgencia uterina y presencia de moco uterino cristalino). La alimentación de las vacas se basó en la ración totalmente mezclada, con 18% de proteína cruda y 1.8 Mcal/kg de materia seca. La alimentación proporcionada fue

de acuerdo al estado productivo en el que se encontraba el lote como vaca recién parida, altas productoras, mediana producción, vacas secas y vacas en reto.

3.3 Registros

Se construyó una base de datos en Excel que incluyó la información de 16 hatos lecheros de vacas Holstein de los años de enero de 2002 a diciembre de 2019. La base de datos utilizada consistió de 2 580 registros de las vacas que incluyó el hato, año, mes, el anestro postparto, la fertilidad en vacas de primer servicio y la producción de leche. Los registros fueron obtenidos al final de cada mes en cada hato lechero utilizando el software DairyComp.

3.4 Variables a determinar

Anestro postparto. Es el porcentaje mensual de las vacas que tienen más de 35 días de paridas y no han presentado estro durante ese mes a través del año.

Fertilidad en vacas de primer servicio. Es el porcentaje mensual de vacas preñadas en la primera IA durante ese mes a través del año.

Producción de leche. Es el promedio diario de litros de leche producidos por todas las vacas ordeñadas en el hato durante ese mes a través del año.

3.5 Clasificación de los hatos lecheros basado en la producción láctea

Con el propósito de tomar en cuenta el manejo y ambiente particular de los hatos, se formaron dos categorías basadas en el promedio de producción de leche durante el periodo de estudio con un punto de corte de 30 L/día de esta forma se clasificaron los hatos en nivel alto y nivel bajo.

3.6 Análisis estadístico

El anestro, la fertilidad y la producción de leche se analizaron mediante Ecuaciones de Estimación Generalizadas (EEG) utilizando las rutinas implementadas en el procedimiento de Modelos Lineales Generalizados del SPSS versión 22.0 (IBM SPSS, 2013). El modelo que incluyó el efecto de sujeto (hato) y efecto intra-sujeto año y mes, su interacción. Para la selección del mejor modelo y la estructura de correlación con mejor ajuste se utilizó una extensión del criterio de información de Akaike llamado cuasi-verosimilitud bajo el criterio del modelo de independencia corregido (corrected quasi-likelihood under the independence model criterion, QICC). Para anestro y producción de leche se utilizó la distribución de probabilidad normal con función de enlace identidad y la estructura de la matriz de correlación fue autorregresiva de primer orden [AR (1)], para fertilidad se utilizó la distribución de probabilidad Gamma con función de enlace Log. Además, se realizaron contrastes polinomiales utilizando la prueba de Bonferroni secuencial. Se consideró un efecto significativo con $P < 0.05$.

4. RESULTADOS

4.1 Producción de leche

Al analizar la producción de leche a través de los meses de estudio se observó un efecto lineal, cuadrático y cúbico ($P < 0.001$), donde la producción de leche inició con 30.9 ± 0.3 L/vaca/hato y se incrementó a 31.9 ± 0.3 L/vaca/día en marzo, posteriormente disminuyó y llegó a un nivel menor en el septiembre registrando 27.7 ± 0.2 L/vaca/día; posteriormente se incrementó hasta llegar en diciembre a los 30.5 ± 0.3 L/vaca/día (Figura 4).

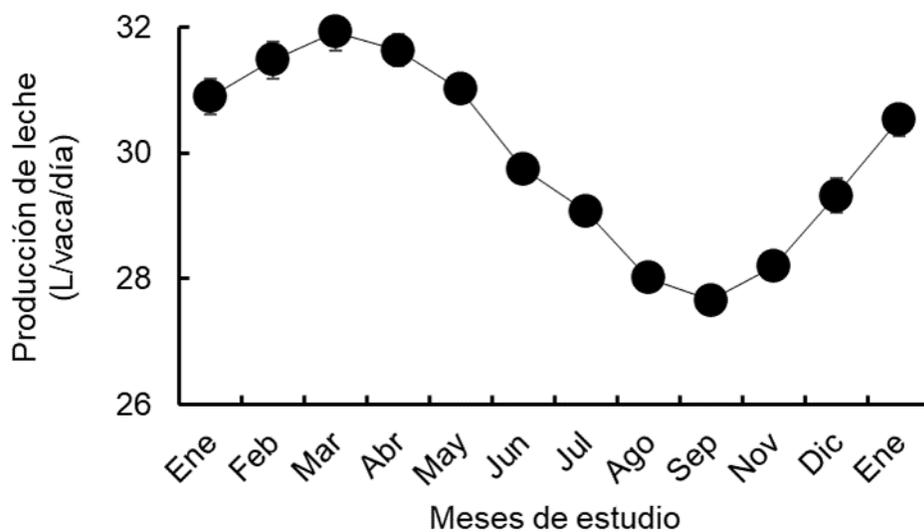


Figura 4. Cambios en producción de leche por mes ($P < 0.001$; media \pm EEM) en vacas Holstein de la Comarca Lagunera de México. El estudio se llevó a cabo de 2002-2019.

Cuando se analizó la producción de leche a través de los años se observó un efecto lineal ($P < 0.001$) en la producción de leche. Al inicio del estudio en el año 2002 la producción de leche registrada fue de 27.8 ± 0.7 L/vaca/día. Los resultados indicaron que la producción de leche mostró cambios hasta el año 2009, en los años previos no se observó cambio alguno. Aunque a partir del año 2010 se registró un incremento súbito de casi 2.0 L/vaca/día, y posteriormente se observó un incremento gradual hasta que finalizó el estudio en el año 2019 registrando un valor de 33.3 ± 0.9 L/vaca/día (Figura 5).

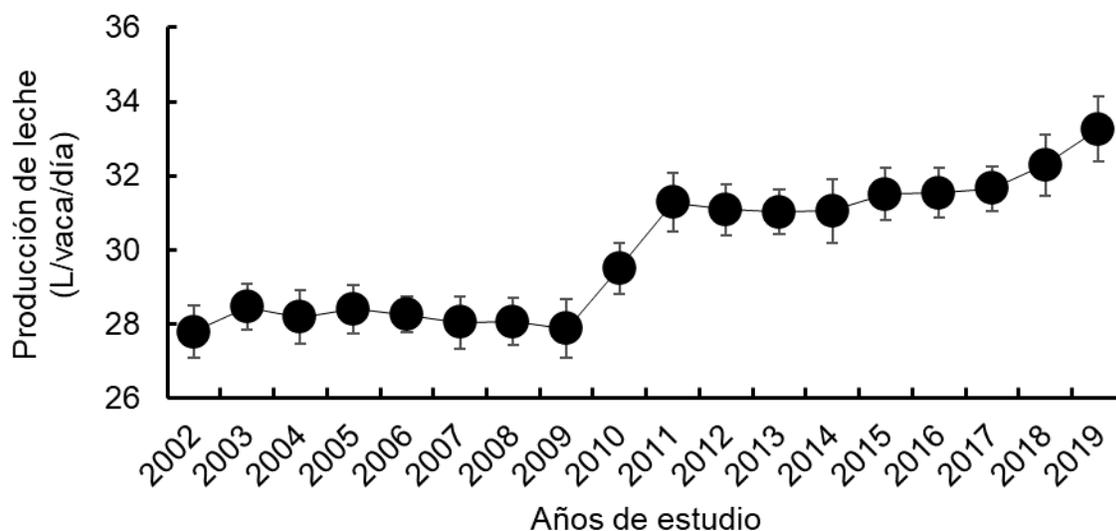


Figura 5. Cambios por año en producción de leche ($P < 0.001$; media \pm EEM) en vacas Holstein de la Comarca Lagunera de México. El estudio se llevó a cabo de 2002-2019.

4.2 Fertilidad a primer servicio

El análisis no detectó diferencia significativa en la fertilidad a través de los meses del año. Aunque de enero a abril se observó una disminución ligera para luego descender notablemente hasta llegar a un mínimo en el mes de septiembre registrando $22.9 \pm 0.8\%$, y posteriormente se incrementó (Figura 6). Además, no se detectó diferencia significativa entre el nivel alto y nivel bajo de producción de leche con respecto al porcentaje de fertilidad ($P > 0.05$).

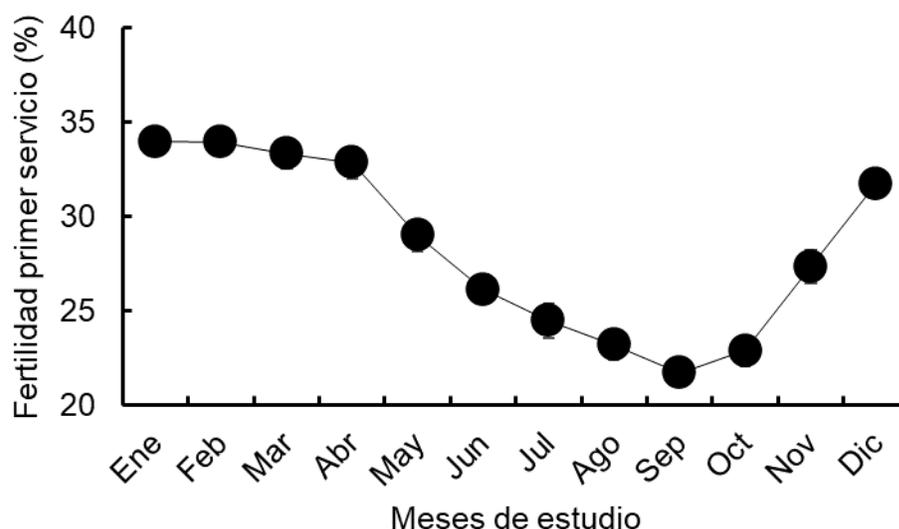


Figura 6. Cambios en el porcentaje de fertilidad ($P > 0.05$) a primer servicio ~~en~~ por mes (media \pm EEM) en vacas Holstein de la Comarca Lagunera de México. El estudio se llevó a cabo de 2002-2019.

El porcentaje de fertilidad varió en forma errática durante los años de 2002 a 2012. Se detectó que a partir del año 2013 a 2019 se observó una tendencia a incrementar y en el año 2017 alcanzó un máximo $30.7 \pm 1.1\%$ ($P > 0.05$; Figura 7).

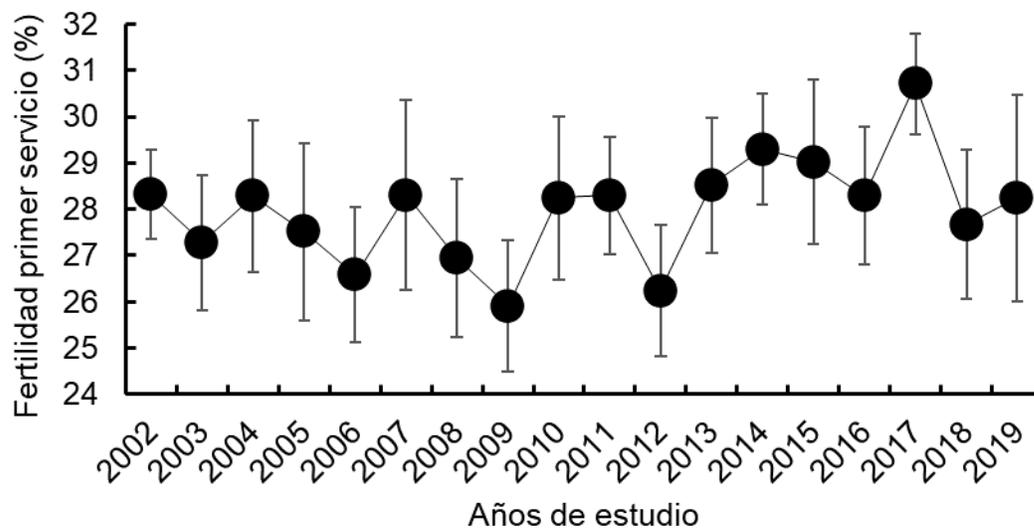


Figura 7. Cambios en el porcentaje de fertilidad a primer servicio ($P > 0.05$) por año (media \pm EEM) en vacas Holstein de la Comarca Lagunera de México. El estudio se llevó a cabo de 2002-2019.

4.3 Anestro postparto

En relación con el comportamiento mensual de anestros en los hatos, se observó que en los meses más calurosos de marzo a septiembre se detectó una ligera disminución, aunque posteriormente se observó una tendencia a incrementar durante los últimos meses del año ($P > 0.05$; Figura 8). En comportamiento anual de los hatos estudiados se observó una tendencia lineal a disminuir el porcentaje de anestros en los hatos estudiados ($P < 0.001$), aunque en 2006 y 2008 se observaron los valores más altos (4.1%; Figura 9).

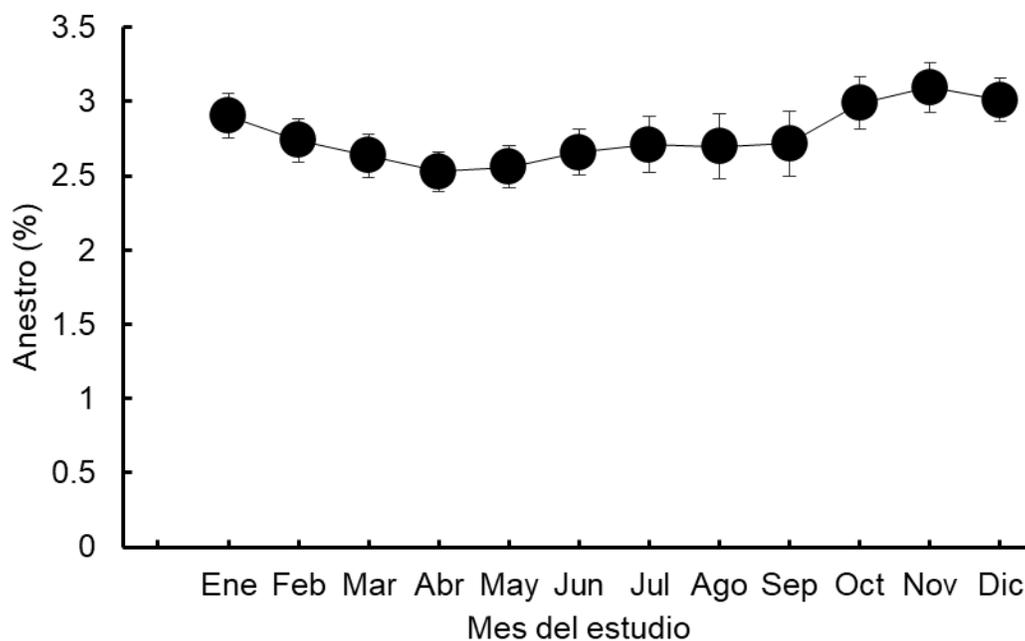


Figura 8. Cambios en el porcentaje de anestros (media \pm EEM) por mes en vacas Holstein de la Comarca Lagunera de México ($P > 0.05$). El estudio se llevó a cabo de 2002-2019.

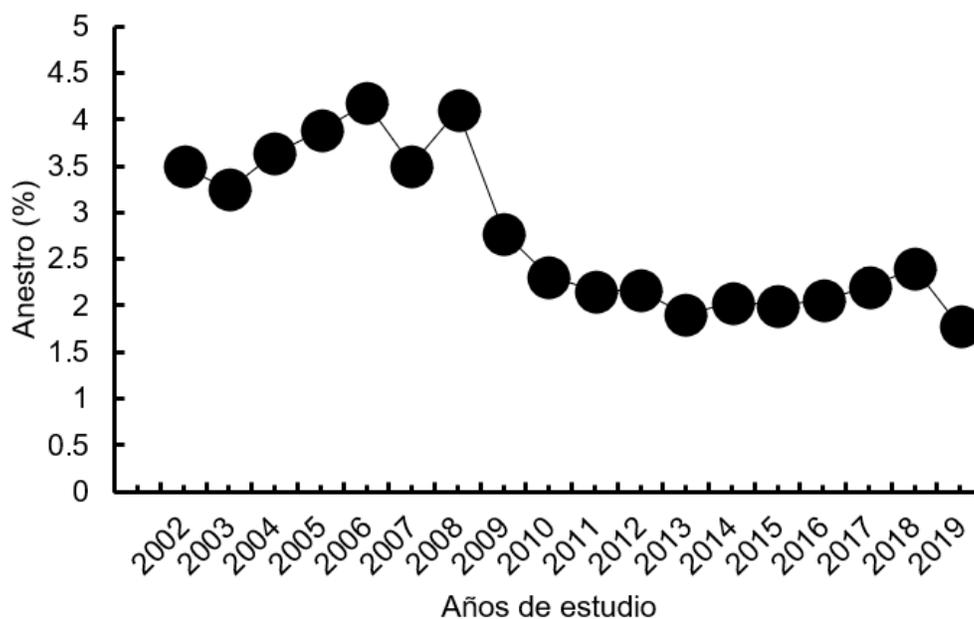


Figura 9. Cambios con tendencia lineal a disminuir el porcentaje de anestros ($P < 0.001$) por año (media \pm EEM) en vacas Holstein de la Comarca Lagunera de México. El estudio se llevó a cabo de 2002-2019.

5. DISCUSIÓN

Los resultados de la presente investigación muestran que durante los años de estudio la producción de leche se incrementó, mientras que la fertilidad mostró un comportamiento variable, y los anestros mostraron una tendencia a disminuir. Entonces en relación a la producción de leche y a la fertilidad los resultados aquí reportados muestran concordancia con las hipótesis declaradas anteriormente. En lo que respecta a los anestros, los actuales resultados rechazan la hipótesis declarada.

Los resultados del presente estudio muestran concordancia con estudios previos donde se reporta que la producción láctea muestra una tendencia a incrementar en los hatos lecheros (Butler, 2003; Huang *et al.*, 2009; Pelt *et al.*, 2016). De hecho, actualmente los hatos lecheros reportan más del doble de producción láctea comparado a los reportes de hace más de 40 años (Pelt *et al.*, 2016). Uno de factores que más efecto tiene en la producción láctea se debe a la intensa selección de toros con alto potencial genético (Haile-Mariam y Pryce 2015). Además, actualmente se necesita producir mayor cantidad de leche para cubrir la demanda de la población humana (Oltenucu y Broom, 2010).

Sin embargo, los resultados del presente estudio muestran que la producción de la leche a través de los meses disminuyó en los meses con más calor medioambiental, y en septiembre fue cuando se registró la producción más baja. Aunque en el presente estudio no se determinó el índice temperatura-humedad (THI). Esta disminución en producción láctea se debe a que las vacas fueron

expuestas a estrés calórico como fue reportado previamente por Fernández *et al.* (2019), y las vacas del presente experimentaron estrés calórico desde mayo donde la carga calórica acumulada repercutió en la producción láctea. Además, las vacas lecheras en condiciones de estrés calórico disminuyen significativamente algunos de los componentes lácteos, como grasa y proteína (Bernabucci *et al.*, 2014). En cambio, la producción láctea se incrementa nuevamente cuando la temperatura ambiental comienza a disminuir, estimulando el consumo de alimento cuando el animal pierde menos energía en tratar de disipar su carga calórica (Flamenbaum y Galon, 2010).

En el presente estudio se observó que durante los años de estudio la fertilidad mostró un comportamiento errático, como se mencionó anteriormente. Además, se observó que en el año 2009 se registró la fertilidad más baja (25.9%) y en el año 2017 fue la más alta (30.7%). Sin embargo, a pesar de la alta variación, se observó que la fertilidad se mantuvo con un 28 a 29% durante once años, y solo en tres años se registró la más baja fertilidad (26%), mientras que un solo año fue de 31%, lo que sugiere que la fertilidad se mantiene dentro de los parámetros aceptables (Pfeiffer *et al.*, 2020).

Los presente resultados muestran que la fertilidad disminuyó a partir del mes de mayo y, es más baja en septiembre, lo cual coincide con los meses más altos en calor ambiental en la región donde se llevó a cabo el actual estudio (Anzures-Olvera *et al.*, 2019; Fernández *et al.*, 2019). Entonces, los presentes resultados son acordes con aquellos estudios que reportan un efecto negativo entre producción láctea y fertilidad (Key *et al.*, 2014; Hill y Wall, 2015). La disminución en la fertilidad

asociada con los meses cuando el calor ambiental es más alto se debe a la disminución en el tamaño de los folículos dominantes que resultan en una anovulación, a la ovulación de ovocitos con anomalías en las células de la granulosa, a la ovulación de ovocitos envejecidos. Además, a nivel uterino la hipertermia compromete el ambiente uterino con una disminución del flujo sanguíneo y a un incremento en la temperatura uterina lo que puede conducir a fallas en la implantación y muerte embrionaria (Mellado *et al.*, 2013; Rhoads, 2020).

En la presente investigación se observó que los porcentajes de anestros se incrementaron en los meses de octubre, noviembre y diciembre, lo que muestra un efecto negativo en aquellas vacas que experimentaron estrés calórico de mayo a septiembre; de hecho, en estos meses el porcentaje de anestros muestran una tendencia a incrementar. Estudios previos indican un efecto negativo del ambiente cálido sobre el eje reproductivo hipotálamo-hipófisis-gónadas (Wolfenson y Roth, 2019; Huber *et al.*, 2020). Sin embargo, los resultados muestran que a través de los años de estudio, el porcentaje de anestros mostró una tendencia a disminuir a partir del año 2009 hasta que finalizó el estudio en el año de 2019. Estos resultados pueden ser una consecuencia del mejoramiento en el manejo integral del hato lechero, donde las vacas reciben dietas integrales más especializadas, se tiene una mayor atención en la mitigación del calor ambiental a través de baños con más frecuencia durante los meses más cálidos, y las vacas están en mejor estado de confort.

6. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados de la presente investigación se concluye que en las vacas Holstein altas productoras de leche, la producción láctea se ha incrementado de 3 a 4 L, la fertilidad al primer servicio es variable, y los anestros disminuyen durante los años de estudio.

7. LITERATURA CITADA

- Anzures-Olvera F, Véliz FG, De-Santiago A, García JE, Mellado J, Macías-Cruz U, Avendaño-Reyes L, Mellado M. 2019. The impact of hair coat color on physiological variables, reproductive performance and milk yield of Holstein cows in a hot environment. *Journal of Thermal Biology* 81:82–88.
- Atashi H, Abdolmohammadi A, Dadpasand M, Asaadi A. 2012. Prevalence, Risk Factors and Consequent Effect of Dystocia in Holstein Dairy Cows in Iran. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 25:447-451.
- Baird AN, Mohamed A, Moore GE, Hawkins JF. 2017. Comparison of omentopexy versus pyloro-omentopexy for treatment of left abomasal displacement in dairy cows: 87 cases (2001–2005). *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 251:1182-1187.
- 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.
- Boeta M, Balcázar AS, Cerbón JL, Hernández MJ, Hernández-Cerón J, Páramo RM, Porras AI, Rangel L, Salgado B, Valencia J, Zarco L. 2018. Endocrinología de la Reproducción. En: Editor Rangel, LP, editor Hernández, M.J. *Fisiología Reproductiva de los Animales Domésticos*. Primera edición. Ciudad Universitaria, Coyoacán, Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México. p.78-93.

Buják D, Szelényi Z, Choukeir A, Kovács L, Kézér FL, Boldizsár S, Szenci O. 2018. A Holstein-Friesian dairy farm survey of postparturient factors influencing the days to first AI and days open in Hungary. *Acta Veterinaria Hungarica*. 66:613–624.

Butler WR. 2003. Energy balance relationships with follicular development, ovulation and fertility in postpartum dairy cows. *Livestock Production Science* 83:211-218.

Christensen BW, Drost M, Troedsson MHT. 2010. Enfermedades del Sistema Reproductor. En: Editor Smith BP, *Medicina Interna de Grandes Animales*. Cuarta Edición. España: Elsevier. p.1419-1484.

CONAGUA. 2013. Comisión Nacional del Agua. Cuencas centrales del Norte Disponible en: <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/cuencas-centrales-del-norte>. Fecha de acceso 9 marzo de 2020.

Cui D, Wang X, Wang L, Wang X, Zhang J, Qin Z, Li J, Yang Z. 2014. The administration of Sheng Hua Tang immediately after delivery to reduce the incidence of retained placenta in Holstein dairy cows. *Theriogenology* 81:645–650.

Davidson AP, Stabenfeldt GH. 2014. Reproducción y Lactancia En: Editor Klein BG, Cunningham *Fisiología Veterinaria*. Quinta edición. Barcelona España: Elsevier. p.408-459.

FAO. Portal lácteo. 2019. Disponible en: <http://www.fao.org/dairy-production-products/products/es/>. Fecha de consulta: 20 de febrero de 2020.

Fernández IG, Ulloa-Arvizu R, Fernández J. 2019. Milk yield did not decrease in large herds of high-producing Holstein cows in semi-arid climate of Mexico. *Tropical Animal Health and Production*. 51:149–154.

FIRA. Panorama Agroalimentario-Leche y Lácteos 2019. Disponible en: <https://www.inforural.com.mx/wp-content/uploads/2019/06/Panorama-Agroalimentario-Leche-y-la769cteos-2019.pdf>. Fecha de consulta: 20 de febrero de 2020.

Flamenbaum I, Galon N. 2010. Management of Heat Stress to Improve Fertility in Dairy Cows in Israel. *Journal of Reproduction and Development*. 56:36-41.

Fleming SA. 2010. Enfermedades Metabólicas Bovinas, Enfermedades Endocrinas y Metabólicas. En: Editor Smith BP, *Medicina Interna de Grandes Animales*. Cuarta Edición. España: Elsevier. p.1364-1369.

Fodor I, Gábor G, Lang Z, Abonyi-Tóth Z, Ózsvári L. 2019. Relationship between reproductive management practices and fertility in primiparous and multiparous dairy cows. *The Canadian Journal of Veterinary Research*. 83:218–227.

Furukawa E, Masaki T, Sakaguchi K, Bo M, Yanagawa Y, Ueda K, Nagano M. 2020. Relationship between the timing of the first postpartum ovulation and antral follicle counts in Holstein cows. *Journal of Ovarian Research*. 13:1-9.

Galvão KN, Higgins CH, Zinicola M, Jeon SJ, Korzec H, Bicalho RC, 2019. Effect of pegbovigrastim administration on the microbiome found in the vagina of cows postpartum. *Journal of Dairy Science*. 102:3439–3451.

Genís S, Arís A, Kaur M, LA-Cerri R. 2018. Effect of metritis on endometrium tissue transcriptome during puerperium in Holstein lactating cows. *Theriogenology*. 122:116-123.

Goff, JP. 2010. Calcio, Magnesio y Fosforo Enfermedades Endocrinas y Metabólicas. En: Editor Smith BP, *Medicina Interna de Grandes Animales*. Cuarta Edición. España: Elsevier. p.1369-1372.

Grimard, B. Marquant-Leguienne, B. Remy, D. Richard, C. Nuttinck, F. Humblot, P. Ponter A A. 2012. Postpartum Variations of Plasma IGF and IGFbps, Oocyte Production and Quality in Dairy Cows: Relationships with Parity and Subsequent Fertility. *Reproduction in Domestic Animals*. 4:183–194.

Gutiérrez C, Rangel L, Lassala A. 2008. Pubertad, Ciclo Estral y Estacionalidad. En: Editor Galina, C, editor Valencia, J. *Reproducción de los Animales Domésticos*. Tercera Edición. México: Limusa. p.85-116.

Haile B, Yoseph M. 2018. Reproductive Performance of Holstein Friesian Dairy Cows at Alage Dairy Farm, Ethiopia. *Journal of Dairy and Veterinary Sciences*. 7:1-8.

- Haile-Mariam M, Pryce JE. 2015. Variances and correlations of milk production, fertility, longevity, and type traits over time in Australian Holstein cattle. *Journal of Dairy Science*. 98:7364-7379.
- Heidari M, Kafi M, Mirzaeia A, Asaadi A, Mokhtari A. 2019. Effects of follicular fluid of preovulatory follicles of repeat breeder dairy cows with subclinical endometritis on oocyte developmental competence. *Animal Reproduction Science*. 205:62–69.
- Heppelmann M, Krach K, Krueger L, Benz P, Herzog K, Piechotta M, Hoedemaker M, Bollwein H. 2015. The effect of metritis and subclinical hypocalcemia on uterine involution in dairy cows evaluated by sonomicrometry. *Journal of Reproduction and Development*. 61:665-669.
- Hernández A. 2018. Supervivencia del Embrión Bovino. Primera Edición. Bogotá, DC, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. p.15-23.
- Hernández-Cerón J. 2012. Fisiología Clínica de la Reproducción de Bovinos Lecheros. Primera Edición. Coyoacán, México DF: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Hill DL, Wall E. 2015. Dairy cattle in a temperate climate: the effects of weather on milk yield and composition depend on management. *Animal*. 9:138–149.
- Huang C, Tsuruta S, Bertrand JK, Misztal I, Lawlor TJ, Clay JZ. 2009. Trends for conception rate of Holsteins over time in the southeastern United States. *Journal of Dairy Science*. 92:4641–4647.

Huber E, Notaroa US, Reccea S, Rodríguez FM, Ortega HH, Salvetti NR, Rey F. 2020. Fetal programming in dairy cows: Effect of heat stress on progeny fertility and associations with the hypothalamic-pituitary-adrenal axis functions. *Animal Reproduction Science* 216:1-9.

Jainudeen, MR, Hafez ESE. 2002. Ciclos Reproductivos. En: Editor Hafez ESE, editor Hafez B, *Reproducción e Inseminación Artificial en Animales*. Cuarta Edición. México, DF: McGraw-Hill Interamericana. p.163-177.

Key N, Sneeringer S, Marquardt D. 2014. Climate change, heat stress, and U.S. dairy production, ERR-175, U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service. <https://ageconsearch.umn.edu/bitstream/186731/2/ERR175.pdf>. Consulta: 21 de diciembre de 2020.

Krause ART, Pfeifer LFM, Montagner P, Weschenfelder MM, Schwegler E, Lima ME, Xavier EG, Brauner CC, Schmittc E, Del Pino FAB, Martins CF, Corrêa MN, Schneidera A. 2014. Associations between resumption of postpartum ovarian activity, uterine health and concentrations of metabolites and acute phase proteins during the transition period in Holstein cows. *Animal Reproduction Science* 145:8–14.

Kyeong-Hoon J, Ursula BK. 2006. Gonadotropin-Releasing Hormone Regulation of Gonadotropin Biosynthesis and Secretion. In: Editor Neill, JD, editor. *Knobil and Neills Physiology of Reproduction*, 3th ed. USA: Elsevier Academic Press. p.1635-1677.

- Leesen RV, Tetens J, Stamer E, Junge W, Thaller G, Krattenmacher N. 2014. Effect of genetic merit for energy balance on luteal activity and subsequent reproductive performance in primiparous Holstein-Friesian cows. *Journal of Dairy Science*. 97:1128–1138.
- Little MW, O'Connell NE, Ferris CP. 2016. A comparison of individual cow versus group concentrate allocation strategies on dry matter intake, milk production, tissue changes, and fertility of Holstein-Friesian cows offered a grass silage diet. *Journal of Dairy Science*. 99:4360–4373.
- Mahen PJ, Williams HJ, Smith RF, Grove-White D. 2018. Effect of blood ionised calcium concentration at calving on fertility outcomes in dairy cattle. *Veterinary Record*. 1-6.
- Mellado M, Sepulveda E, Meza-Herrera C, Veliz FG, Arevalo JR, Mellado J, De-Santiago A. 2013. Effects of heat stress on reproductive efficiency of high yielding Holstein cows in a hot-arid environment. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 26:193-200.
- 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*. 102:1–12.
- Nogueira MFG, Fernandes P, Ereno RL, Simões RAL, Buratini J, Barros,CM. 2010. Luteinizing Hormone Receptor (LHR): basic concepts in cattle and other mammals. A review. *Animal Reproduction*. 7:51-64.

- Oltenacu PA, Broom DM. 2010. The impact of genetic selection for increased milk yield on the welfare of dairy cows. *Animal Welfare*. 19:39-49.
- Ouellet V, Cabrera VE, Fadul-Pacheco L, Charbonneau E. 2019. The relationship between the number of consecutive days with heat stress and milk production of Holstein dairy cows raised in a humid continental climate. *Journal of Dairy Science*. 102:8537-8545.
- Peisker K, Staufienbiel R, Engelhard T, Pieper L. 2019. Course of the energy balance in the early lactation of Holstein-Friesian cows calculated according to 3 different models. *Thieme Connect* 4:346–354.
- Pelt MLV, Jong G, Veerkamp RF. 2016. Changes in the genetic level and the effects of age at first calving and milk production on survival during the first lactation over the last 25 years. *Animal*. 10:2043–2050.
- Peter AT, Vos PLAM, Ambrose DJ. 2009. Postpartum anestrus in dairy cattle. *Theriogenology*. 71:1333–1342.
- Pfeiffer J, Gandorfer M, Ettema JF. 2020. Evaluation of activity meters for estrus detection: A stochastic bioeconomic modeling approach. *Journal of Dairy Science*. 103:492–506.
- Pinedo P, Vélez J, Solano G, Naves J, Schuenemann GM, Risco C. 2017. Effect of oral calcium administration on the cure and reproductive performance of Holstein cows diagnosed with puerperal metritis. *Journal of Dairy Science*. 100:2917-2927.

Piñeyrúa JTM, Fariña SR, Mendoza A. 2018. Effects of parity on productive, reproductive, metabolic and hormonal responses of Holstein cows. *Animal Reproduction Science*. 191:9-21.

Proudfoot KL, Huzzey JM, Keyserlingk-Von MAG. 2009. The effect of dystocia on the dry matter intake and behavior of Holstein cows. *Journal of Dairy Science*. 92:4937–4944.

Rajkovic A, Pangas SA, Matzuk MM. 2006. Follicular Development: Mouse, Sheep, and Human Models. In: Editor Neill, JD, editor. *Knobil and Neills Physiology of Reproduction*, 3th ed. USA: Elsevier Academic Press. p.383-410.

Rangel L. 2018. Ciclo estral. En: Editor Rangel, LP, editor Hernández, MJ. *Fisiología Reproductiva de los Animales Domésticos*, Primera edición. Ciudad Universitaria, Coyoacán, Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México. p.104-130.

Rodney RM, Celi P, Scott W, Breinhild K, Lean IJ. 2015. Effects of dietary fat on fertility of dairy cattle: A meta-analysis and meta-regression. *Journal of Dairy Science*. 98:5601–5620.

Rhoads ML. 2020. Effects of periconceptional heat stress on primiparous and multiparous daughters of Holstein dairy cows. *Theriogenology* 150:458-463.

Rutherford AJ, Oikonomou G, Smith RF. 2016. The effect of subclinical ketosis on activity at estrus and reproductive performance in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. 99:4808-4815.

Santos JEP, Rutigliano HM, Filho MF. 2009. Risk factors for resumption of postpartum estrous cycles and embryonic survival in lactating dairy cows. *Animal Reproduction Science* 110:207–221.

Schüller LK, Burfeind O, Heuwieser W. 2014. Impact of heat stress on conception rate of dairy cows in the moderate climate considering different temperature–humidity index thresholds, periods relative to breeding, and heat load indices. *Theriogenology*. 81:1050–1057.

SIAP-SADER. Panorama Agroalimentario 2019. Disponible en: https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2019/Atlas-Agroalimentario-2019. Fecha de consulta: 20 de febrero de 2020.

Sigdel A, Abdollahi-Arpanahi R, Aguilar I, Peñagaricano F. 2019. Whole Genome Mapping Reveals Novel Genes and Pathways Involved in Milk Production Under Heat Stress in US Holstein Cows *Frontiers in Genetics*. 10:1-10.

Silper BF, Madureira AML, Polsky LB, Soriano S, Sica AF, Vasconcelos JLM, Cerri RLA. 2017. Daily lying behavior of lactating Holstein cows during an estrus synchronization protocol and its associations with fertility. *Journal of Dairy Science*. 100:8484–8495.

Stouffer RL. 2006. Structure, Function, and Regulation of the Corpus Luteum. In: Editor Neill, JD, editor. *Knobil and Neills Physiology of Reproduction*, 3th ed. USA: Elsevier Academic Press, p.475-509.

Süss D, Iwersen M, Schweinzer V, Gusterer E, Kanz P, Krieger S, Pothmann H, Wagener K, Hoelker M, Tesfaye D, Schellander K, Helmbrecht A, Parys C, Drillich M. 2019. Supplementing rumen-protected methionine to lactating multiparous dairy cows did not improve reproductive performance. *Reproduction in Domestic Animals*. 54:1265–1273.

Toledo AHO, Ruiz LFJ, Vázquez PCG, Berruecos VJM, Elzo MA. 2014. Parámetros genéticos para producción de leche de ganado Holstein en dos modalidades de control de producción. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 5:471-485.

Viramontes UF, Núñez GH, Reta DGS, Flores HE, 2015. Balance regional de nitrógeno en el sistema de producción leche-forraje de la Comarca Lagunera, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 6:377-392.

Wolfenson D, Roth Z. 2019. Impact of heat stress on cow reproduction and fertility. *Animal Frontiers*. 9:32-37.

Zarco, L. 2018. Endocrinología de la reproducción. En: Editor Rangel, LP, editor Hernández, M.J. *Fisiología Reproductiva de los Animales Domésticos*, Primera edición. Ciudad Universitaria, Coyoacán, Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México. p.78-91.