

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



Tendencias en producción de leche y fertilidad en vacas Holstein desde 2002 a 2022
en hatos de la comarca lagunera de México

Por:

Ricardo Gutiérrez Fonseca

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Torreón, Coahuila, México
Febrero 2025

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

Tendencias en producción de leche y fertilidad en vacas Holstein desde 2002 a 2022 en
hatos de la comarca lagunera de México

Por:

Ricardo Gutiérrez Fonseca

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 Ulloa Arvizu
Vocal externo


Dr. Juan Carlos Martínez Alfaro
Vocal suplente


MC José Luis Francisco Sandoval Elías
Coordinador de la División Regional de Ciencia Animal



Torreón, Coahuila, México
Febrero 2025

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

Tendencias en producción de leche y fertilidad en vacas Holstein desde 2002 a 2022 en
hatos de la comarca lagunera de México

Por:

Ricardo Gutiérrez Fonseca

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

MÉDICO 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 externo


MC. José Luis Francisco Sandoval Elías
Coordinador de la División Regional de Ciencia Animal



Torreón, Coahuila, México
Febrero 2025

AGRADECIMIENTOS

A mi universidad, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro UL, por haberme recibido con los brazos abiertos, por las facilidades que me brindó durante toda mi formación, por brindarme de comer en el comedor universitario y por darme asilo durante gran parte de la carrera lo cual me permitió concluir mi profesión, gracias mi **ALMA MATER** por permitirme culminar mis estudios como Médico Veterinario Zootecnista.

A mis primos, familia Neri Meléndez, por apoyarme al inicio de esta gran aventura, por estar siempre que los necesite y por sus palabras de aliento que hicieron no sentirme solo en toda mi preparación académica.

A la Dra. Ilda Graciela Fernández García, por ser una gran maestra la cual con su gran dedicación a la investigación me sirvió de mucho en mi formación académica, por ser una gran tutora para la realización de esta tesis, por su paciencia y por sus consejos que me motivaron para concluir el presente trabajo.

Al Dr. Jorge Fernández Díaz de León, por proporcionarme la base de datos de los establos en la Comarca Lagunera para llevar a cabo la presente 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, el cual fue un gran guía por su atención que me brindó y por su gran ayuda para los datos estadísticos que requirió esta tesis, por estar siempre atento para cualquier duda.

Al Dr. Gonzalo Fitz Rodríguez y al Dr. Juan Carlos Martínez Alfaro, por su ayuda y por su participación para la revisión de la presente tesis y por ser unos grandes doctores lo cuales me aportaron de su conocimiento durante mi formación académica.

DEDICATORIA

A mis padres Sra. Victorina Fonseca Cortes y al Sr. Ricardo Gutiérrez Pineda, por su gran apoyo que me brindaron para lograr tener una profesión la cual quise desde niño, por sus consejos y enseñanzas que me dieron durante toda mi formación profesional, por motivarme a conseguir lo que me propusiera y por no dejarme solo durante este gran camino en mi vida.

A mis hermanos Milton Adrián Gutiérrez Fonseca y Ángel Heriberto Gutiérrez Fonseca, por brindarme su total apoyo para concluir mi profesión, por sus consejos y su ayuda para llegar hasta lo que soy hoy en día.

A mi novia Dolores Nahíve Diaz Montáñez, por su gran amor incondicional que me brinda y me motiva día con día, por su gran apoyo y motivación para realizar la presente tesis, por enseñarme a no darme por vencido para lograr lo que me proponga y por no dejarme solo en los tiempos difíciles.

A mis amigos, Gabriel Tamayo, Selenee Alonzo y Yair Morales, por estar siempre conmigo y ser una segunda familia durante toda la carrera, por estar en las buenas y malas, por su cariño y amistad que me brindaron día a día.

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue evaluar las tendencias en la producción de leche y fertilidad de vacas Holstein en hatos de la Comarca Lagunera desde el año 2002 al año 2022. La producción de leche y la fertilidad se evaluaron mediante Ecuaciones de Estimación Generalizadas (EEG) utilizando las rutinas implementadas en el procedimiento de Modelos Lineales Generalizados. El modelo incluyó el efecto del sujeto (hato) y efecto intra-sujeto año y mes y su interacción. Para la selección del mejor modelo y de la estructura de correlación con el 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). Los resultados indicaron que la producción de leche y la fertilidad, de acuerdo al modelo general, el efecto del año y del mes fueron significativos ($P < 0.001$). Se observó tendencia positiva en la producción de leche, mientras que en la fertilidad se presentaron altibajos, aunque con una tendencia positiva durante los años de estudio. En la producción de leche de un año a otro para cada mes se detectó diferencia significativa ($P < 0.001$). En los meses de junio a septiembre se obtuvieron valores más bajos que en los meses de enero y febrero ($P < 0.05$), es decir, en el mes de enero se presentó un cambio en aumento en la producción de leche de 0.44 a 0.56 Litros/vaca/día, por año, mientras que en el mes de agosto de cada año del estudio solo aumentó 0.29 y 0.40 Litros/vaca/día, por año. Sin embargo, también en el mes de agosto se observó la mayor disminución de producción de leche con -0.119 L/vaca/día, por año ($P = 0.083$). No se detectó diferencia significativa en fertilidad de los meses de junio a octubre ($P > 0.05$); esto es, no hay cambio en la fertilidad a través de los años de estudio. La correlación entre la producción de leche y la fertilidad en los meses de julio a septiembre es diferente de cero ($P > 0.05$); mientras que en los meses de diciembre, enero y febrero la correlación fue moderada ($r_s > 0.2$; $P < 0.001$) y en los meses de marzo, abril, mayo junio octubre y noviembre la correlación fue baja ($P < 0.05$). Se concluye que tanto la producción de leche como la fertilidad mostraron variaciones con tendencia positiva durante los años de estudio. La más alta producción de leche fue en el mes de enero y la más baja ocurrió es en el mes de agosto. Con respecto a la fertilidad,

de junio a septiembre se registraron los porcentajes más bajos de fertilidad y los más altos fueron en enero y febrero.

Palabras clave: Producción de leche, Vacas Holstein, Fertilidad, Estrés Calórico

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA	ii
RESUMEN	iii
ÍNDICE	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE CUADROS	vii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. HIPÓTESIS	3
3. OBJETIVO GENERAL	3
4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
5. REVISIÓN DE LITERATURA	4
5.1. Secreción y producción de leche en la vaca Holstein	4
5.2. Factores que afectan la fertilidad en las vacas lecheras	10
5.2.1. Estrés calórico.....	11
5.2.2. Deficiencias nutricionales.....	11
5.2.3. Infertilidad en la vaca	14
6. MATERIALES Y MÉTODOS	16
6.1 Área de estudio.....	16
6.2 Manejo de los hatos lecheros	16
6.3 Registros	17
6.4 Análisis estadístico	17
7. RESULTADOS	19
7.1 Producción de leche y fertilidad	19
8. DISCUSIÓN	24
9. CONCLUSIONES	27
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Representación gráfica de la curva de la lactancia en vacas lecheras la cual marca la fase 1 y la fase 2 de la producción de leche. Tomado de Piccardi et al., 2019.....	5
Figura 2	Cuadro del índice de temperatura-humedad para determinar el nivel de estrés calórico en vacas lecheras. Adaptado de Collier et al., 2012.	7
Figura 3	Esquema para la medición de la condición corporal en vacas lecheras. Tomado de MSD Salud Animal, 2023.	13
Figura 4	Medias estimadas de fertilidad (%) y de producción de leche (Lts/vaca/día) en hatos de vacas Holstein en la Comarca Lagunera de México de los años de 2002 a 2022.	19
Figura 5	Medias estimadas en fertilidad (%) y producción de leche (Lts/vaca/día) en hatos de vacas Holstein en la Comarca Lagunera de México a través de los meses de estudio.	20

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1	Coeficientes de regresión lineal para año de producción de leche (Lts/vaca/día) en cada uno de los meses con su error estándar (ee) y el intervalo de Wald al 95% de confiabilidad. § $P < 0.001$	21
Cuadro 2	Coeficientes de regresión lineal por año en fertilidad en cada uno de los meses con su error estándar (ee) y el intervalo de Wald al 95% de confiabilidad.	22
Cuadro 3	Correlaciones de Spearman de la producción de leche y la fertilidad en hatos de vacas Holstein en la Comarca Lagunera de México del año 2002 a 2022.....	23

1. INTRODUCCIÓN

La leche es un alimento que posee gran cantidad de nutrientes como calcio, proteínas y grasas de alta calidad, energía alimentaria, entre otros. Es por ello que se considera prioridad el auto sustento nacional de este producto alimenticio. Conforme el crecimiento demográfico, la urbanización y los regímenes alimenticios se aceleran, la demanda de leche y sus derivados también aumenta para satisfacer las necesidades de dicho crecimiento urbano (SIAP, 2021). Mismos datos del (SIAP, 2021) en conjunto con el Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (CEDRSSA, 2019) muestran que la producción de leche en México se incrementó a partir del año 2000 al 2021, con 9 311 millones de litros producidos en el 2000, incrementándose a 12 849 millones de litros en el 2021 (SIAP, 2021). Sin embargo, nuestro país ocupa el primer lugar en el mundo en importar este producto en forma de leche en polvo. México importa más leche de la que exporta y esto se traduce en un déficit de este alimento. En el año 2007 al 2012 se importaron alrededor de 2 000 millones de litros por año lo que significa un 20% de la producción nacional, mientras que las exportaciones oscilaban los 160 millones de litros por año (Loera, 2017). Estas cifras dan cabida a oportunidad de crecimiento para aumentar el 20% del déficit de leche que tiene el país.

Uno de los factores medioambientales que enfrentan los productores de leche en la Comarca Lagunera para la producción de leche es el estrés calórico. La temperatura global ha aumentado 1.0°C arriba del promedio desde el siglo 19 esperándose un aumento más de 1.5 °C entre los años 2020 y 2052, este aumento de temperatura ambiental provoca cambios fisiológicos y conductuales en la vaca ya que sufrirá de estrés calórico provocado por las altas temperaturas, dichos cambios en la vaca provocan una marcada disminución en la producción de leche y más en vacas genéticamente elegidas para aumentar la producción de leche las cuales, al aumentar su consumo de alimento, también se producirá mayor calor metabólico lo cual incrementa la sensibilidad de la vaca a cursar con dicho estrés (Stefanska *et al.*, 2024).

Otro aspecto que afecta es la baja fertilidad en las vacas causada por factores medioambientales tales como el estrés calórico, esto impide el crecimiento y prolificidad en todo el hato, y por consecuencia limita la rentabilidad y sustentabilidad del mismo (Cruz, 2006).

Es por esto que el presente estudio se llevó a cabo para investigar el comportamiento que se tuvo en la producción de leche y fertilidad desde el año 2002 al año 2022 en 15 hatos lecheros de vacas Holstein en la Comarca Lagunera de México.

2. HIPÓTESIS

- i) La producción de leche se ha incrementado a través de los años en los hatos de vacas Holstein de la comarca lagunera.
- ii) La fertilidad de las vacas Holstein en los hatos de la Comarca Lagunera disminuye conforme aumenta la temperatura ambiental.
- iii) La disminución de la fertilidad en las vacas Holstein en los hatos de la Comarca Lagunera puede estar asociada al alto nivel de producción de leche que presentan las vacas en la actualidad

3. OBJETIVO GENERAL

Evaluar las tendencias en la producción de leche y fertilidad de vacas Holstein en hatos de la Comarca Lagunera desde el año 2002 al año 2022.

4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- i) Determinar las variaciones en la producción de leche de vacas Holstein en hatos de la Comarca Lagunera de los años 2002 a 2022.
- ii) Determinar las variaciones en el porcentaje de fertilidad en las vacas Holstein en hatos de la Comarca Lagunera de los años de 2002 a 2022.
- iii) Determinar si existe correlación entre la fertilidad, producción de leche y la temperatura ambiental en hatos de la Comarca Lagunera.

5. REVISIÓN DE LITERATURA

Los factores que afectan la disminución de la producción de leche pueden ser de tipo medioambiental, nutricional o de salud en la vaca (Mera *et al.*, 2017).

5.1. Secreción y producción de leche en la vaca Holstein

Esta producción de leche comienza antes del parto, actuando hormonas como los estrógenos y progesterona lo cual vuelve sensible la glándula mamaria para la acción de prolactina y glucocorticoides y de esta manera iniciar la secreción de la leche. Los estímulos de la contracción uterina al momento del parto y los estímulos de succión u ordeño aumentan la producción de prolactina y glucocorticoides favoreciendo la secreción de leche (Prieto, 2018).

La producción de leche se mide en dos periodos o fases las cuales comienzan desde el momento del parto al producirse la leche llegando hasta un punto máximo llamado pico de lactancia la cual marca la primera fase de la producción y la segunda fase que es la de la declinación de la producción de la leche, es decir, desde el pico de la lactancia hasta el periodo seco tal como se muestra en la figura 1, dicho comportamiento de la producción es conocido como curva de lactancia (Macciotta *et al.*, 2016).

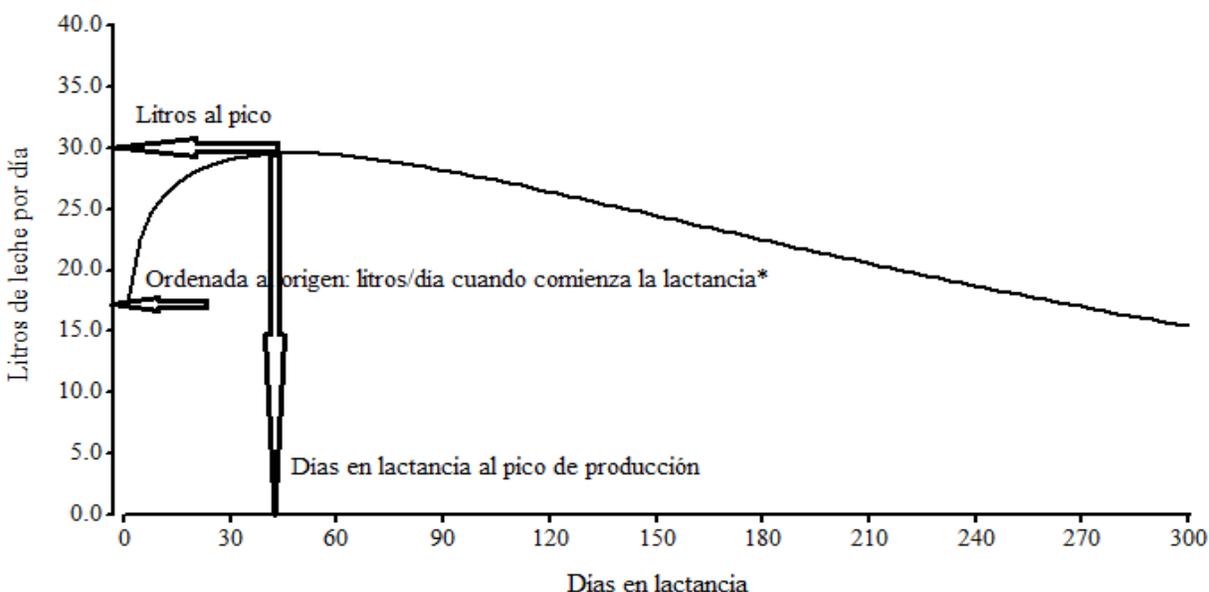


Figura 1 Representación gráfica de la curva de la lactancia en vacas lecheras la cual marca la fase 1 y la fase 2 de la producción de leche. Tomado de Piccardi et al., 2019.

Cuando la vaca esta en su punto máximo de producción de leche las células secretoras comienzan a renovarse y por consecuente comienza a disminuir la producción, es por esto que en el manejo del hato lechero en sistemas de producción intensivos se hace el manejo de secado de la vaca en estado de preñez (7 meses de gestación), cuando no se hace esta práctica las células secretoras se tienden a hacer viejas lo que nos indica que esas células son menos activas y por ende producen menor cantidad de leche (Madsen *et al.*, 2008).

La producción de leche en la vaca depende en gran medida en la cantidad producida de células epiteliales secretoras durante el periodo seco y la buena funcionalidad de las mismas en la glándula mamaria, por tanto, existen factores que favorecen el aumento o la disminución de la producción de leche (Gross, 2022).

En la época de verano donde la temperatura ambiental sobrepasa la temperatura corporal de la vaca se comienza a tener problemas por estrés calórico, el cual esta asociado a una disminución significativa en la producción de leche (Sogoe y Minca, 2024). El estrés calórico es el escenario ambiental que altera el balance entre la acumulación de calor y la habilidad del animal para disipar el calor (Renaudeau *et al.*, 2012).

El ganado lechero es una de las especies que se ha identificado por ser de las más susceptibles a las temperaturas elevadas y a la humedad relativa del entorno, alterando así su zona termoneutral (Kadzere *et al.*, 2002).

Para determinar el nivel de estrés calórico en el ganado lechero se utiliza el índice temperatura humedad (THI) el cual es expresado en unidades. La respuesta al estrés calórico en el ganado es expresada a través de signos fisiológicos como un intento para mantener su homeostasis. Cuando la temperatura atmosférica excede la temperatura corporal normal, el ganado bovino deberá disipar el calor para mantener su temperatura normal. Una de las consecuencias es el incremento en la frecuencia cardíaca, la cual causa aumento en el flujo sanguíneo a la superficie corporal. Ello permite que el calor del animal sea transferido al medio ambiente. Además de que inician los mecanismos evaporativos en el animal, ello induce un

incremento en la frecuencia cardíaca y la sudoración. Estos mecanismos permiten que el calor sea removido del cuerpo mediante el incremento de humedad y en consecuencia es evaporada de las superficies corporales al medio ambiente (Berman, 2006). Posteriormente, el ganado lechero incrementará el consumo de agua con la finalidad de contrarrestar la pérdida de agua por los mecanismos evaporativos con la finalidad de evitar la deshidratación (Lees *et al.*, 2019).

De hecho, el ganado lechero tiene una zona termoneutral bien definida; fuera de esta zona, los animales experimentan dificultades para mantener la homeostasis. Por ejemplo, el ganado lechero con un THI de 70 unidades o menos se considera que está en categoría normal. En cambio, los animales con un THI de 71–78, 79–83 y >83 se consideran que están en estado de alerta, peligro y emergencia, respectivamente. (Du Preez, 2000). Está demostrado que cuando la vaca se encuentra con una puntuación de 72 unidades de THI, la producción de leche se comienza a ver afectada llegando a disminuir de un 10 a un 40% en comparación a la producción en la temporada de mayor producción que generalmente son en los meses de invierno, o bien, cuando el estrés calórico es nulo en las vacas (Nanas *et al.*, 2020). En la figura 2 se muestra una tabla del THI donde se clasifican los niveles de estrés calórico ya mencionados generado por la elevada temperatura ambiental.

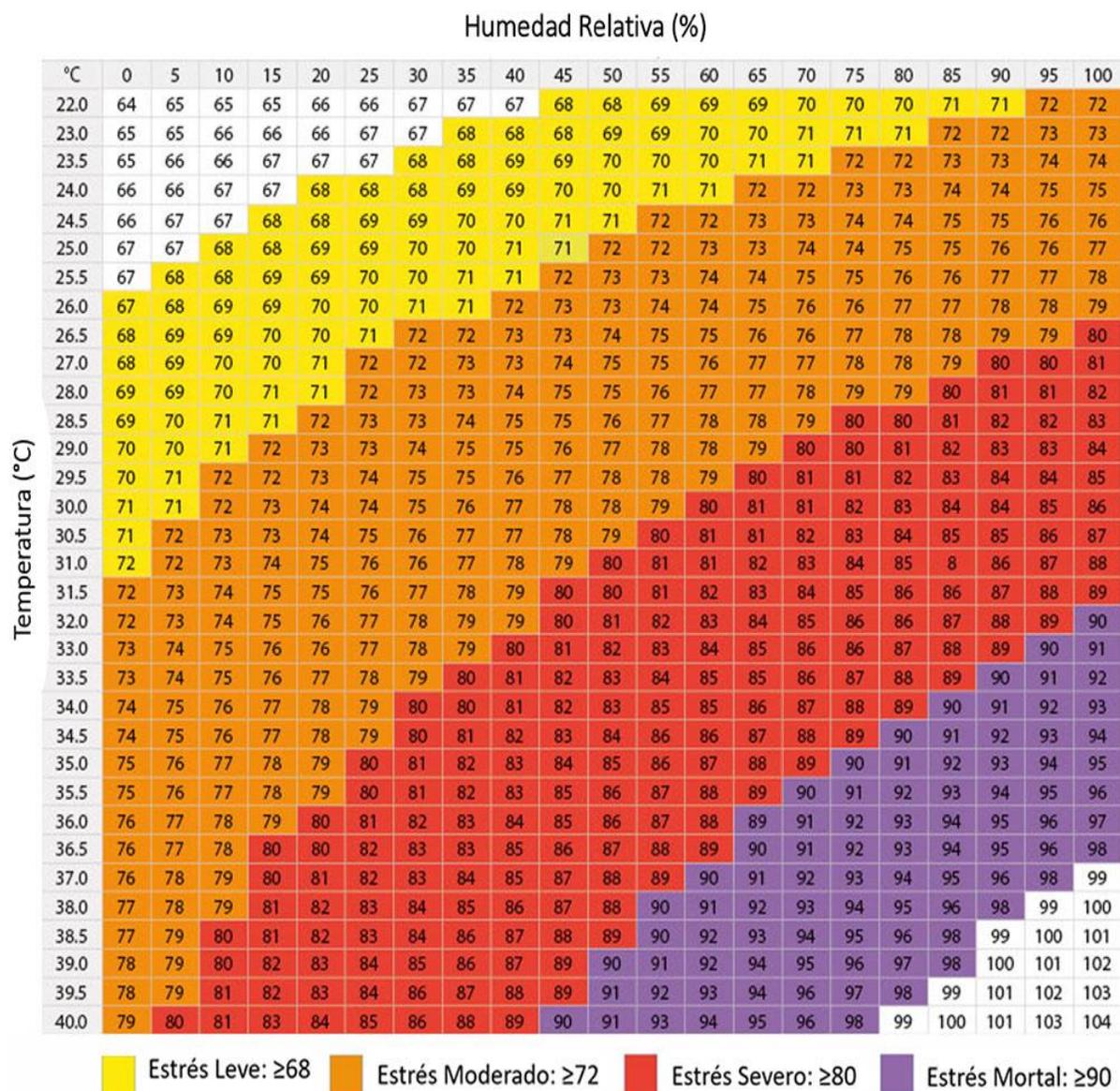


Figura 2 Cuadro del índice de temperatura-humedad para determinar el nivel de estrés calórico en vacas lecheras. Adaptado de Collier et al., 2012.

En relación a la producción de leche y el estrés calórico, estudios previos indican que existe una correlación negativa entre producción de leche y THI con un valor de -0.53. Esta correlación negativa aumenta conforme aumenta el THI (Sánchez *et al.*, 2009).

La selección genética que se ha ido buscando a favor de la producción de leche ha dejado como consecuencia animales más susceptibles al THI con lo cual, está demostrado que vacas altas productoras en condiciones de estrés calórico la

producción de leche disminuirá 0.335 Lts/día y en vacas bajas productoras solamente disminuye 0.158 Lts/día (Cartwright *et al.*, 2023).

El estrés calórico tiene repercusiones incluso desde antes del parto con lo cual la producción de leche se verá disminuida en la lactancia posterior al parto, esto debido a que cuando la vaca se encuentra en estrés calórico antes del parto los niveles de la hormona prolactina (PRL) circulantes en sangre se elevan, que si bien, es una hormona indispensable para la mamogénesis (antes del parto) y la lactogénesis (en lactancia), este aumento PRL antes del parto puede ser contradictorio ya que se ha demostrado que los receptores para PRL se disminuyen en la glándula mamaria, en hígado y linfocitos con lo cual el proceso de regeneración y la proliferación celular de la glándula mamaria se ve reducido y por tanto al momento de la lactancia, la producción de leche se verá disminuida por la reducida proliferación de células secretoras (Cartwright *et al.*, 2023). Durante la hipertermia el ganado lechero disminuye su consumo de materia seca (DMI), lo que significa que el animal está tratando de disminuir su carga calórica provocada por la metabolización del alimento que debe ingerir para que la vaca exprese su potencial productivo (Lees *et al.*, 2019).

Las vacas lecheras con mayor potencial de producción de leche son más propensas a producir mayor calor metabólico a comparación de las de menor producción, esto debido a que su consumo de alimento es mayor para su producción, por tanto, tienen diferentes maneras para disipar dicho calor metabólico, estos métodos dependerán en gran medida a la temperatura ambiental en la que se encuentre, es decir, a mayor temperatura ambiental el método para disipar el calor será por medio de la evaporación (sudoración y jadeo), este método es más efectivo para climas cálidos/secos y se requiere más gaste de energía, otros métodos son por medio de la radiación del calor, la convección y la conducción, estos métodos son mas efectivos cuando la temperatura ambiental es mas suave y no requieren de mucho gasto de energía (Becker *et al.*, 2020).

Se han propuesto soluciones para ayudar a mitigar dicho estrés calórico, diferentes autores señalan 4 aspectos importantes para minimizar este problema, los cuales son: manejo en el consumo del alimento el cual consta de hacer un cambio

en los horarios de tirada del alimento en los pesebres ya que en tiempo de verano se recomienda tirar el mayor volumen de comida en la noche donde la temperatura ambiental baja y se torna más fresco el ambiente, es ahí donde la vaca podrá comer más alimento a comparación del consumo que hacen durante el día, además de utilizar ingredientes en la dieta que no generen tanto calor metabólico; la sombra dentro de los corrales también es esencial para mitigar el estrés calórico; la ventilación natural de la unidad de producción ya que al aumentar el flujo de aire circulante puede mitigar significativamente el estrés calórico, diversos estudios han demostrado que un flujo de aire de 10k/hora puede reducir hasta un 50% el estrés calórico en la vaca y por último el enfriamiento de la vaca por medio de aspersión de agua, algunos autores recomiendan mojar a las vacas en posición de alimentación con 1,5 Lts de agua durante 60 s, seguido de 4 min de secado con un flujo de aire de 10 km/h. Otros sugieren un ciclo de rociado de 3,5 Lts por vaca durante 3 min, seguido de 12 min sin aplicación de agua cuando las temperaturas superan los 21 °C (Sogoe y Minca, 2024).

La nutrición está fuertemente asociada con la producción y la composición de leche ya que depende de la cantidad de nutrientes disponibles en la dieta, que sean de fácil digestión, serán mejor aprovechados con lo cual impulsara una mayor producción de leche (Johnston y Vries. 2018). Según Meléndez *et al.*, 2017 la energía, las proteínas, minerales, fibra y el agua son factores condicionantes para la producción de leche, es decir, se requieren en la dieta para la síntesis de los componentes de la leche, más que para aumentar la producción.

La inflamación de uno o más cuartos mamarios debido a infecciones bacterianas las cuales penetran por los orificios del pezón dan como resultado lesiones intramamarias debido a los productos de metabolización de las bacterias lo cual conduce a una respuesta inflamatoria dentro de la glándula la cual afectará las características físico-químicas de la leche, así como, las características morfológicas de la ubre, esta respuesta inflamatoria es conocida como mastitis (Ávila y Gutiérrez, 2014). La mastitis se puede clasificar en dos tipos, mastitis clínica y mastitis subclínica dependiendo la severidad de la inflamación, dichas formas se diferencian entre si mediante la visibilidad de los signos, es decir, en la forma subclínica no hay

signos visibles que indiquen que la glándula mamaria está en un proceso inflamatorio, esta manera de mastitis solo se puede diagnosticar por medio de la prueba California la cual detecta el nivel de células somáticas que tiene la leche (Brizuela *et al.*, 2018). Opuesto a la mastitis subclínica, la mastitis clínica se caracteriza por ser de signos visibles tales como un evidente cambio de tamaño (inflamación) en el cuarto afectado, hay enrojecimiento y la consistencia es más dura (Ávila y Gutiérrez, 2014). De tal manera que la mastitis es una de las enfermedades que actúan de manera directa en la disminución de la producción de leche futura en las vacas afectadas ya que aproximadamente de un 70 a un 80% de las vacas con mastitis tendrán disminución considerable en su producción (Mera *et al.*, 2017).

En vacas altas productoras son mas propensas a cursar con desordenes metabólicos y a su vez a enfermedades mas comunes en el periparto como son retención de membranas fetales, hipocalcemia, metritis, mastitis, cetosis e hígado graso ya que al producir una mayor cantidad de leche se necesitan de un mayor aporte de energía y nutrientes los cuales no son aportados por la reducida ingesta de alimentos después del parto por lo cual la vaca comenzara a movilizar sus reservas de grasa corporal. Si la vaca es capaz de sobrellevar todos estos factores de riesgo antes del pico de lactancia (80-100 días en leche) entonces serán capaces de sostener esa alta producción de leche (Meléndez *et al.*, 2017).

5.2. Factores que afectan la fertilidad en las vacas lecheras

La fertilidad puede ser definida como la habilidad que tienen las hembras para producir y ovular una célula ovocitaria la cual debe ser capaz de ser fertilizada, además de que la vaca sea capaz de proporcionar las condiciones necesarias para su fertilización y su posterior supervivencia, y crear el ambiente óptimo para el desarrollo embrionario y que al final se llegue a obtener una cría sana (Pursley y Martins, 2011). La disminución de la fertilidad es causada ya sea por factores ambientales, nutricionales e infecciosos, así como por sus interacciones que hacen difícil determinar las razones exactas en su disminución (Walsh *et al.*, 2011).

5.2.1. Estrés calórico.

El estrés calórico en las vacas lecheras repercute directamente en la presentación del estro ya que tiene influencia en la producción de las hormonas sexuales a nivel hipotálamo-hipófisis (eje hipotálamo-hipófisis), su pulsatilidad se ve afectada y por tanto los signos evidentes (moco cervical característico y la monta entre vacas) del estro no se presentan en la vaca, esto a su vez puede ocasionar alteraciones en el crecimiento folicular por la falta de secreción necesaria de estas hormonas conllevando a la inhibición del desarrollo embrionario. Las células germinales también son afectadas por el estrés por calor, por ejemplo, la calidad de los ovocitos se ve disminuida (0.1 mm por cada aumento en la puntuación de THI) lo cual afecta directamente la fertilidad de todo el hato (Córdova *et al.*, 2016).

A nivel ovárico-folicular se ve afectado desde la primera ola de secreción de la hormona folículo estimulante (FSH) ya que se ha demostrado que vacas que cursaron con estrés calórico se alteró la dominancia folicular, es decir, los folículos dominantes presentaron un diámetro más pequeño, con menor líquido folicular y con células de la granulosa menos funcionales durante el día 8 del ciclo estral, esto conlleva a una disminución del porcentaje de que el folículo sea viable al término de su crecimiento. De esta manera se forma una cadena negativa llegando afectar la tasa de concepción por causas de deterioro folicular a causa del estrés calórico, a nivel del desarrollo embrionario y por el deterioro ocasionado en el folículo preovulatorio se induce una disminución en la producción de progesterona en el cuerpo lúteo causando a su vez alteraciones en el entorno uterino el cual afecta directamente la supervivencia del embrión (Wolfenson *et al.*, 1995).

Se ha demostrado que el estrés por calor disminuye la duración e intensidad del estro hasta en 5-6 horas en aproximadamente el 80% del hato, de hecho, disminuye la actividad sexual para no generar más calor metabólico (Flórez, 1994).

5.2.2. Deficiencias nutricionales.

La nutrición es una de las variables de mayor importancia en la producción de leche y fertilidad del ganado lechero por el efecto que causan las deficiencias de nutrientes, así como en los desequilibrios nutricionales que se llegan a hacer en la dieta para mejorar la productividad de la vaca. Las deficiencias nutricionales

repercuten durante los diferentes estados fisiológicos de la vaca, ya que la demanda de nutrientes en cada etapa es diferente, dentro de éstas las más importantes son al final de la gestación, al inicio de la lactancia y en la etapa de crecimiento en las becerras (Rugeles, 2001).

Los factores que afectan la fertilidad por deficiencias nutricionales son un escaso porcentaje de alimentos que proporcionen energía en la dieta, exceso o escasa proteína, deficiencias vitamínicas y desbalances de minerales. La vaca Holstein depende de un buen balance energético, es decir, que la energía proporcionada en la dieta sea la necesaria para suplir las necesidades de mantenimiento y de la producción de leche, de manera natural la vaca antes del parto consume un 30% menos de comida lo cual conduce a un menor consumo de energía o cuando en la dieta existe una baja cantidad de energía mayormente durante el periodo de transición causa problemas metabólicos en el postparto por causa de un balance energético negativo. Dicho desbalance en energía causa problemas reproductivos, ya que se ha demostrado que las vacas que cursan con balance energético negativo (BEM) al inicio de la lactancia presentan mayor número de días en presentar su primer celo postparto debido a la disminución en la actividad ovárica ya que también ocurre lo mismo con las hormonas gonadotrópicas (FSH y LH) son suprimidas desde nivel hipotálamo con la GnRH y a nivel hipófisis con la LH la cual es responsable de la maduración y ovulación del ovocito. La medición de la condición corporal es un método sencillo para evaluar las reservas de grasa principalmente en el ganado lechero, esta medición se hace mediante un sistema puntual, es decir, se toma hasta máximo 5 puntos y mínimo 1 para medir la condición en la que se encuentra la vaca, este sistema permite medir la condición con variaciones de 0.25 puntos donde el punto 1 es una vaca extremadamente delgada, emaciada que no tiene reservas de grasas y la puntuación de 5 es una vaca gorda con grandes reservas de grasa, esto se muestra en la figura 2 (Fedegan, 2021). Al no haber una alimentación adecuada repercute también de manera directa en los parámetros reproductivos de la vaca con lo cual reduce el porcentaje de fertilidad del hato ya que el consumo de materia seca, la condición corporal (CC) y el balance energético están relacionados, es decir, la condición corporal disminuye en el inicio

de la lactancia lo cual es un indicativo de que la vaca está cursando con balance energético negativo, de manera que las vacas que pierden condición corporal después del parto tienden a tener una escasa actividad ovárica postparto con lo cual aumenta el parámetro de días a la concepción. La pérdida de 0.25 unidades de condición corporal aumenta 5.5 días los días abiertos de la vaca, (Campabadal, 2008).



Figura 3 Esquema para la medición de la condición corporal en vacas lecheras. Tomado de MSD Salud Animal, 2023.

La energía en la dieta tiene límites permisibles para su modificación; sin embargo, dichos límites llegan a repercutir en el pico de lactancia ya que la demanda de energía para la producción durante ese periodo es mayor a la proporcionada en la dieta con lo cual la vaca queda en riesgo de entrar en balance de energía negativo. Una solución a esta problemática es incrementar la capacidad de ingestión de alimentos para aumentar el aporte energético diario (ENL/d), esto se logra proporcionando alimento en los pesebres varias veces al día y que puede ser a libre acceso, además de proporcionar el mayor confort posible a la vaca en los corrales (De Luca, 2004). Existen técnicas que permiten medir si la vaca se encuentra en balance energético negativo, la más utilizada, confiable y económica para lechería es por medio de la medición de la CC, cuando la vaca en el postparto baja 1 punto de CC se encuentra en balance energético negativo. Otro método es la medición de componentes como la grasa y proteína en la leche, es decir, cuando la vaca está en balance negativo los niveles de grasa en la leche son altos y los niveles de proteína

son bajos, esta técnica de medición se hace al inicio de la lactancia y está comprobado que aquellas vacas que presentan alto porcentaje de grasa en leche son más predispuestas a que cursen con balance energético negativo (De Luca, 2004).

5.2.3. Infertilidad en la vaca

La fertilidad de la vaca lechera comienza a reiniciarse desde el posparto, comenzando con la involución uterina, reinicio de los procesos de desarrollo folicular a nivel ovárico y ovulación de un folículo dominante. Estos mecanismos continúan para que presente un ciclo estral normal con intervalos regulares de aproximadamente 21 días (Roche, 2006). Sin embargo, en la actualidad, las vacas presentan más del 50% de ciclos estrales anormales en el posparto, dando como resultado un incremento del intervalo parto-primera inseminación (Opsomer *et al.*, 1998) y en consecuencia se disminuyen las tasas de concepción (Garnsworthy *et al.*, 2009).

Se sabe que son diversos los factores de riesgo que participan en el retraso en el inicio a la primera ovulación. Por ejemplo, las vacas primíparas registran más días a la primera ovulación (31.8 ± 8.3 días) comparadas con las vacas multíparas (17.3 ± 8.3 días) (Tanaka *et al.*, 2008). Además, las primíparas registran demanda energética para su crecimiento y lactación y pueden tener mayor balance energético negativo que las vacas multíparas (Lucy, 2001).

Las causas de infertilidad en la vaca Holstein lechera son multifactoriales; sin embargo, la mayoría de estos factores son desencadenados en el postparto ya sea por causas de índole metabólicas tales como cetosis, hipocalcemia, desplazamiento de abomaso, entre otros, así como por las de índole inmunológico relacionado con el estrés postparto, tales como metritis, endometritis, retención de placenta, mastitis y píometra. Estas patologías causan problemas reproductivos traduciéndose en infertilidad a corto plazo, es decir que afectan en los primeros servicios postparto aumentando así los días abiertos teniendo importancias económicas considerables para el hato lechero (Lammoglia *et al.*, 2021). Aproximadamente entre un 80% y un 100% de las vacas paridas naturalmente queda con bacterias dentro del útero entre las cuales se destacan *Escherichia coli*, *Arcanobacterium pyogenes*, *Fusobacterium*

necrophorum, *Prevotella melaninogenica*, estas bacterias causan inflamación en el endometrio (metritis) causando así la típica presentación de loquios purulento durante las dos primeras semanas postparto, la vaca compete con éxito con esa contaminación de microorganismos, sin embargo, cerca del 20% de esas vacas no lo logra resolver por sí sola, esto implica que a la tercer semana postparto en adelante la vaca curse con endometritis clínica lo cual diversos estudios indican que dichas vacas incrementan hasta en un 15% la media de días abiertos, se disminuye la tasa de preñez a un 16%, incluso en vacas que cursaron con metritis y/o endometritis y fueron tratadas exitosamente terminan con una tasa de concepción 20% más baja a comparación con vacas que no tuvieron esos problemas (Walsh., *et al.* 2010). Las repercusiones que tiene la mastitis sobre la fertilidad según Bedolla (2008) es que las vacas de primera lactancia que presentan mastitis clínica registran retraso en la presentación del estro comparado con las vacas que no desarrollaron mastitis

Está demostrado que el número de partos en la vaca es un factor de importancia (Lammoglia *et al.*, 2021). En dicho estudio se reportó que en las vacas con más de 3 partos presentan mayor incidencia en enfermedades causantes de infertilidad en comparación con vacas de segundo parto y de primer parto, reportando un porcentaje de incidencia de 39.0%, 30.0% y 14.0% respectivamente.

Por ello, el presente estudio se llevó a cabo para evaluar las tendencias en la producción de leche y en la fertilidad en vacas Holstein en hatos de la Comarca Lagunera.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 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. Las condiciones geográficas donde se encuentra la Comarca Lagunera son de un clima caluroso con alto nivel de aridez la cual presenta variaciones estacionales durante el año, las precipitaciones pluviales son escasas durante el año variando de 200 mm como mínimo y 600 mm como máximo dependiendo la zona, en los meses de julio, agosto y septiembre. La temperatura promedio en verano es de los 28 a los 40°C y en ocasiones puede llegar a los 48°C , y en invierno puede bajar hasta los -8°C . la temperatura media anual es de 20 a 22°C , la precipitación media anual es de 224.6 mm y la humedad media anual es de 38% (INIFAP, 2022).

6.2 Manejo de los hatos lecheros

Los establos estudiados en la presente investigación cuentan con instalaciones altamente tecnificadas tanto como en equipos de ordeña e instalaciones de logística para un mejor manejo del ganado. Las salas de ordeña con las que cuentan dichos establos son de tipo carrusel con 40, 60 o hasta 100 lugares por vuelta, para ordeñas tipo paralelas con 36 y 60 lugares por vuelta, así como ordeña tipo espina de pescado con los mismos lugares que la anterior. Se realizan 3 ordeñas por día, la primera comienza a las 6:00 h y termina a la 13:20 h, la segunda inicia a las 14:00 h y termina a las 21:20 h y la tercera que es de 10:00 h a las 5:20 h. En verano se presentan altas temperaturas en la región, es por esto que las salas de ordeña cuentan con un sistema de enfriamiento que consta de baños de aspersión de agua y ventilación con abanicos para mitigar el calor corporal de la vaca y de esta manera se disminuir el estrés por calor, este sistema de enfriamiento automático que consiste en 1 minuto de aspersión de agua por 4 minutos de ventilación forzada con los abanicos eléctricos, este método se repite durante toda la ordeña. Los corrales están orientados conforme corre habitualmente el viento en la zona que se ubica el establo, de esta manera se logra ventilación natural, las sombras comprenden todo lo que son las camas de descanso y el

pesebre para brindar un mayor confort a la hora de comer y en el descanso de la vaca. Las camas de descanso se rastrean diariamente cuando los corrales suben a las salas de ordeño para ablandarlas por lo menos 20 cm de estiércol ablandado para un mayor confort y de esta manera también se logra sacar la humedad que se acumula por las deposiciones de orina y estiércol, al bajar de la ordeña, el alimento tiene que estar servido en los pesebres cuando las vacas salen de la ordeña para que cuando entren de nuevo a los corrales, las vacas se dirijan a comer y no se echen en la cama para garantizar mayor eficacia del sellado de los pezones y de esta forma se previene la mastitis, cuando se terminan la primera tirada de alimento se procura rellenar los pesebres hasta quedar satisfechas las vacas.

6.3 Registros

Se construyó una base de datos en Excel que incluyó la información de 15 hatos lecheros de vacas Holstein de los años de enero de 2002 a diciembre de 2022. La base de datos utilizada consistió en los registros de las vacas que incluyó el hato, año, mes, 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.

6.4 Análisis estadístico

En el presente estudio se incluyeron las variables de producción de leche, que es el promedio diario de litros de leche producidos por todas las vacas ordeñadas en el hato durante ese mes, y la fertilidad en vacas de primer servicio, que es el porcentaje de vacas preñadas en la primera IA durante ese mes.

Se realizó un análisis exploratorio de los datos y se encontraron valores extremos los cuales se eliminaron y en aquellos que se pudo identificar el error se corrigieron. En un análisis general de la producción de leche y de la fertilidad se evaluaron 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 incluyó el efecto del sujeto (hato) y efecto intra-sujeto año y mes y su interacción. Para la selección del mejor modelo y de la estructura de correlación con el 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 ambas variables 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.

Con el propósito de analizar si el cambio a través del tiempo es el mismo en cada mes del año, se generaron doce archivos, uno para cada mes con las variables del año, producción de leche y fertilidad. Para las dos variables se realizó un análisis con un modelo lineal generalizado donde se incluyó el efecto del año como covariable. Para ambas variables se utilizó la distribución de probabilidad normal con función de enlace identidad. Se consideró un efecto significativo con un valor de $P < 0.05$.

Los coeficientes de regresión (b) indican el progreso fenotípico de un año a otro en promedio.

7. RESULTADOS

7.1 Producción de leche y fertilidad

Los resultados muestran que la producción de leche y la fertilidad, según el modelo general, el efecto del año y del mes fueron significativos ($P < 0.001$).

En la Gráfica 1 se observa tendencia positiva de la producción de leche, mientras que en la fertilidad se presentan altibajos, aunque con una tendencia positiva durante los años de estudio.

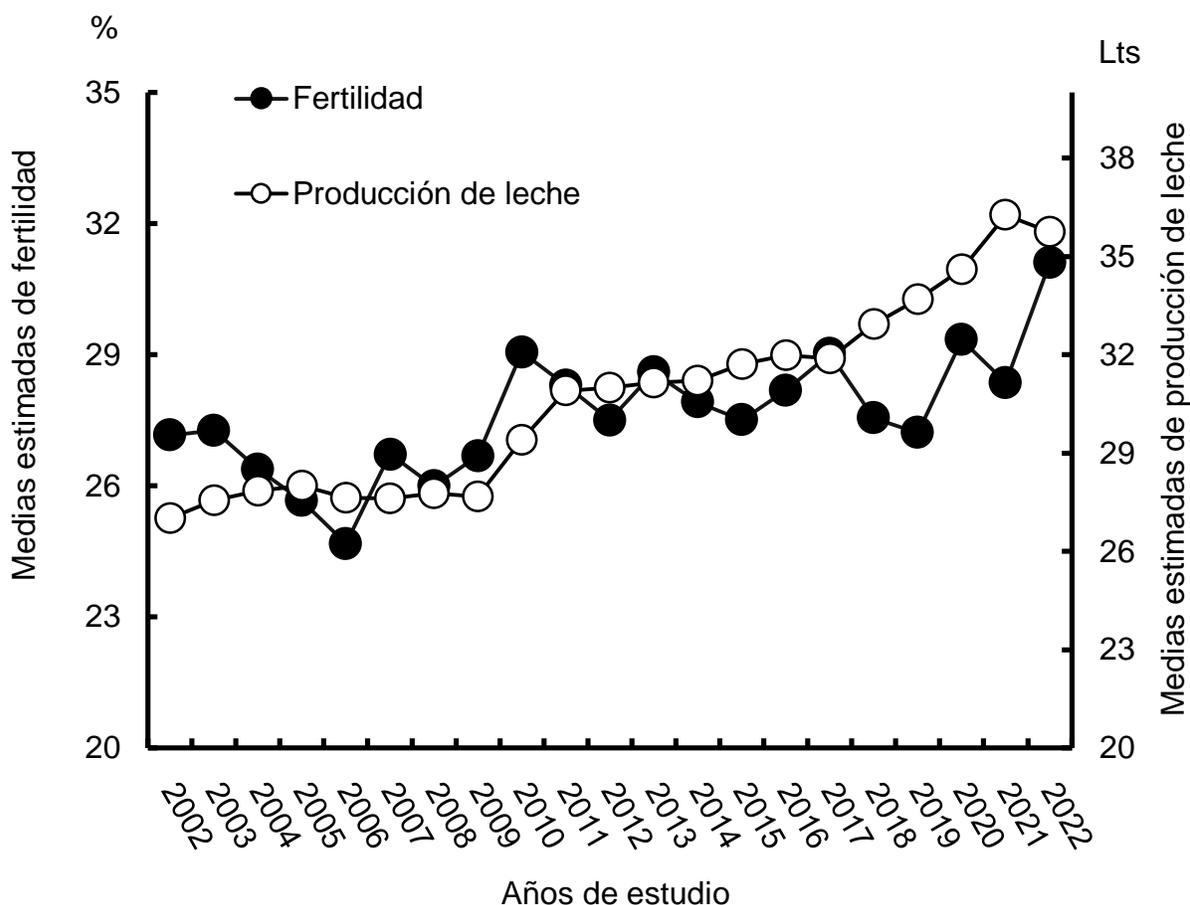


Figura 4 Medias estimadas de fertilidad (%) y de producción de leche (Lts/vaca/día) en hatos de vacas Holstein en la Comarca Lagunera de México de los años de 2002 a 2022.

Al graficarlo por mes, se observa que hay diferencias significativas a través del año observando los valores más bajos al final del verano (agosto-septiembre) y los más elevados en los meses de invierno.

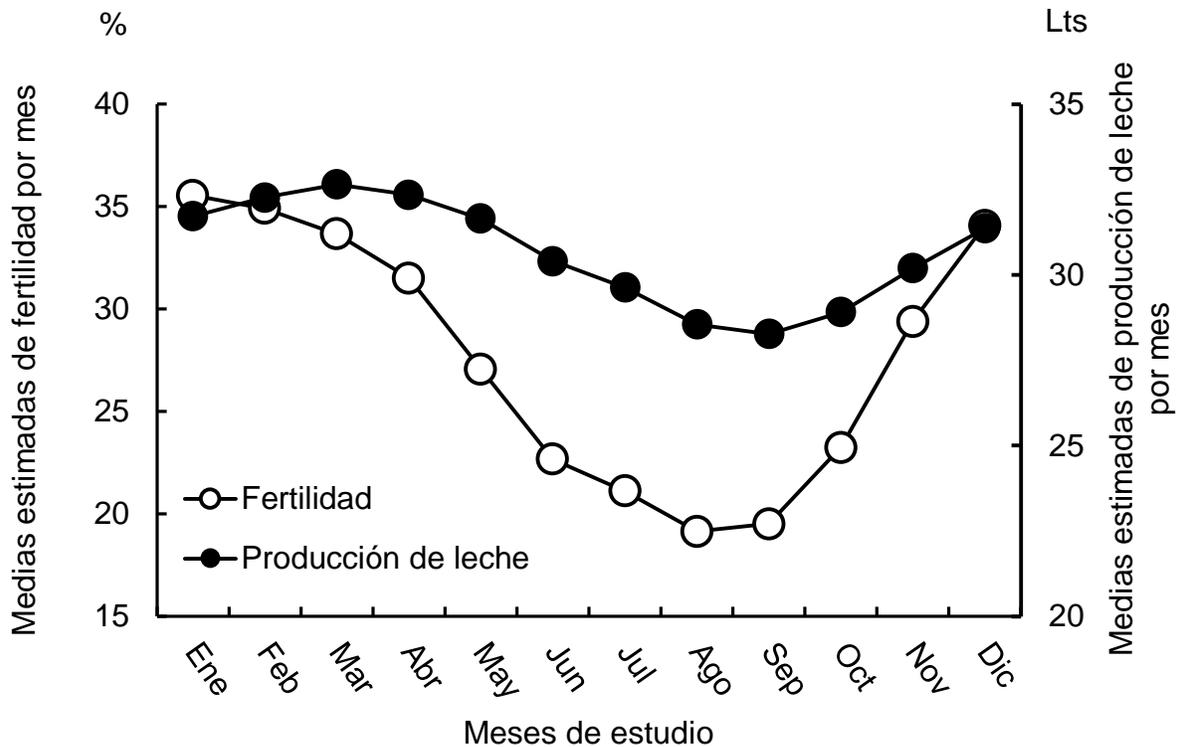


Figura 5 Medias estimadas en fertilidad (%) y producción de leche (Lts/vaca/día) en hatos de vacas Holstein en la Comarca Lagunera de México a través de los meses de estudio.

En el Cuadro 1 se observa que el cambio en la producción de leche de un año a otro para cada mes fueron diferentes de cero ($P < 0.001$). En los meses de junio a septiembre tienen valores menores que en los meses de invierno ($P < 0.05$), es decir, en el mes de enero se presentó un cambio de 0.44 a 0.56 Lts/vaca/día, por año, mientras que en el mes de agosto el cambio anual fue 0.29 y 0.40 Lts/vaca/día, por año

Cuadro 1 Coeficientes de regresión lineal para año de producción de leche (Lts/vaca/día) en cada uno de los meses con su error estándar (ee) y el intervalo de Wald al 95% de confiabilidad. § $P < 0.001$

Mes	b^s	ee	Intervalo de Wald al 95% de confianza	
			Inferior	Superior
Enero	0.504	0.032	0.442	0.566
Febrero	0.498	0.031	0.437	0.560
Marzo	0.467	0.032	0.406	0.529
Abril	0.432	0.032	0.370	0.495
Mayo	0.419	0.030	0.360	0.477
Junio	0.376	0.030	0.317	0.435
Julio	0.364	0.029	0.308	0.420
Agosto	0.352	0.029	0.295	0.408
Septiembre	0.365	0.030	0.306	0.424
Octubre	0.412	0.031	0.352	0.473
Noviembre	0.473	0.031	0.411	0.534
Diciembre	0.499	0.031	0.438	0.560

En el Cuadro 2 se observa que en los meses de junio a septiembre tienen valores menores del coeficiente de regresión que en los meses de invierno (enero y febrero) ($P < 0.05$). El cambio del porcentaje de fertilidad a través de los años para los meses de junio a octubre, aunque algunos sean negativos, no son diferentes de cero ($P > 0.05$); es decir, que no hay cambio en la fertilidad a través de los años. Cabe mencionar que en el mes de agosto indicó el mayor decremento de -0.119 Lts/vaca/día, por año ($P = 0.083$).

Cuadro 2 Coeficientes de regresión lineal por año en fertilidad en cada uno de los meses con su error estándar (ee) y el intervalo de Wald al 95% de confiabilidad.

Mes	B	ee	Intervalo de Wald al 95% de confianza		
			Inferior	Superior	Valor de P
Enero	0.301	0.0525	0.198	0.404	<0.001
Febrero	0.309	0.0568	0.198	0.421	<0.001
Marzo	0.27	0.0615	0.149	0.39	<0.001
Abril	0.272	0.061	0.152	0.392	<0.001
Mayo	0.126	0.0613	0.006	0.246	0.040
Junio	0.077	0.067	-0.055	0.208	0.251
Julio	-0.029	0.0629	-0.152	0.094	0.643
Agosto	-0.119	0.0688	-0.254	0.016	0.083
Septiembre	-0.031	0.0658	-0.16	0.098	0.640
Octubre	0.108	0.0667	-0.023	0.238	0.106
Noviembre	0.201	0.0699	0.064	0.338	0.004
Diciembre	0.268	0.0617	0.147	0.389	<0.001

En el caso de las correlaciones (Cuadro 3) entre la producción de leche y la fertilidad se observa que, en los meses de julio a septiembre, aunque positiva a correlación, no es diferente de cero ($P > 0.05$); mientras que en los meses de diciembre, enero y febrero la correlación es moderada ($r_s > 0.2$; $P < 0.001$) y en los meses de marzo, abril, mayo junio octubre y noviembre demás la correlación es baja ($P < 0.05$).

Cuadro 3 Correlaciones de Spearman de la producción de leche y la fertilidad en hatos de vacas Holstein en la Comarca Lagunera de México del año 2002 a 2022.

Mes	Correlación de Spearman	Sig. (Bilateral)
Enero	0.402	<0.001
Febrero	0.372	<0.001
Marzo	0.221	<0.001
Abril	0.252	<0.001
Mayo	0.138	0.036
Junio	0.150	0.023
Julio	0.076	0.256
Agosto	0.086	0.196
Septiembre	0.117	0.079
Octubre	0.203	0.002
Noviembre	0.132	0.049
Diciembre	0.261	<0.001

8. DISCUSIÓN

Los resultados del presente estudio muestran que durante los primeros años del estudio (2002-2010) no se detectaron cambios en la producción de leche, en donde si se observaron cambios fue partir del año de 2011, ya que se observó un incremento sostenido hasta el año de 2022. Mientras que el porcentaje de fertilidad al inicio del estudio mostró una disminución, el cambio fue a partir del año de 2007, cuando se observó tendencia positiva, pero con variaciones a través de los años de estudio.

Es probable que los incrementos observados sean el resultado de la selección genética de toros genéticamente seleccionados para producción de leche y fertilidad, así como, por el mejoramiento de las condiciones de manejo, alojamiento de los animales, la sanidad de la vaca, la nutrición, por mencionar algunos.

En el presente estudio comprendió la información previamente analizada hasta el año de 2016 por Fernández *et al.* (2019), y los resultados indicaron que en los años posteriores (2017-2022) hubo un incremento en la producción de leche mientras que la fertilidad presentó altibajos y aumentó en el último año de estudio (2022). Esta tendencia lineal positiva en producción de leche se ha observado desde hace varias décadas (FAOSTAT, 2021). Sin embargo, a pesar de las condiciones adversas como es el estrés calórico tan agudo a que son expuestas las vacas Holstein en esta región de México, la producción de leche es alta y comparable con hatos ubicados en condiciones ambientales similares (Anzures *et al.*, 2015).

De acuerdo con el reporte del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP, 2023) el promedio de producción de leche diario en la Región Lagunera de Coahuila es de 30 Lts por vaca por día. Entonces, esto sugiere que los establos incluidos en el presente estudio están ubicados entre las unidades altas productoras en dicha región. De hecho, en el presente estudio se detectó que el cambio fenotípico general fue de 0.42 Lts por vaca por año.

El área donde se llevó a cabo el presente estudio, durante los meses de verano (julio a septiembre), las vacas están expuestas a un mayor estrés calórico ya que se ha registrado el THI superior a las 72 unidades en dicha área (Fernández *et*

al., 2019). Cuando las vacas registran dicho valor o mayor, los animales se encuentran en un estado de alerta (Du Preez, 2000). En el presente estudio, en el verano (julio a septiembre), se observó menor incremento en la producción de leche que solo fluctuó de 0.36 a 0.37 Lts/vaca/año). En cambio, en los meses de invierno (diciembre-enero) el incremento en producción de leche fue de 0.50 Lts/vaca/año con respecto al promedio de dicho año. Con respecto a la fertilidad durante los meses de junio a octubre no se detectaron cambios en los años estudiados. En cambio, los mayores porcentajes de fertilidad registrados fueron en los meses de enero y febrero, con un incremento anual de 0.3 %; la producción de leche se incrementó durante todos los meses, con una diferencia de 4.3 Lts/vaca/año entre el mes de marzo vs septiembre, en este último mes se registró 13 % de disminución. En cambio, para fertilidad la diferencia entre el mes de febrero y el mes de agosto fue de 15.8% representando una disminución del 45% en los niveles de fertilidad. Ello sugiere que el proceso fisiológico que conlleva a la fertilización está comprometido por el efecto del estrés calórico. De esta manera disminuye la calidad de los ovocitos (Córdova *et al.*, 2016) causado por un deterioro folicular lo que produce una disminución en la producción de progesterona causando a su vez alteraciones en el entorno uterino el cual afecta el desarrollo embrionario (Wolfenson *et al.*, 1995). De manera similar, las vacas expuestas al estrés calórico antes de la IA tienen entre un 31 y un 33% menos de probabilidades concebir que aquellas vacas no expuestas al estrés por calor (Chebel *et al.*, 2004).

Estudios previos indican que son diversas las causas, pero en especial las causas nutricionales disminuyen la fertilidad en las vacas altas productoras. Por ejemplo, las vacas lecheras con alta producción de leche experimentan un aumento sustancial en los requerimientos de energía para facilitar los incrementos en la producción diaria de leche, que llega su punto máximo entre 4 y 8 semanas después del parto. Este requisito sólo se satisface parcialmente mediante un mayor consumo de alimento, por las limitaciones ocasionadas por la ingesta y el apetito de la vaca. El resto la vaca lo satisface mediante la movilización de reservas corporales, lo que hace que los animales entren BEN (Grummer, 2007). Las consecuencias del BEN son un mayor riesgo de enfermedades metabólicas, que ocurren con mayor

frecuencia durante el primer mes de lactancia, con disminución de la función inmune y de la fertilidad (Roche *et al.*, 2009).

Otro factor que puede exacerbar aún más los efectos del BEN es el estrés calórico. Durante los períodos de estrés por calor, las vacas lactantes reducen el apetito y hay mayor pérdida de CC en el posparto temprano comparadas con las vacas sin estrés calórico. Además, las concentraciones de glucosa, IGF-I y colesterol son menores, mientras que los NEFA (ácidos grasos no esterificados) y urea son más altos en sangre y líquido folicular en animales estresados por calor (Shehab-El-Deen *et al.*, 2010).

Con respecto a las correlaciones entre producción de leche y fertilidad, los resultados indicaron que de julio a septiembre la correlación fue de cero, esto significa que no hay relación entre ambas variables, entonces, el estrés calórico influye de manera negativa disminuyendo considerablemente la fertilidad en dichos meses. En cambio, en los meses de diciembre, enero y febrero, la correlación fue moderada, y de marzo, abril, mayo, junio, octubre y noviembre, la correlación fue baja.

9. CONCLUSIONES

Se concluye que tanto la producción de leche como la fertilidad mostraron variaciones con tendencia positiva durante los años de estudio. La más alta producción de leche registrada fue en el mes de enero y la más baja ocurrió es en el mes de agosto. Con respecto a la fertilidad, de junio a septiembre se registraron los porcentajes más bajos de fertilidad y los más altos fueron en enero y febrero. No se detectó correlación entre producción de leche y fertilidad en los meses de julio, agosto y septiembre, tiempo donde la temperatura ambiental es alta, mientras que en los meses de diciembre, enero y febrero se observó correlación moderada, y finalmente en los meses de marzo, abril, mayo, junio, octubre y noviembre se observó baja correlación.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anzures, O. F., Macías, C. U., Álvarez, V. F. D., Correa, C. A., Díaz, M. R., Hernández, R. J. A y Avendaño, R. L. (2015). Efecto de época del año (verano vs. invierno) en variables fisiológicas, producción de leche y capacidad antioxidante de vacas Holstein en una zona árida del noroeste de México. *Archivos de medicina veterinaria*, 47(1), 15-20. <https://dx.doi.org/10.4067/S0301-732X2015000100004>
- Ávila Téllez, S. Gutierrez Chávez, A. (2014). Mastitis. Diagnóstico, tratamiento y control. Tercera edición. *Producción de leche con ganado bovino*. pp. 253-260. Imagen Editorial Yire.
- Becker, C. A., Collier, R. G., and Stone, A. E. (2020). Invited review: Physiological and behavioral effects of heat stress in dairy cows. *American Dairy Science Association*. 113(8): 6751-6770. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17929>
- Bedolla, C., Ponce de León, M. (2008). Pérdidas económicas ocasionadas por la mastitis bovina en la industria lechera. REDVET. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 9 (4), 1-26. <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n040408.html>. Uhj87
- Berman, A. (2006). Extending the potential of evaporative cooling for heat stress relief. *Journal Dairy Science*. 89:3817-3825. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72423-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72423-7)
- Brizuela, R. (2018). Identificación Molecular y frecuencia de patógenos aislados de mastitis bovina en establos de la península de Baja California, México. *Revista*

Mexicana de Ciencias Pecuarias. 9(4) 756-761 <http://dx.doi.org/10.22319/rmcp.v9i4.4365>.

Campabadal C. (2008). Efecto de la nutrición sobre la reproducción del ganado de leche. Asociación Americana de Soya. pp. 1-7.

Cartwright, S.L., Schmied, J., Karrow, N., Mallard B.A. (2023). Impact of heat stress on dairy cattle and selection strategies for thermotolerance: a review. *Frontiers in Veterinary Science*. 10(1198697). doi: 103389/fvets.2023.1198697.

Centro de estudios para el desarrollo rural sustentable y la soberanía alimentaria. (2019). Reporte. Situación de la ganadería lechera en el sureste de México. Palacio Legislativo de San Lázaro. Ciudad de México. Cámara de Diputados.

Chebel C, R., Santos E, P, J., Reynolds P, J., Cerri L, A, R., Juchem O, S., Overton M. (2004). Factors affecting conception rate after artificial insemination and pregnancy loss in lactating dairy cows. *Animal Reproduction Science*. 84(3-4). doi: 10.1016/j.anireprosci.2003.12.012.

Collier, J. r., Hall, W. L., Zimbelman, B. R., and Rungruang, S. (2012). Quantifying Heat Stress and Its Impact Metabolism and Performance. *Animal Sciences*.

Córdova Izquierdo, A., Iglesias Reyes, A.E., Ruiz Lang, C.G., Guerra Liera, J.E., Inzunza Castro, J.F., Villa Mancera, E.A., Juárez Mosqueda, M.L., Gómez Vázquez, A., Cansino Arroyo, G., Olivares Pérez, J., Espinosa Cervantes, R. Velázquez Ordóñez, V. (2016). Consecuencias del estrés calórico sobre la reproducción del ganado vacuno. *Revista Complutense de Ciencias*

Veterinarias. 10(1). 83-101.

https://doi.org/10.5209/rev_RCCV.2016.v10.n1.52555.

Cruz, Z. A. (2006). Principales factores que afectan la prolificidad del ganado vacuno en Latinoamérica. *Revista electrónica de veterinaria.* 7(10). PP. 2-5.
<https://www.redalyc.org/pdf/636/63617167006.pdf>

De Luca L. (2004). La nutrición y la fertilidad en el ganado lechero. *Jornadas Uruguayas de Buiatría.* pp 51-61.

Du Preez, J.H. (2000). Parameters for the determination and evaluation of heat stress in dairy cattle in South Africa. *Onderstepoort Journal of Veterinary Research.* 67(4): 263-271. PMID: 11206394.

FAOSTAT. (2021). *Food and Agriculture Organization of the United Nations.* [Accessed December 14, 2021]. <http://www.fao.org/faostat/en/#data>

Fedegan. (2021). Evaluando la condición corporal: una herramienta sencilla, pero de gran importancia. *Fedegan in Friday.*

Fernández I. G., Ulloa, A. 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. <https://doi.org/10.1007/s11250-018-1669-5>

Flórez, D. H. (1994). Efecto del estrés por calor sobre el desarrollo del embrión bovino. Corpoica. Recuperado el 16 de mayo del 2024.

Garnsworthy P. C., Fouladi-Nashita, A. A., Mann, G. E., Sinclair, K. D., R. W. (2009). Effect of dietary-induced changes in plasma insulin concentrations during the

early post- partum period on pregnancy rate in dairy cows. *Reproduction*. 137(4): 759-68. doi: 10.1530/REP-08-0488.

Gross, J. J. (2022). Limiting factors for milk production in dairy cows: perspectives from physiology and nutrition. *Journal of Animal Science*. 100(3). doi: 10.1093/jas/skac044

Grummer R. R. (2007). Strategies to improve fertility of high yielding dairy farms: Management of the dry period. *Theriogenology*. Vol 68(1): 281-8 <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2007.04.031>

INIFAP (2022). Reporte anual 2022 Ciencia y Tecnología para el Campo Mexicano. Pp. 7-11.

INIFAP (2023). Reporte Anual 2023 Ciencia y Tecnología para el Campo Mexicano. CIR Norte Centro, Región Laguna. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

Johnston, C. and De Vries, T. J. (2018). Short communication: Associations of feeding behavior and milk production in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 101(4): 3367-3373. <https://doi.org/10.1071/EA9790007>

Kadzere, C.T., Murphy, M. R., Silanikove, N., Maltz, E. (2002). Heat stress in lactating dairy cows: a review. *Journal Animal Science*. 77(1): 59-91. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(01\)00330-X](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(01)00330-X)

Lammoglia V. M. A., Huerta P. J. C., Marini P. R. (2021). Patologías postparto y origen de vacas infértiles en Ganado lechero en el Altiplano Mexicano. *La Granja. Revista de Ciencias de la Vida*. 33(1). p.p. 44-52. <https://doi.org/10.17163/lgr.n33.2021.04>

- Lees, A.M., Sejan, V., Wallage, A. L., Stell, C. C., Mader, T. L., Lees, J. C., Gaughan, G. B. (2019). The impact of heat load on cattle. *Animals*. 9(6): 320. doi: 10.3390/ani9060322
- Loera, J., Banda, J. (2017). Industria lechera en México: parámetros de la producción de leche y abasto del mercado interno. *Revista de Investigación Altoadinas*. 19(4): 420-424. <http://dx.doi.org/10.18271/ria.2017.317>
- Lucy, M. C. (2001). Reproductive loss in high-producing dairy cattle: where will it end? *Journal Dairy Science*. 84(6): 1277-1293. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(01)70158-0.
- Macciotta, N. P. P., Dimauro, C., Rasso, S. P. G., Steri, R., & Pulina, G. (2016). The mathematical description of lactation curves in dairy cattle. *Italian Journal of Animal Science*, 10(4). <https://doi.org/10.4081/ijas.2011.e51>
- Madsen, T. G., Nielsen, M. O., Andersen, J. B., Ingvarsen, K. L. (2008). Continuous Lactation in Dairy Cows: Effect on Milk Production and Mammary Nutrient Supply and Extraction. *Journal of Dairy Science*. 91(5): 1791-1801. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0905>
- Melendez, P. y Bartolome, J. (2017). Avances sobre nutrición y fertilidad en ganado lechero: revisión. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*. 8(4): 407-417. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v8i4.4160>
- Mera, A. R., Muñoz, E. M., Artieda, R. J. R., Ortiz, T. P., Gonzales, S. R., Vega, F. V. (2017). Mastitis bovina y su repercusión en la calidad de la leche. *Revista Electrónica de Veterinaria*. Vol. 18(11). pp. 1-16. <https://www.redalyc.org/pdf/636/63653574004.pdf>

- Nanas, I., Chouzouris, T. M., Dadouli, K., Dovolou, E., Stamperna, K., Barbagianni, M., Valasi, I., Tsiaras, A and Amiridis, G. S. (2020). A study on stress response and fertility parameters in phenotypically thermotolerant and thermosensitive dairy cows during summer heat stress. *Reproduction in Domestic Animals*. 55: 1774-1783. DOI: 10.1111/rda.13840
- Opsomer G., M Coryn, H. Deluyker, A. K. (1998). An analysis of ovarian dysfunction in high yielding dairy cows after calving based on progesterone profiles. *Reproduction in Domestic Animals*. 3(4): 193-204. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.1998.tb01342.x>
- Piccardi, M., Bruno, C., Córdoba, M., Masía, F., Balzarini, M. (2019). Mediciones en el tambo, indicadores productivos y reproductivos. *Serie Estadística Aplicada. Com*. Primera Edición. Pag 7-22.
- Prieto, O. D. (2018). Fisiología de la lactación. García Sacristán, A. Fisiología Veterinaria. Editorial Tébar Flores. pp. 1010-1028. ISBN Digital: 978-84-7360-644-8
- Pursley, R. Martins, J.P. (2011). Incrementando la fertilidad de vacas lecheras en lactancia. Sitio Argentino de Producción Animal. 16(2). pp.1-3. https://www.produccionanimal.com.ar/informacion_tecnica/inseminacion_artificial/252-Incrementando-Fertilidad.pdf
- Renaudeau, D., Collin, A., Yahav, S., de Basilio, V., Gourdine, J.K., Collier, R.J. (2012). Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. *Animal*. 6(5): 707-28. doi: 10.1017/S1751731111002448

- Roche J, R., Friggens N, C., Kay J, K., Fisher M, W., Stafford K, Berry D, P. (2009). Invited review: Body condition score and its association with dairy cow productivity, health, and welfare. *American Dairy Science Association*. 92(12). 1769-5795. doi: 10.3168/jds.2009-2431
- Roche, JF. (2006). The effect of nutritional management of the dairy cow on reproductive efficiency. *Animal Reproduction Science*. 96(3-4): 282-296. doi: 10.1016/j.anireprosci.2006.08.007.
- Rugeles P. C. (2001). Interrelaciones entre nutrición y fertilidad en bovinos. *Revista MVZ Córdoba*. 6(1). pp. 24-30. <https://doi.org/10.21897/rmvz.1062>.
- Sánchez, J.P., I. Misztal, I. Aguilar, B. Zumbach, R. Rekaya. (2009). Genetic determination of the onset of heat stress on daily milk production in the US Holstein cattle. *Journal Dairy Science*. 92(8): 4035-45. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1626>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2021). Escenario mensual de productos agroalimentarios. Dirección de análisis estratégico. Leche de bovino. [Escenario_leche_de_bovino_feb_2021.pdf](#).
- Shehab El Deen, M. A. M., Leroy, J., Fadel, M., Saleh, S., Maes, D., Van Soom, A. (2010). Biochemical changes in the follicular fluid of the dominant follicle of high producing dairy cows exposed to heat stress early post-partum. *Animal Reproduction Science*, 117(3-4), 189-200. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2009.04.013>

- Sogoe, D., Minca, N. A. (2024). The Impact of Heat Stress on the Physiological, Productive, and Reproductive Status of Dairy Cows. *Agriculture*. 14(8). 1241. <https://doi.org/10.3390/agriculture14081241>
- Stefanska, B., Sobolewska, P., Fievez, V., Oszmalek, E. P., Purwin, C. and Nowak, W. (2024). The effect of heat stress on performance, fertility, and adipokines involved in regulating systemic immune response during lipolysis of early lactating dairy cows. *American Dairy Science Association*. 107(4): 2111-2128. doi.org/10.3168/jds.2023-23804
- Tanaka, T., M. Arai., S. Ohtani, S. Uemura., T. Kuroiwa, S. Kim., H. Kamomae. (2008). Influence of parity on follicular dynamics and resumption of ovarian cycle in postpartum dairy cows. *Animal Reproduction Science*. 108(1-2-): 134-143. doi: 10.1016/j.anireprosci.2007.07.013.
- Universo de la Salud Animal. (2023). La puntuación de la condición corporal como método de control del ganado.
- Walsh, S. W., EJ. Williams, Evans ACO. (2011). A review of the causes of poor fertility in high mil producing dairy cows. *Animal Reproduction Science*. 123(3-4): 127-38. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2010.12.001>
- Walsh, S. W., Williams, E. J. y Evans, A. C. O. (2010). A review of the causes of poor fertility in high milk producing dairy cows. *Animal Reproduction Science*. 123(3-4): 127-138. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2010.12.001>
- Wolfenson D., Thatcher W.W., Badinga L., Savio J.D., Meidan R., Lew B.J., Braw-Tal R. Berman A. (1995). Effect of heat Stress on Follicular Development during the

Estrous Cycle in Lactating Dairy Cattle. *Biology of Reproduction* 52(5): 1106-13. <https://doi.org/10.1095/biolreprod52.5.1106>