UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUERRERO

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

Y GESTIÓN LOCAL

ENFRIAMIENTO PREPARTO DE GANADO LECHERO HOLSTEIN EN UNA ZONA ÁRIDA: EFECTOS EN FISIOLOGÍA PREPARTO Y EN EL BIENESTAR ANIMAL Y PRODUCTIVIDAD POSPARTO

TESIS

COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y GESTIÓN LOCAL

PRESENTA:

ANTONIO DE JESÚS MEJÍA LASTRA

DIRECTORES DE TESIS:

Dr. SAÚL ROJAS HERNÁNDEZ

Dr. LEONEL AVENDAÑO REYES

ASESORES DE TESIS:

Dr. JAIME OLIVARES PÉREZ, Dr. LUIS MIGUEL CAMACHO DÍAZ,

Dr. MOISÉS CIPRIANO SALAZAR

Iguala de la independencia, Gro., México, noviembre 2020

La presente tesis titulada **ENFRIAMIENTO PREPARTO DE GANADO LECHERO HOLSTEIN EN UNA ZONA ÁRIDA: EFECTOS EN FISIOLOGÍA PREPARTO Y EN EL BIENESTAR ANIMAL Y PRODUCTIVIDAD POSPARTO,** desarrollada por el alumno IAZ.: ANTONIO DE JESÚS MEJÍA LASTRA matricula: 18250148 de la generación febrero 2018 – enero 2020, ha sido leída y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias Agropecuarias y Gestión Local. La dirección de la investigación estuvo integrada por el:

COMITÉ TUTORIAL

Dr. Saúl Rojas Hernández
Director de tesis

Dr. Leonel Avendaño Reyes
Co-director de tesis

Dr. Jaime Olivares Pérez
Asesor

Dr. Luis M. Camacho Díaz
Asesor

Dr. Moisés Cipriano Salazar
Asesor

Iguala de la Independencia a de noviembre del 2020.

AGRADECIMIENTOS

Al **Dr. Leonel Avendaño Reyes**, por darme la oportunidad de trabajar con él, por brindarme su apoyo, amistad, conocimiento, consejos y enseñanzas, con un gran profesionalismo y entrega. **Al Cuerpo Académico de Fisiología y Genética Animal del Instituto de Ciencias Agrícolas de Universidad Autónoma de Baja California (ICA-UABC)** por su apoyo general para realizar el presente estudio.

Al **Dr. Saúl Rojas Hernández** por darme la oportunidad de trabajar con él y su apoyo incondicional en mi formación académica en el programa de maestría, en conjunto con su cuerpo académico de investigación: **Dr. Jaime Olivares Pérez, Dr. Luis Miguel Camacho Díaz y Dr. Moisés Cipriano Salazar.**

Al **L.A.E. José Luis Nevárez Bórquez**, dueño del hato lechero, por facilitar sus vacas, infraestructura y apoyar esta investigación.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)** por el apoyo económico para realizar mis estudios de maestría.

A la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Universidad Autónoma de Guerrero, gracias por darme la oportunidad de pertenecer y formar parte de esta gran casa de estudios. Al coordinador de la maestría **Dr. Elías Hernández Castro**, así como sus asistentes **Ma. Del Carmen Albarrán Onofre y la M. en C. Blanca Itzel López Días**, a los profesores del programa del área de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Agronomía, Medicina y Ciencias Sociales, al personal de seguridad **Amador Lagunés**; que en conjunto forman parte esencial en la formación académica de los alumnos de la **Maestría en Ciencias Agropecuarias y Gestión Local**.

Al Patronato de la Fundación Professor Tielen (PTF), por concederme una beca para asistir al XIX congreso de la Sociedad Internacional para la Higiene Animal (ISAH) en Wroclaw, Polonia. Donde se presentaron dos resumen técnicos producto de la presente investigación científica.

DEDICATORIAS

A mí madre **María Lastra Hernández** por sus consejos, cariño, preocupaciones y apoyo incondicional.

A **Karina Fajardo Jiménez** su comprensión y apoyo incondicional en la realización de este proyecto. A nuestra gran amiga **Yuriky** por su labor en la motivación para la incitación de liberación de estrés y bienestar.

A mis tíos **Bonifacio Hernández Arizmendi** y **Víctor Hernández Arizmendi** por todo su apoyo fundamental en los periodos de estudio en el establo.

A mi padre labrador implacable **Ramiro Mejía Garibay** por compartir conmigo sus conocimientos adquiridos por experiencia en campo en el arte de cultivar la tierra.

A mis hermanos **Ramiro Mejía Lastra** y **Jorge Edgar Mejía Lastra**, por sus consejos y apoyo incondicional.

ÍNDICE GENERAL

Pág.

AGRADECIMIENTOS iii
DEDICATORIAS iv
LISTA DE CUADROS ix
RESUMEN GENERAL xi
1. INTRODUCCIÓN GENERAL 1
2. PROBLEMÁTICA 2
3. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN 2
4. JUSTIFICACIÓN 3
5. OBJETIVO GENERAL 4
Objetivos específicos 4
6. HIPÓTESIS 5
7. REVISIÓN DE LITERATURA 6
7.1. Contexto de la producción de leche de bovino en México. 6
7.2. Desafíos para la humanidad en los próximos años. 6
7.3. Bienestar animal en ganado lechero. 8
7.4. Balance térmico en bovinos lecheros. 9
7.5. Rutas sensibles (no evaporarías) 11
a) Intercambio por radiación. 11
b) Intercambio por convección. 12
c) Intercambio por conducción. 12
7.6. Rutas latentes (Evaporativas). 13
a) Transpiración (Sudoración) 14
b) Respiración (Jadeo) 14
7.7. Otros factores biológicos que influyen en la transferencia de calor. 14
7.8. Estrés calórico en ganado lechero 15

7.9. Índice de temperatura y Humedad 16
7.10. Ajustes fisiológicos generados por el estrés calórico 17
Frecuencia respiratoria 17
Cambios de conducta 18
a) Episodios de descanso (estar de pie o estar echadas). 18
b) Episodios de alimentación (Comer, Beber, Rumiar). 19
7.11. Componentes de la sangre y fisiología cardiovascular 20
a) Componentes hematológicos. 22
b) Electrolitos sanguíneos. 26
7.12. Efecto antes del parto, al parto y después del parto. 28
7.13. ¿Cómo reducir el estrés calórico en el ganado lechero? 30
CAPITULO I. ENFRIAMIENTO DE VACAS Y VAQUILLAS HOLSTEIN ANTES DEL PARTO SOBRE VARIABLES FISIOLÓGICAS ASOCIADAS AL BIENESTAR ANIMAL 33
RESUMEN 33
ABSTRACT 34
INTRODUCCIÓN. 35
MATERIALES Y MÉTODOS 36
Ubicación del estudio 36
Animales de estudio 36
Corrales y equipo de enfriamiento 37
Registro de variables 37
Variables climáticas. 37
Frecuencia Respiratoria (FR, resp/min) 38
Componentes hematológicos 38
Electrolitos sanguíneos 38

Diseño experimental 38
RESULTADOS Y DISCUSIÓN 39
Variables climatológicas 39
Frecuencia Respiratoria 39
Componentes hematológicos 41
Electrolitos sanguíneos 44
CONCLUSIONES 45
CAPITULO II. ENFRIAMIENTO DE VACAS Y VAQUILLAS HOLSTEIN ANTES DEL PARTO DURANTE EL VERANO: MEDIDAS DE CONDUCTA RELACIONADAS CON EL BIENESTAR ANIMAL 46
ABSTRACT 47
RESUMEN 47
INTRODUCCIÓN 48
MATERIALES Y MÉTODOS 49
Animales, corrales y equipo de enfriamiento: 50
Colección de variables de estudio 51
Variables de conducta: 51
Electrolitos sanguíneos. 51
RESULTADOS Y DISCUSIÓN 52
Variables climáticas 52
Episodios de descanso 53
Episodios de alimentación 54
Electrolitos 56
CONCLUSIONES 57
AGRADECIMIENTOS 57

CAPITULO III. ENFRIAMIENTO DE VACAS Y VAQUILLAS HOLSTEIN ANTES DEL PARTO: CALIDAD DE CALOSTRO Y LECHE, PRODUCCIÓN DE LECHE Y DESEMPEÑO PRE-DESTETE DE LAS CRÍAS 63
RESUMEN 63
ABSTRACT 64
INTRODUCCIÓN 64
MATERIALES Y MÉTODOS 66
Ubicación del estudio 66
Animales de estudio 66
Corrales y equipo de enfriamiento 66
Registro de variables productivas 66
Calidad de calostro 67
Calidad de leche 67
Producción de leche 67
Desempeño de los terneros 68
Análisis estadístico. 68
RESULTADOS Y DISCUSIÓN 68
Variables climatológicas 68
Calidad de calostro 70
Calidad de leche 71
Rendimiento de leche 72
Desempeño pre-destete de Terneros 75
CONCLUSIONES 76
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 77

LISTA DE CUADROS

N° de cuadro **Titulo del cuadro por sección** **Pág.**

REVISIÓN DE LITERATURA

Cuadro I. Componentes hematológicos bajo condiciones termoneutrales..... 25

Cuadro II. Electrolitos sanguíneos (límites de referencia)..... 27

Capítulo I

Cuadro I. Variables climáticas máximas, mínimas y promedio por mes en la zona de estudio..... 39

Cuadro II. Frecuencia respiratoria de vacas y vaquillas enfriadas 30 días antes de la fecha de parto programada (Respiraciones por minuto). 41

Cuadro III. Componentes hematológicos de vacas y vaquillas enfriadas 30 días antes de la fecha de parto programada..... 43

Cuadro IV. Electrolitos en sangre de vacas y vaquillas enfriadas 30 días antes de la fecha de parto programada. 44

Capítulo II

Cuadro I. Electrolitos sanguíneos de vacas y vaquillas Holstein enfriadas 30 d preparto..... 56

Capítulo III

Cuadro I. Parámetros de calidad de calostro de vacas y vaquillas enfriadas 30 días antes de la fecha de parto programada (Valores en %). 71

Cuadro II. Parámetros de leche de vacas y vaquillas enfriadas 30 días antes de la fecha de parto programada (Valores en %)..... 72

Cuadro III. Peso al nacimiento, peso al destete, ganancia diaria peso pre-destete de terneros de vacas y vaquillas enfriadas 30 d antes de la fecha de parto programada..... 76

LISTA DE FIGURAS

N° de figura **Titulo de Figura por sección** **Pág.**

REVISIÓN DE LITERATURA

Figura I. Estado de estrés calórico de acuerdo a las unidades de ITH Adaptado de Wiersma, 1990 y Amstrong, 1994). 16

Figura II. Sistemas de enfriamiento representación gráfica. 31

Capítulo I

Figura I. Corrales de vacas y corral de vaquillas. B: Bebederos; LA: Línea de Aspersores; VA: Ventiladores de 30 pulgadas de diámetro y aspersor; AS: Área de sombra; AE: Área de ejercicio. 50

Figura II. Promedios de Temperatura Ambiental (Tem A), Humedad Relativa (HR), Índice de Temperatura y Humedad, Humedad Relativa Máxima (HR Max) por hora durante el periodo experimental. 52

Figura III. Variación diurna en la conducta de paradas y echadas bajo sombra y brisa de vacas y vaquillas Holstein enfriadas 30 d preparto. 54

Figura IV. Variación diurna en las conducta de bebiendo, rumiando y comiendo de vacas y vaquillas Holstein enfriadas 30 d preparto. 55

Capítulo III

Figura: I y II Sala de ordeño (DeLaval México, 2017). 67

Figura III. Promedios de variables climáticas 30 d antes del parto (considerando el primer y último parto de Vaca o Vaquilla). 69

Figura IV. Promedios de producción diaria de leche de vacas y vaquillas a los 30, 60, 90, 120 y 150 días de lactación. 74

RESUMEN GENERAL

El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de administrar enfriamiento 30 d antes del parto a vacas y vaquillas Holstein en un establo comercial ubicado en una zona árida. La fisiología preparto se midió en 11 vacas y 11 vaquillas y consistió en registrar frecuencia respiratoria (FR), perfil hematológico, electrolitos y metabolitos en suero. El bienestar animal se midió en 30 vaquillas y 50 vacas, registrando episodios de descanso y de alimentación. Por último, las variables productivas posparto fueron tomadas en 11 vaquillas y 11 vacas: calidad de calostro y leche, rendimiento de leche, así como desempeño pre-destete de sus crías. Las vacas y vaquillas se alojaron en corrales diferentes con sombra y un sistema de enfriamiento basado en aspersión de agua y ventilación forzada. Después del parto, todos los animales se trasladaron a un corral común para vacas frescas donde continuaron siendo enfriadas. En el periodo preparto, las temperaturas mínimas y máximas promedio fueron 23.5 y 49 ° C, humedad relativa e ITH promedio de 39% y 82.2 unidades, respectivamente. La conducta se monitoreó mediante análisis de barrido visual. La FR se midió dos veces al día (07:00 y 16:00 h) cada semana 30 d antes del parto. Las muestras de sangre se obtuvieron mediante punción de la vena coccígea una vez a la semana durante 4 semanas preparto. El perfil hematológico se determinó en sangre fresca, mientras que metabolitos y electrolitos en suero. El calostro se muestreó 3 veces: al momento del parto, 12 y 24 h después del parto. Se tomaron muestras de leche los días 7, 14, 21 y 28 posparto. En muestras de calostro se determinó calidad, y en leche calidad y producción. Todas las variables se analizaron con modelos de análisis de varianza usando el procedimiento MIXED. Las vaquillas prefirieron permanecer de pie bajo la sombra alimentándose, mientras que vacas multíparas prefirieron echarse bajo la brisa y rumiar por las mañanas. Las vacas mostraron menor FR ($P < 0.05$) que vaquillas por la mañana (62.94 vs 67.25 resp/min) y tarde (69.56 vs 94.19 resp/min). Los valores promedio de volumen corpuscular medio (52.72 vs 45.85 fL), hemoglobina corpuscular media (16.90 vs 14.74 pg) y el ancho de la distribución de las plaquetas (16.71 vs 16.28 %) fueron mayores ($P < 0.01$) en vacas que vaquillas. Sin embargo, las vacas tuvieron un recuento más bajo (P

<0.01) de glóbulos rojos (5.86 vs 6.88 x12 / L) que novillas. Los glóbulos blancos, hemoglobina, plaquetas, monocitos, linfocitos y granulocitos no mostraron diferencias entre vacas y vaquillas (P > 0.05). El calostro de vacas mostró menos grasa (P <0.05) que el de novillas (3.10 vs 5.89%); sin embargo, los sólidos no grasos (17.4 vs 17.9%), proteína (6.83 vs 6.67%) y densidad (64.96 vs 60.85%) fueron similares (P> 0.05) entre vacas y vaquillas, respectivamente. En leche, la grasa (4.90 vs 4.27%), sólidos no grasos (8.70 vs 9.06%), proteína (3.44 vs 3.53%) y densidad (28.96 vs 30.51%) de vacas y vaquillas, respectivamente, fueron similares (P > 0.05). El enfriamiento 30 d antes del parto resultó más beneficioso en vacas (multíparas) que en vaquillas (de primer parto) Holstein, dados sus valores de producción de leche y calidad de calostro. En el crecimiento de las crías solo hubo tendencias en favor de crías de vacas. No obstante, las concentraciones de metabolitos, electrolitos y hematología se mantuvieron dentro de los límites de referencia. Se concluye que el enfriamiento 30 d preparto en condiciones de estrés calórico severo es importante para mejorar el bienestar, fisiología y productividad de vacas y vaquillas Holstein.

ABSTRACT

The objective of the study was to evaluate the effect of administering cooling 30 d before calving to Holstein cows and first-calf heifers in a commercial barn located in an arid zone. Antepartum physiology was measured in 11 cows and 11 heifers and consisted of recording respiratory frequency (RR), hematological profile, electrolytes and metabolites in serum. Animal welfare was measured in 30 heifers and 50 cows, recording episodes of rest and feeding. Finally, the postpartum productive variables were taken in 11 heifers and 11 cows: quality of colostrum and milk, milk yield, as well as pre-weaning performance of their calves. The cows and heifers were housed in different pens with shade and a cooling system based on water spray and forced ventilation. After calving, all the animals were moved to a common pen for fresh cows where they continued to be cooled. In the antepartum period, the average minimum and maximum temperatures were 23.5 and 49 °C, relative humidity and average ITH of 39% and 82.2 units, respectively. Conduct was monitored by visual sweep analysis. RF The RF in breaths per minute (bpm) was measured twice a day (07:00 and 16:00) every week 30 days before calving. Blood samples were obtained by puncture of the coccygeal vein once a week for 4 weeks antepartum. The hematological profile was determined in fresh blood, while metabolites and electrolytes in serum. Colostrum was sampled 3 times: at the time of calving, 12 and 24 h after calving. Milk samples were taken on days 7, 14, 21 and 28 postpartum. Quality was determined in colostrum samples, and quality and production in milk. All study variables were analyzed with analysis of variance models using the MIXED procedure. Heifers preferred to stand in the shade feeding, while multiparous cows preferred to lying down in the breeze and ruminating in the mornings. Las vacas mostraron menor FR ($P < 0.05$) que vaquillas por la mañana (62.94 vs 67.25 resp/min) y tarde (69.56 vs 94.19 bpm). The mean values of mean corpuscular volume (52.72 vs 45.85 fL), mean corpuscular hemoglobin (16.90 vs 14.74 pg) and platelet distribution width (16.71 vs 16.28%) were higher ($P < 0.01$) in cows than heifers. However, cows had a lower red blood cell count ($P < 0.01$) 5.86 vs 6.88 x12 / L than heifers. White blood cells, hemoglobin, platelets, monocytes, lymphocytes and granulocytes did not show

differences between cows and heifers (P> 0.05). The colostrum of cows showed less fat (P <0.05) than that of heifers (3.10 vs 5.89%); however, the non-fat solids (17.4 vs 17.9%), protein (6.83 vs 6.67%) and density (64.96 vs 60.85%) were similar (P> 0.05) between cows and heifers, respectively. In milk, the fat (4.90 vs 4.27%), non-fat solids (8.70 vs 9.06%), proteins (3.44 vs 3.53%) and density (28.96 vs 30.51%) of cows and heifers, respectively, were similar (P> 0.05). Cooling 30 d before calving was more beneficial in (multiparous) cows than in (first calving) Holstein heifers, given their milk production and colostrum quality values. In calf growth there were trends only in favor of cows' calf. However, the concentrations of metabolites, electrolytes and hematology remained within the reference limits. It is concluded that cooling for 30 d pre-partum under severe heat stress is important to improve the animal welfare, physiology and productivity of Holstein cows and heifers.

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

Las altas temperaturas ambientales presentes durante los meses de verano en zonas áridas generan estados de estrés calórico en el ganado lechero, por lo que comprometen su desempeño productivo, salud y bienestar en general (Anzures-Olvera *et al*., 2015; Baumgard y Rhoads 2013; Nardone *et al*., 2010).

Los signos que manifiestan en primera instancia son: disminución en el consumo de materia seca, incremento de la frecuencia respiratoria y cambios conductuales como mayor permanencia de pie (principalmente en las horas más calurosas del día para incrementar su pérdida de calor corporal), por lo que demandan un mayor gasto de energía para mantenimiento debido a dichas modificaciones (West, 2003; Baumgard y Rhoads 2013; Robinson, 2014).

Los productores deben de implementar estrategias de manejo ambiental como el uso de sombras y sistemas de enfriamiento para proveer condiciones ambientales más confortables a los animales (Diario Tijuana Informativo, 2016). Sin embargo, los sistemas de enfriamiento se han usado principalmente en vacas en producción porque generan ingresos diarios al establo lechero (Kertz, 2013).

Diversos estudios han demostrado que los sistemas de enfriamiento mejoran el rendimiento productivo y bienestar del ganado lechero. El manejo del periodo seco, tanto de vaquillas de primer parto como de vacas multíparas, es fundamental porque puede influenciar en: la calidad de calostro y leche, rendimiento lechero y el desempeño pre-destete de los terneros (Avendaño-Reyes *et al*., 2007; Do Amaral., *et al* 2009; Do Amarar *et al*., 2011; Safa *et al*., 2018; Tao *et al.,* 2019).

Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto del enfriamiento 30 días antes de la fecha de parto estimada en vacas y vaquillas Holstein sobre variables fisiológicas, conductuales y productivas, así como en el crecimiento de sus crías, en verano en una zona árida del noroeste de México.

2. PROBLEMÁTICA

El calentamiento global hoy en día es un tema de suma importancia para los sistemas de producción animal. Este calentamiento de nuestro planeta es el resultado del cambio climático, el cual impacta negativamente a los estados ubicados en el norte del país, que se caracterizan por ser regiones áridas y semiáridas que presentan condiciones climáticas drásticas durante el verano. Uno de los efectos del cambio climático es la presencia de ondas cálidas cada vez más prolongadas, generando estrés calórico en el ganado lechero, que lo conduce a un reajuste en su fisiología y conducta para regular su temperatura corporal y tratar de mantener su desempeño productivo. No obstante, se conoce que el estrés calórico afecta el ciclo productivo de la vaca lechera, también afecta otras fases no productivas como lo es el periodo seco. Un periodo seco deficientemente manejado afectará negativamente en la subsiguiente lactancia: el rendimiento lechero, la calidad y cantidad del calostro producido, la salud y crecimiento de la cría, y la fertilidad de la vaca. Actualmente se han implementado estrategias de manejo ambiental en los corrales de pre-parto, sala de espera, sala de ordeña, becerreras y corrales de producción con la finalidad de mejorar la producción y disminuir los efectos negativos del estrés calórico.

3. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

¿Difiere entre vacas y vaquillas enfriadas por 30 días del periodo seco en verano la fisiología preparto, calidad del calostro producido, la cantidad y calidad de la leche, así como el desempeño de sus crías en una zona árida del norte de México?

4. JUSTIFICACIÓN

El Estado de Baja California está situado en la frontera norte de México, colinda con los Estados Unidos de América y sus principales actividades económicas las representan la industria manufacturera, la actividad turística, la producción agrícola, ganadera y pesquera (Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático de Baja California PEACC-BC, 2012). Los cultivos de trigo y de algodón, así como la engorda de bovinos y la producción lechera, constituyen las principales cadenas productivas (Corrales, 2010). A pesar de que la producción de leche estatal no es muy significativa a nivel nacional, su importancia local recobra mayor auge por la tradición de consumo de leche fresca (Montaño *et al*., 2013).

La industria pasteurizadora compra la leche a productores locales, la procesa y distribuye principalmente dentro del mismo estado. La producción lechera de manera estabulada o bajo pastoreo es una de las actividades pecuarias que más se desarrollan en el Valle de Mexicali y es beneficiada por su cercanía al Distrito de riego número 14 del Río Colorado que facilita el establecimiento de cultivos anuales que conforman la fuente principal de alimentación del ganado (Gobierno de Baja California, 2015).

Un desafío que enfrentan cada año en verano las explotaciones lecheras de la región son temperaturas ambientales extremas que generan estados de estrés calórico en el ganado que reduce su desempeño productivo (Anzures-Olvera *et al*., 2015, West, 2003); dichas temperaturas logran superan 45 °C prácticamente todos los días de la estación (Servicio Meteorológico Nacional, 2010). Los productores deben de implementar estrategias para enfrentar dichas condiciones climáticas a fin de aminorar los efectos del estrés calórico sobre las vacas en producción, terneros y vacas en periodo seco principalmente, ya que son más susceptibles. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de un sistema de enfriamiento 30 días antes de la fecha de parto estimada de vacas y vaquillas Holstein bajo estrés calórico y el desempeño pre-destete de sus crías.

5. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto del enfriamiento 30 días antes de la fecha de parto estimada en vacas y vaquillas Holstein sobre variables fisiológicas, conductuales y productivas, así como en el crecimiento de sus crías en verano en una zona árida.

Objetivos específicos

1. Evaluar variables fisiológicas en el preparto en vacas y vaquillas Holstein enfriadas 30 días antes del parto durante verano.

2. Evaluar el enfriamiento de vacas y vaquillas Holstein antes del parto en variables de conducta relacionadas con el bienestar animal durante verano.

3. Evaluar el enfriamiento de vacas y vaquillas Holstein antes del parto durante verano sobre la calidad de calostro y leche, producción lechera, así como el desempeño pre-destete de sus crías.

6. HIPÓTESIS

El enfriamiento 30 d preparto de vacas Holstein multíparas mejora la fisiología, bienestar y productividad postparto, así como el crecimiento de sus crías bajo estrés calórico en una zona árida en comparación con vaquillas de primer parto.

7. REVISIÓN DE LITERATURA

7.1. Contexto de la producción de leche de bovino en México.

La producción de leche de bovino en México en las últimas décadas se ha posicionado como la tercera actividad económica más importante del sector alimentario, después de carne de ave y la de bovino, así como el principal contribuidor de alimento en porcentaje (litros de leche). A pesar de esto, México no satisface su demanda doméstica y se ha convertido en el segundo importador de leche a nivel mundial (Secretaria de Economía SE, 2012; Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria CEDRSSA, 2019).

Dicha producción se caracteriza por ser muy heterogénea, ya que es influenciada por factores tecnológicos, económicos y tradicionales, así como la gran variedad de climas presentes en cada región que determinan una diversidad de sistemas con diferentes costos de producción. El sistema con mayor importancia es el intensivo (especializado), que se caracteriza por contar con ganado de razas especializadas en producción de leche (Holstein, Suizo y en menor número Jersey) con una alimentación a base de alimento balanceado y forraje de corte, así como utilizan tecnologías de vanguardia que les permite mantener una producción constataste todo el año (SE, 2012; SAGARPA, 2010).

7.2. Desafíos para la humanidad en los próximos años.

En los últimos años se ha presentado un incremento en la demanda de alimentos de origen pecuario a nivel mundial de manera apresurada, manifestando cambios alimenticios como un mayor consumo de carne y productos lácteos debido al crecimiento económico en los países emergentes y se estima esta misma tendencia en los próximos años; el precio de los alimentos en el futuro dependerá de la capacidad de adaptación de los sistemas de producción y de la intervención del cambio climático global en sus producciones, por lo que la seguridad alimentaria será uno de los desafíos más importantes para la humanidad (FAO, 2017).

El cambio climático global repercutirá negativamente en la producción agropecuaria a nivel mundial y local (FAO, 2016), ya que el estrés calórico se convertirá en un problema creciente en el futuro a medida que el calentamiento global se incremente (Renaudeau *et al*., 2010). Cabe mencionar que en los últimos veranos de Baja california se han incrementado las temperaturas ambientales entre 1 a 1.5 °C anuales, incluso en lugares donde el clima era estable; esto afectará tanto la producción de leche como la de carne de explotaciones establecidas en estas zonas y podrán manifestar pérdidas económicas considerable que podrían poner en riesgo la seguridad alimentaria del estado (PEACC-BC, 2012).

Ante la gran demanda de alimentos de origen pecuario, la industria alimentaria tiene la necesidad de crear estrategias de producción más sofisticadas y mejorar genéticamente los animales de producción de manera que aumenten su rendimiento productivo. El ganado lechero de alta producción (35 kg de leche/d) es más susceptible a altas temperaturas que el ganado de producción media (Armstrong, 1994; Zimbelman *et al.* 2009), lo que se atribuye a que se han seleccionado varios años por sus cualidades de producción y esta ha aumentado su vulnerabilidad a temperaturas calurosas por la estrecha relación entre nivel de producción y producción de calor metabólico (Renaudeau *et al*., 2010). A mayor producción se produce mayor calor metabólico, lo que contribuye al incremento de la temperatura del planeta (Collier y Gebremedhin, 2015).

Está claro que para que una vaca sintetice mayor cantidad de leche es necesario que eleve su consumo de alimento (Stone *et al*., 2017), lo que es utilizado como combustible, que al ser quemado en forma de metabolitos se obtiene energía para emplearla quizás en crecimiento muscular o en síntesis de leche, originando calor metabólico (Hansen *et al*., 2019). Se prevé que cada vez se requerirá de la implementación de más estrategias en la producción de bovinos para contrarrestar los efectos negativos de los factores climáticos, principalmente altas temperaturas ambientales, de tal manera que en el futuro serán desafíos para la humanidad la demanda de alimento, el cambio climático y salvaguardar el bienestar y salud de los animales de producción (PEACC-BC, 2012; Collier y Gebremedhin, 2015).

7.3. Bienestar animal en ganado lechero.

Actualmente la producción de alimentos de origen animal proyecta varios desafíos éticos tanto para el profesionista en producción animal, como para productores y consumidores debido a la preocupación del bienestar de los animales de producción. Sin embargo, cabe mencionar que no se cuenta con una sola definición de bienestar animal (Cornish *et al*., 2016)**.**

Entre las definiciones más completas se encuentra la de la Organización Mundial de Salud Animal (OIE), publicada por medio del Código Sanitario para los Animales Terrestres (Código Terrestre) perteneciente a la misma, enunciando al bienestar animal como “el estado físico y mental de un animal en relación con las condiciones en las que vive y muere”. Es decir, considera que un animal se encuentra en un estado satisfactorio de bienestar cuando está sano, confortable y bien alimentado, puede expresar su comportamiento innato, no sufre dolor, miedo o angustia. Para lograrlo, el animal debe experimentar las siguientes 5 libertades: 1 Libre de sed, hambre y desnutrición, 2 No sufrir estrés físico ni térmico, 3 Libre de dolor, lesiones o enfermedades, 4 Capaz de expresar patrones normales de conducta, 5 Libre de miedo o angustia (OIE, 2019a).

En México, el sistema de producción lechera con mayor relevancia es el intensivo dado que es conformado por animales de razas especializadas con estabulación libre, altos niveles de tecnología y procedimientos de manejo avanzados. En los sistemas de estabulación el ganado se mantiene en superficies delimitadas, ya sea en interiores o exteriores y dependen por completo del hombre para satisfacer sus necesidades básicas como alimentación, refugio y agua. El tipo de instalación está diseñado de acuerdo al lugar, condiciones climáticas y el sistema de manejo. En este sistema, los animales pueden estar libres o confinados (OIE, 2019b).

En climas cálidos el ganado lechero sufre estrés térmico originado por altas temperaturas ambientales, lo que a su vez compromete la salud y actividad biológica normal de los animales; de igual manera, tiene efectos negativos en el estado afectivo de los mismos al promover sentimientos de hambre y sed (Polsky y Von Keyserlingk, 2017).

7.4. Balance térmico en bovinos lecheros.

Los animales homeotermos tienen la capacidad de mantener su temperatura corporal constante, independientemente de las condiciones térmicas presentes en su entorno. Dicha actividad es denominada homeotermia (Hill *et al*., 2006, Collier *et al*., 2019). Por su parte, Hill *et al*. (2006) indican que la homeotermia ocurre cuando la carga de calor adquirida por sus actividades metabólicas y físicas es igual a la suma de calor trasferido al ambiente.

¿Qué es calor? Es una forma de energía que posee un cuerpo o ambiente producto de movimientos de los átomos y moléculas que lo conforman, ¿Qué es temperatura? es la magnitud física que expresa el nivel o grado de calor de un cuerpo o ambiente, y su función es determinar la dirección de la transferencia de calor (Hill *et al*., 2006; RAE, 2014).

El balance térmico (termorregulación) toma inicio a nivel neuronal (células nerviosas) que determinan la temperatura corporal mediante receptores térmicos ubicados en diferentes partes del núcleo (médula espinal, cerebro) y periferia del cuerpo (piel), así como ubicaciones especiales (escroto); es dirigido por un centro de control situado en el hipotálamo y las regiones preópticas asociadas del cerebro que procesan toda la información obtenida por los receptores e implementa mecanismos productores y perdedores de calor para equilibrar la temperatura corporal (Pérez, 2013; Hill *et al*., 2006).

Los bovinos son homeotermos. Su temperatura corporal depende de las ganancias y pérdidas de calor entre el organismo y el ambiente para que se desarrollen óptimamente su entorno debe proporcionarle las condiciones ambientales lo más cercanas a sus requerimientos fisiológicos (Robinson, 2014; Collier y Gebremedhin 2015). Para que logren su máximo bienestar debe de encontrarse dentro su zona termoneutral, también denominada zona de confort térmico, que es el rango de temperatura ambiente donde el animal mantiene su temperatura corporal constante con el mínimo gasto de energía y sin modificaciones metabólicas por lo que, ante estas condiciones deberá expresar su máximo potencial productivo (Shearer, 2004; Arias *et al*., 2008).

La zona termoneutral es diferente para cada especie e incluso puede variar por raza, o si el animal se somete a aclimatación, el límite de temperatura ambiental más bajo del rango es denominada temperatura crítica mínima y el más alto temperatura critica máxima (Hill *et al*., 2006). Por lo que, de acuerdo con Robinson (2014) depende de la tasa metabólica y la cantidad de aislamiento. Así que para el caso de bovinos lecheros se considera la zona termoneutral a una temperatura ambiente entre 5 a 25 °C (Shearer, 2004), y de 5 a 21 °C específicamente para la raza Holstein (Johnson, 1965). El rango de temperatura corporal normal del ganado es de 38 a 39 °C (Jackson y Cockcroft, 2002).

La temperatura crítica mínima cambia de acuerdo a la edad o estado fisiológico para terneros recién nacidos es considerada 12.8 °C y de - 25 °C para una vaca lechera en su pico de lactancia (Shearer, 2004; Arias *et al*., 2008). Los terneros recién nacidos son más susceptibles a sufrir estrés por frio, debido a que son más propensos a perder calor, sin embargo, con manejo adecuado son notablemente tolerantes a las bajas temperaturas ambientales (Roland *et al*., 2016).

La temperatura corporal es producto de la suma de la ganancia de calor proveniente del exterior y de todos los procesos metabólicos, la producción de calor mediante la actividad metabólica puede llegar a ser muy eficaz, y si este calor no logra disiparse puede alcanzar niveles peligrosos, la ganancia de calor de fuentes externas sucede cuando la temperatura del entorno es superior a la corporal y cuando se exponen a fuentes de calor radiante (Robinson, 2014).

Está claro que cuando un animal experimenta temperaturas fuera de su zona de confort sufrirá (estrés por frío o calor) y necesitará implementar cambios fisiológicos y conductuales que demandarán un mayor gasto de energía para mantener su homotermia (Collier *et al*., 2019). De modo que, la cantidad de energía que gasta un cuerpo que se encuentra en reposo dentro de la zona termoneutral (índice metabólico basal) se modifica en función al tiempo que requiere para estabilizar su temperatura corporal cuando se irrumpen los límites críticos mínimos o máximos (Hill *et al*., 2006).

El ganado lechero ante condiciones ambientales realiza diversos esfuerzos para mantener su temperatura corporal casi constante equilibrando su energía térmica mediante controles fisiológicos y conductuales (West, 2003; DeShazer *et al*., 2009; Baumgard y Rhoads, 2013), transfiere calor hacia el ambiente mediante rutas sensibles (no evaporarías) “radiación, convección y conducción” y latentes (evaporarías) “sudoración, respiración y jadeo” (Hill *et al*., 2006; Collier *et al*., 2019). También pierde una pequeña cantidad de calor en orina y heces (Robinson, 2014). La temperatura crítica superior debe ser inferior a la temperatura corporal como un requisito de un gradiente térmico establecido por las leyes de la física para que se logre la transferencia de calor por rutas sensibles (Collier *et al*., 2019).

7.5. Rutas sensibles (no evaporarías)

Las rutas de transferencia de calor no evaporarías también definidas como la transferencia de calor seco, es decir, sin evaporación (o condensación) de agua, son conformadas por tres mecanismos de transferencia de calor (conducción, convención y radiación térmica) los cuales deben ser analizados por separado principalmente en ambientes térmicos heterogéneos para que sean más exactos (Hill *et al*., 2006). Cuando los animales se encuentran dentro de su zona termoneutral pueden regular su temperatura corporal con mayor facilidad mediante mecanismos vasomotores (aumentan o disminuyen el flujo sanguíneo hacia la piel y extremidades) que modifican la cantidad de perdida de calor por radiación y por convección de manera que cuando existe una sobre carga de calor la primer respuesta del homeotermo es incrementar el flujo sanguíneo hacia dichas partes para incrementar la transferencia de calor hacia el ambiente (Robinson, 2014).

a) Intercambio por radiación.

Este intercambio de calor se lleva a cabo entre dos superficies y es el único método en el cual el calor fluye sin la ayuda de un medio de contacto, la vaca puede radiar calor en longitudes de onda hacia un medio más frio, por ejemplo: El cielo durante la noche, la sombra (techo), el suelo, sin en cambio, si está expuesta a temperaturas ambientales superiores a su temperatura corporal o a radiaciones excesivas de calor emitidas por el sol tendrá una ganancia de calor. Por otro lado,

a tal grado que la temperatura ambiental se incrementa, la capacidad conductora de pérdida de calor seco disminuye y el animal enfrenta un desafío cada vez mayor para eliminar el calor excedente de su cuerpo (Hill *et al*., 2006). Si la temperatura ambiental es igual o superior a la corporal el intercambio por vías no evaporarías se pierden y la única opción son las pérdidas de calor por evaporación, ya que es la única forma de perder calor cuando la temperatura ambiental supera a la del cuerpo (Robinson, 2014; Collier *et al*., 2019).

b) Intercambio por convección.

La transferencia de calor del ganado hacia el ambiente es incrementada por el movimiento del aire o del agua (Johnson, 2014). Para que esta sea posible en climas cálidos la temperatura del aire debe ser inferior a la temperatura corporal del animal (DeShazer *et al*., 2009). Dicha transferencia toma inicio en primera instancia cuando el ganado transfiere el calor generado por su metabolismo hacia la piel a través del sistema sanguíneo mediante vasodilatación periférica (Robinson, 2014). Posteriormente por medio del flujo de aire en el entorno es incrementada la perdida de calor (DeShazer *et al*., 2009).

c) Intercambio por conducción.

El intercambio de calor por este método sucede por contacto directo entre dos superficies y la transferencia de energía (calor) ocurre de manera molecular de la superficie con mayor temperatura hacia la superficie con menor temperatura, por lo tanto, la vaca puede transferir calor hacia un medio más frio por el ejemplo el piso y los corrales; entre mayor sea la superficie de contacto la transferencia de calor será mayor (Collier y Gebremedhin, 2015). La eficacia de la transferencia con una superficie de contacto depende de la temperatura de dicha superficie, así como de la conductividad térmica del material del que está constituida (DeShazer *et al*., 2009). Donde intervienen sus propiedades físico-químicas como la textura, en los materiales metálicos es alta la conductividad térmica y es baja en polímeros y materiales especiales como la fibra de vidrio.

7.6. Rutas latentes (Evaporarías).

Cuando la vasodilatación con apoyo de las pérdidas de calor no evaporarías no son suficientes para mantener la temperatura corporal dentro de los límites normales, el homeotermo recurre a mecanismos de enfriamiento por evaporación (sudoración y jadeo) ya que es el único método de perder calor cuando la temperatura ambiental supera a la corporal y consigue tener gran eficacia cuando la humedad relativa ambiental es baja (Robinson, 2014).

En climas cálidos, dichas vías resultan ser el método más eficaz implementado por el ganado para la perdida de calor corporal. El calor se pierde en forma de vapor del cuerpo del ganado, este enfriamiento es la última alternativa implementada por el animal para eliminar el calor excedente de su cuerpo y requiere de un gasto de energía mayor que los métodos de las vías no evaporarías debido a que, deben de efectuarse trabajos fisiológicos para apresurar la perdida de calor (Hill *et al*., 2006).

El intercambio de calor por estas rutas sucede cuando el agua que contienen las secreciones respiratorias, sudoración o saliva se convierten en vapor y se disipan al ambiente; para evaporar 1 L de agua se requiere de 580 kilocalorías (kcal), si el cuerpo del animal es capaz de proporcionarlas, la pérdida de calor por estos medios puede llegar a ser muy eficaz, pero no logra impedir que el cuerpo del animal sufra una pérdida de agua necesaria al efectuar dichos mecanismos (Robinson, 2014), y esto, podría poner en riesgo el agotamiento de las reservas de agua corporal (Collier y Gebremedhin, 2015).

El jadeo y la sudoración forman parte de las principales respuestas independientes manifestadas por parte del animal cuando se encuentra bajo condiciones climáticas de estrés por calor (Collier y Gebremedhin, 2015). Cabe mencionar que en estas condiciones se puede incrementar en gran medida la perdida de calor por evaporación y existe mayor pérdida de agua ya que el ganado aparte de sudar y jadear implementa otras estrategias para perder calor como mojarse con su propia saliva (Robinson, 2014).

a) Transpiración (Sudoración)

La pérdida de calor por transpiración toma inicios cuando se activan las glándulas sudoríparas y existe una difusión continua de agua hacia la superficie de la piel (Robinson, 2014). El caballo es la especie con el mecanismo de sudoración más eficaz, la sudoración incrementa la trasferencia de calor de la superficie de la piel, las vacas también se consideran animales con una buena sudoración y dicha actividad ambos la complementan con el jadeo (Collier y Gebremedhin, 2015).

b) Respiración (Jadeo)

Jadeo es un incremento de la frecuencia respiratoria para incrementar la pérdida de calor, los bovinos utilizan el calor del núcleo de su cuerpo principalmente de los pulmones para calentar el agua y mandarla hacia el exterior (calor) en forma vapor, la evaporación del agua generada por su paso en membranas húmedas y calientes que revisten el tracto respiratorio utilizando el aire inhalado y exhalado como medio de transporte (Robinson, 2014; Collier y Gebremedhin, 2015).

7.7. Otros factores biológicos que influyen en la transferencia de calor.

Existen factores biológicos que influyen en la resistencia a la transferencia de calor de un homeotermo con su entorno denominados aislamiento, entre ellos se encuentra el pelaje que mediante respuestas llamadas pilomotoras cada pelo de la vaca puede elevarse o aplanarse, dentro de su zona termoneutral levanta sus pelos de manera que el pelaje se torna más esponjoso, esto le ayuda a atrapar una capa de aire estático alrededor de su cuerpo formando un aislamiento con el exterior. El incremento del flujo sanguíneo que transporta el calor hacia la piel donde se pierde con facilidad. Respuestas postulares que modifican la extensión de la superficie corporal expuesta al ambiente (Hill *et al*., 2006).

Cuando existen en el entorno temperaturas ambientales superiores a la corporal en conjunto con porcentajes altos de humedad relativa (el aire se empieza a saturar de agua) las vías evaporarías implementadas por el animal para disipar el calor excedente de su cuerpo son ineficaces ya que estos factores contribuyen a la carga de calor y limita la pérdida del mismo (Dikmen y Hansen, 2009).

7.8. Estrés calórico en ganado lechero

Uno de los factores que más influyen en las producciones agropecuarias son las condiciones climáticas, ya que condiciones drásticas provocan en el ganado estrés ambiental que como respuesta manifiestan una serie de cambios en sus funciones biológicas y emplean diversos mecanismos de adaptación fisiológicos, bioquímicos, entre otros, que al ejecutarlos comprometen su desempeño productivo, retraso en el crecimiento, bajo rendimiento de leche, problemas reproductivos u otras alteraciones equilibrio de agua, proteínas, minerales o metabolitos (Habeeb *et al.* 2018; Alemneh y Akeberegn, 2019).

En climas cálidos las altas temperaturas presentes en verano generan estados de estrés calórico en el ganado lechero, el cual activa varios mecanismos fisiológicos y conductuales para tratar de mantener su temperatura corporal dentro de los rangos normales, que de forma directa o indirecta afecta su desempeño productivo, ya que prioriza su termorregulación ante otros procesos fisiológicos como estrategia de supervivencia, disminuyen su consumo de alimento, aumentan la frecuencia respiratoria, el flujo sanguíneo periférico y sudoración para enfrentar dicho estrés (West, 2003; Baumgard y Rhoads 2013; Robinson, 2014). La disminución de productividad en la industria lechera representa pérdidas económicas considerables cada año (Avendaño-Reyes, 2012a), e incrementan los problemas de bienestar animal (Brown-Brandl *et al*., 2017; Lenis *et al*., 2016).

Cuando hablamos de estrés calórico nos referiremos a la incapacidad del animal para mantener su temperatura corporal dentro de los rangos normales cuando es expuesto a diversos factores climáticos (Broom, 2011). Es definido por Dikmen y Hansen (2009) como la suma de fuerzas externas, temperatura ambiental, humedad relativa, radiación solar y velocidad del viento que actúan sobre el animal y desplazan su temperatura corporal de su punto de equilibrio y evoca una respuesta fisiológica. Es un trastorno o agente hipotético originado por los fenómenos de calor, o sensación de calor (RAE, 2014).

7.9. Índice de temperatura y Humedad

El Índice de Temperatura-Humedad (ITH) es el método más utilizado para determinar el estado de estrés calórico en ganado lechero en diferentes partes del mundo (Wiersma, 1990; Armstrong, 1994; Dikmen y Hansen 2009; Zimbelman *et al*., 2009; Herbut y Angrecka, 2018). Debido a que es un indicador significativo que determina el estado de estrés calórico causando por factores ambientales sobre el ganado, relaciona en su ecuación la temperatura ambiental y el porcentaje de humedad relativa presentes en el ambiente con el confort y eficiencia del animal. Es considerado por Dikmen y Hansen (2009) como un buen predictor de estrés calórico en vacas lecheras. Se ha utilizado un valor crítico de ITH de igual o superior a 72 unidades ver figura I, ya que en estudios anteriores se determinó que ante este valor el estrés calórico repercute negativamente al ganado lechero de producción media (Johnson, 1980; Wiersma, 1990, Armstrong, 1994).

índice de Temperatura y Humedad (ITH)														Nivel de estrés
		Humedad Relativa (%)												
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
Temperatura Ambiental (°C)	18	62	63	63	63	63	63	64	64	64	64	64	64	65	Libre
	19	64	64	64	64	65	65	65	65	65	66	66	66	66	
	20	65	65	65	66	66	66	67	67	67	67	68	68	68	
	21	66	66	67	67	67	68	68	68	69	69	69	70	70	
	22	67	68	68	68	69	69	70	70	70	71	71	71	71	
	23	68	69	69	70	70	71	71	71	72	72	73	73	74	Ligero
	24	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	74	75	75	
	25	71	71	72	72	73	74	74	75	75	76	76	77	77	
	26	72	73	73	74	74	75	76	76	77	77	78	78	79	
	27	73	74	75	75	76	76	77	78	78	79	80	80	81	Moderado
	28	75	75	76	77	77	78	79	79	80	81	81	82	83	
	29	76	76	77	78	79	79	80	81	82	82	83	84	84	
	30	77	78	79	79	80	81	82	82	83	84	85	86	86	
	31	78	79	80	81	81	82	83	84	85	86	86	87	88	
	32	79	80	81	82	83	84	85	86	86	87	88	89	90	Severo
	33	81	82	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	
	34	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	
	35	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	
	36	84	85	86	87	89	90	91	92	93	94	95	96	97	
	37	85	87	88	89	90	91	92	93	94	96	97	98	99	

Figura I. Estado de estrés calórico de acuerdo a las unidades de ITH Adaptado de Wiersma, 1990 y Amstrong, 1994).

Se ha demostrado que el ITH tiene relación con otros indicadores de estrés calórico en vacas lecheras como la temperatura rectal y tasa de respiración (Zimbelman *et al*., 2009), rendimiento lechero (Bernabucci *et al*., 2014; Tao *et al*., 2019), el comportamiento de estar de pie o acostadas (Allen *et al*., 2015; Nordlund *et al*., 2019), el tiempo de rumia (Soriani *et al*., 2013; Moretti *et al*., 2017), entre otros. Estos se modifican en función a que aumenta o disminuye el ITH.

7.10. Ajustes fisiológicos generados por el estrés calórico

Entre los cabios fisiológicos que expresa el ganado lechero ante el estrés por calor se encuentran los que son fáciles de detectar a simple vista como el aumento en la frecuencia respiratoria y los no tan visibles como la disminución de inmunidad (Dussert y Piron 2012). En general, presentan disminución en consumo de alimento, rumia, producción lechera, taza de concepción, e incremento en temperatura rectal y corporal, consumo de agua, perdida de agua mediante la transferencia de calor por evaporación, cantidad de energía para mantenimiento, cambios en la tasa metabólica y concentración de hormonas en sangre (Armstrong, 1994, Dussert y Piron 2012). El animal requiere de una mayor cantidad de energía para mantenimiento debido a que durante esta condición sufre alteraciones en la respuesta neuroendocrina e induce la secreción de noradrenalina, adrenalina, corticosteroides, renina, tiroxina y hormona del crecimiento para hacer frente a dichas condiciones (Lenis *et al*., 2016).

Frecuencia respiratoria

La frecuencia respiratoria ideal de un bovino debe de encontrarse entre 15 y 30 respiraciones por minuto, la de una vaca lechera entre 26 y 50 respiraciones por minuto (Fielder, 2016). Un bovino en reposo presenta una frecuencia respiratoria de 20 respiraciones por minuto (Jackson y Cockcroft, 2002). Diversos estudios (Armstrong, 1994; Kadzere *et al*., 2002; Avendaño-Reyes *et al.,* 2007; Bernabucci *et al*., 2010; Polsky y von Keyserlingkm, 2017; Pinto *et al*., 2019) han demostrado que bajo estrés calórico el ganado lechero incrementa su frecuencia respiratoria en un intento de transferir calor hacia el ambiente y regular su temperatura corporal.

De acuerdo con Hansen *et al.* (2019) el primer síntoma que manifiesta una vaca lechera cuando se encuentra bajo condiciones de estrés calórico es un incremento en la frecuencia respiratoria y una tasa de respiración igual o superior a 60 respiraciones por minuto indican que el animal está experimentando estrés por calor. Y es considerado por Dalcin *et al*. (2016) el mejor indicador fisiológico del estrés calórico en el ganado lechero.

Cambios de conducta

El ganado lechero es muy susceptible a las altas temperaturas ambientales que les genera estados de estrés calórico; que, a su vez, les provocan cambios conductuales y afecta su bienestar (Angrecka y Herbut, 2017; Herbut y Angrecka, 2018). Estos cambios son empleados para mejorar su capacidad de enfriamiento corporal (Polsky y von Keyserlingk 2017), pero comprometen el metabolismo, la salud y la respuesta inmunológica de los animales; así mismo, la economía de las granjas y el bienestar animal (Baumgard y Rhoads 2013; Nardone *et al*., 2010).

a) **Episodios de descanso (estar de pie o estar echadas).**

Cuando las vacas lecheras presentan una temperatura corporal baja suelen acortarse y pasar periodos prolongados en esta posición (Allen *et al*., 2014). Sin embargo, cuando las temperaturas ambientales se incrementan y los animales sufren una mayor ganancia de calor, las vacas permanecen de pie por más tiempo (Nordlund *et al*., 2019), estratégicamente ya que en esta posición al exponer mayor área de su cuerpo al movimiento del aire su pérdida de calor es más eficaz (Allen *et al*., 2015).

En consecuencia, disminuyen su tiempo para caminar y de estar acostadas ante un ITH que fluctúe entre 56.2 a 73.8 unidades el tiempo de descansó se reduce 3 h/d esto podría contribuir a la presencia de lesiones en las pezuñas, por lo que, es recomendable implementar estrategias de reducción de calor cuando la temperatura alcanzan los 21 °C (Cook *et al*., 2007).

b) Episodios de alimentación (Comer, Beber, Rumiar).

Se ha reconocido que la mayor consecuencia del estrés por calor es una depresión adoptiva en el metabolismo que evoca primeramente en una reducción del apetito lo cual afecta al ganado (Roca *et al*., 2011), ya que manifestará una reducción en el consumo de alimento que a su vez le provoca una disminución en el tiempo de rumia (Moretti *et al*., 2017). De acuerdo con Anderson (2009), en los días con condiciones ambientales que exhiben un ITH de 68 unidades o superior, las vacas disminuyen 20% su tiempo de pastoreo para recurrir a la sombra e incrementan su tiempo de pastoreo nocturno para compensar su ingesta de alimento. En otro estudio realizado por Luchterhand *et al*. (2016), encontraron que cuando ofrecieron alimento a libre acceso a vaquillas de primer parto y vacas multíparas con buena salud en condiciones estabuladas, el tiempo de alimentación de las primeras fue menor.

La rumia es un indicador indiscutible de salud y bienestar de la vaca, ya que es el resultado de que ésta ha comido y que ha podido descansar, su monitoreo es muy importante ya que puede proporcionar signos directos para efectuar un diagnóstico temprano de un posible trastorno, estrés o enfermedad que aqueja o sufrirá el animal (Press, 2013). La reducción de tiempo de rumia puede utilizarse como un buen indicador de estrés por calor ya que se ha demostrado que por cada unidad de ITH por encima de 76 unidades ocurre una reducción de 2.2 minutos en el tiempo de rumia (Soriani *et al*., 2013).

Para que una vaca incremente su rendimiento lechero es necesario que eleve su consumo de alimento que a su vez podría implicar un tiempo de rumia más largo (Stone *et al*., 2017). Karimi *et al*. (2015) determinaron que cuando se les provee enfriamiento a las vacas su tiempo de rumia es más largo en comparación con las que no tuvieron enfriamiento y presentaron mayor nivel de estrés por calor.

El consumo de agua del ganado es fuertemente influenciado por las condiciones climáticas principalmente la temperatura del aire y en las horas cuando las condiciones son calurosas superiores a 30 °C incrementan su consumo de agua dos o tres veces más que cuando son inferiores a 30 °C (Bicudo y Gates, 2002).

Arias y Mader (2007) encontraron que el consumo de agua al día en el verano con un promedio de 32.4 L/día es el doble del que consumen en invierno 17.3 L/día en ganado de carne. Otros autores (Bernabuci *et al.*, 1999) han demostrado que las novillas en condiciones de estrés por calor incrementaron su consumo de agua y disminuyeron su consumo diario de alimento.

7.11. Componentes de la sangre y fisiología cardiovascular

La función principal del sistema cardiovascular es transportar numerosas sustancias esenciales para la vida y la salud por medio del torrente sanguíneo, así que, la sangre sirve como medio de transporte les proporciona a las células agua, nutrientes, electrolitos, hormonas y productos de desecho (dióxido de carbono, otros metabolitos, calor, entre otros) algunos son enviados hacia los pulmones, riñones, hígado o periferia donde son excretados (Kahn, 2007; Stephenson, 2014).

La sangre es un tejido conjuntivo especializado que se distingue por ser el único tejido líquido del organismo está constituido por dos componentes la primera es una suspensión de células entre las que se encuentran glóbulos rojos, glóbulos blancos y plaquetas, la segunda un líquido extracelular denominado plasma, dichas células tienen origen en la médula ósea a partir de células madre y pueden representar de un 30 a 60% del volumen de la sangre según la especie (Stephenson, 2014; González, 2017).

Los componentes principales de la sangre, el plasma y los componentes celulares pueden separarse mediante centrifugación en un tubo de ensayo con anticoagulante, la fase líquida se posiciona en la parte superior del tubo de ensayo debido a que es más ligera que la parte celular (Stephenson, 2014). Gracias a este método es factible observar la separación de sus componentes: en la parte de abajo de color rojizo 44% está formado por los eritrocitos, 1% que forma una capa blanca corresponde a los leucocitos y plaquetas, y 55% que queda en la superficie corresponde al plasma. Si se deja la sangre en un tubo sin anticoagulante, se consumen los factores de coagulación y el líquido restante se conoce como suero (González, 2017).

El plasma está compuesto en un 93% por agua y entre un 5 y 7% está constituido por: moléculas proteicas entre las que destacan la globulina, albúmina y el fibrinógeno, electrolitos en forma de iones en solución donde el catión dominante es el sodio ($Na+$) y los aniones predominantes son el cloro ($Cl-$) y el bicarbonato (HCO_3-), gases en pequeñas cantidades O_2, CO_2, N_2 en solución, nutrientes disueltos (glucosa, aminoácidos, lípidos y algunas vitaminas), hormonas (insulina, epinefrina, tiroxina) en cantidades muy pequeñas, adrenalina (una mezcla de epinefrina y norepinefrina) que es liberada al torrente circulatorio desde las células de la médula adrenal en los períodos de estrés y son transportadas a varios órganos donde ejercen efectos que preparan al animal amenazado para responder mediante “lucha o huida”, productos de desecho metabólico incluido el CO_2, urea, creatinina, ácido úrico, entre otros (Stephenson, 2014).

La sangre juega un papel importante en la regulación de la temperatura corporal ya que ayuda a perder calor o conservarlo con la vasoconstricción puede evitar que la sangre entre en contacto con el aire superficial y evitar la pérdida de calor o por el contrario mediante la irrigación en la piel ayuda a perder calor (González, 2017). Otra manera con la que contribuye es con el transporte de calor, producto de procesos metabólicos para ser disipado al ambiente, a pesar de que este, no es como tal un desecho material su transporte es esencial para evitar modificaciones en tejidos profundos y evitar el sobrecalentamiento del cuerpo, para que se lleve a cabo dicho transporte la sangre debe ser impulsada mediante un flujo de bombeo efectuado por el corazón, viajar velozmente y llegar a partes distantes como la cabeza y las extremidades del cuerpo en solamente 10 segundos, para ello es necesario un gasto de energía (Stephenson, 2014).

La sangre también participa en el equilibrio hidroelectrolítico y ácido-básico del organismo debido a que los eritrocitos tienen la capacidad de regular los niveles de bicarbonato en el plasma, el cual funciona como amortiguador (buffer) para mantener un pH fisiológico (González, 2017). Trasporta agua y electrolitos esenciales entre los que incluyen ($Na+$, $Cl-$, $K+$, Ca_2) los riñones se encargan de mantener niveles normales de estos en el organismo (Stephenson, 2014).

a) Componentes hematológicos.

La temperatura ambiental es un factor primordial para que existan modificaciones en las variables sanguíneas origen de las modificaciones fisiológicas implementadas por los mismos para reducir su producción de calor y mantener la homotermia (Ribeiro *et al.,* 2018). Así que es primordial tener conocimiento hematológico ya que los parámetros de los componentes son buenos indicadores de estrés ambiental y fisiológico de los animales y nos ayuda a comprender los efectos de la interacción de los mismos con el medio ambiente y en las características de la sangre, lo que permitiría seleccionar a los animales más resistentes a ciertas condiciones climáticas (Kubkomawa *et al*., 2016).

Los perfiles hematológicos y bioquímicos en sangre del ganado bovino pueden variar dependiendo de la raza, estado fisiológico del animal, edad, época del año e incluso las condiciones ambientales del horario en que se tomó la muestra de sangre del animal (Bhan *et al*., 2012), temporadas de lluvias tardías o el sexo del animal, estos cambios son empleados para la determinación de estados de estrés o trastornos en los organismos ocasionados por factores nutricionales, ambientales y/o patológicos (Kubkomawa *et al*., 2016). El Cuadro I nos muestra los componentes hematológicos bajo condiciones termoneutrales para vacas lecheras de acuerdo a su edad y etapa productiva.

La formación de las células que constituyen la sangre (eritrocitos, leucocitos y plaquetas) tiene origen en un proceso llamado hematopoyesis, éstas tienen una vida relativamente corta, para que se un mantenga nivel estable de ellas en un organismo es necesaria una renovación permanente (García y Moraleda, 2017).

La hematología es el estudio de la sangre y de los órganos que la producen (RAE; 2014), por lo tanto, se encarga desde la hematopoyesis y su evaluación en laboratorio, las anomalías en la sangre pueden proporcionar pistas sobre la presencia de una enfermedad en un organismo, para su estudio se realiza una prueba de laboratorio llamada hemograma, se realiza con sangre completa comúnmente adicionada con anticoagulante EDTA, se obtienen niveles de Volumen Corpuscular Medio (MCV), Hemoglobina Corpuscular Media (MCH),

Ancho de Distribución de Plaquetas (PDW), Globulos Rojos (RBC), Globulos Blancos (WBC), Hemoglobina (HGB), Plaquetas (PLT), Monocitos (Mon), Linfocitos (Lym), Granulocitos (Gran), entre otros (Cornell University, 2016).

Al volumen total de estas células presentes en la sangre se les denomina hematocrito y se determina centrifugando una determinada cantidad de sangre en un tubo de ensayo a la que se ha añadido anticoagulante y debido a que son más pesadas que el plasman se depositan en el fondo del tubo después de la centrifugación, gracias a esta acción al hematocrito también se le llama volumen de células empaquetadas (Stephenson, 2014).

Los glóbulos rojos (eritrocitos o hematíes) y los glóbulos blancos (leucocitos) se desarrollan en la médula ósea mediante mitosis y diferenciación a partir de células madre (Stephenson, 2014), el organismo logra mantener un número constante de eritrocitos mediante su proceso de transformación "eritropoyesis" para asegurar las necesidades de trasporte de gases en el mismo (García y Moraleda, 2017).

Los glóbulos rojos constituyen el mayor porcentaje de los componentes celulares de la sangre, reciben dicho nombre gracias a su color que le deben a la hemoglobina presente en ellos, su función principal es llevar oxígeno a los tejidos por medio de la hemoglobina (molécula transportadora) a presiones suficientes para permitir su rápida difusión, la sangre oxigenada fluye masivamente desde los pulmones hacia el corazón, posteriormente éste la envía a la aorta, desde donde, por medio de un complejo sistema de arterias se distribuye a todo el cuerpo, en el cerebro los capilares situados llevan un flujo masivo de sangre oxigenada muy cerca de cada neurona (Kahn, 2007; Stephenson, 2014).

De acuerdo con Stephenson (2014) el mayor porcentaje de oxígeno presente en la sangre es transportado por los eritrocitos por medio de hemoglobina, por lo tanto, la capacidad de transporte de O_2 de la sangre es determinad por la cantidad de hemoglobina. Existen diversos factores o sustancias que inhiben la producción de eritrocitos en el organismo como es el caso de la prostaglandina, o que fomentan la formación como la disminución de la presión parcial de oxigenó, los esteroides, la tiroxina y los andrógenos (García y Moraleda, 2017).

Los glóbulos blancos son los primordiales en la respuesta inmune y alérgica del organismo (Stephenson, 2014), se encargan de recoger y eliminar cualquier agente extraño y se clasifican en granulocitos (neutrófilos, eosinófilos y basófilos), linfocitos y monocitos, los primeros se encargan de realizar la fagocitosis (proceso en el que capturan y digieren partículas nocivas) y los linfocitos crean inmunidad por medio de la producción de anticuerpos (García y Jarque, 2017).

Varios estudios recientes han demostrado que el estrés calórico tiene influencia en los niveles de leucocitos en sangre en las vacas lecheras Holstein, Tonili *et al*. (2017) encontró incluso variaciones en la relación linfocitos/neutrófilos, encontrándose los primeros en menor proporción cuando las condiciones climáticas son más calurosas. Brown-Brandl et al. (2017) nos mencionan que los niveles de Glóbulos blancos: (Linfocitos, neutrófilos y eosinófilos) de novillas Angus negro, aunque se encuentren dentro de los parámetros normales se incrementan a medida que se mejora la calidad de la sombra. Dahl *et al*. (2020) han comprobado que en el periodo seco tiene efectos negativos sobre la función inmune en la madre y su descendencia, afecta la morbilidad y mortalidad de los mismos.

Las plaquetas (trombocitos) son fragmentos celulares encargadas de la hemostasia que se refiere al control de la pérdida de sangre proveniente de vasos sanguíneos cortados o dañados, éstas forman una barrera física en la fisuras de los vasos sanguíneos y liberan serotonina la cual provoca que los vasos sanguíneos se contraigan de manera que reduzcan el flujo y presión sanguínea en el sitio de la lesión de igual manera interviene en la liberación de otras sustancia y en factores que contribuyen a la coagulación del plasma y sangre sobre la matriz de fibrina (Stephenson, 2014). Además de la serotonina (hormona de la felicidad), intervienen otras sustancias liberadas por el organismo entre ellas se encuentra el tromboxano A2 (TXA2), el difosfato de adenosina (ADP), el trifosfato de adenosina (ATP), la betatromboglobulina, entre otros.

Cuadro I. Componentes hematológicos bajo condiciones termoneutrales.

Componente	HH 2 años +	Vaca lechera	Vaca Lechera 30 d Pre-parto	Vaca Lechera Lactancia No.			
				1	2	3	6
MCV fL	37.8 - 56	40 - 60	-	-	-	-	-
MCH pg	14.2 - 20.1	11 - 17	-	-	-	-	-
RBC x12/L	5 - 7.7	5 – 10	-	-	-	-	-
WBC x12/L	3.8 - 11	4 - 12	4.8 - 14.6	7.8	9.8	11.7	15.1
HGB g/L	85 - 132	80 - 150	-	75.5	96.7	100.6	125
PLT x12/L	220 - 64	100 - 800	-	287	294	309	327
Mon x12/L	0 - 0.9	0 - 0.9	0 - 0.3	-	-	-	-
Lym x12/L	1.0 - 5.8	2.5 - 7.5	1.9 - 9	2.8	3.8	4.1	7.5
Gran x12/L	0.7 - 4.9	0.6 - 4.0	-	4.6	6.2	6.8	7.8
Referencia	Lumsden, 1980	Fielder, 2016	Quiroz-Rocha *et al*., 2009	Coroian *et al*., 2017			

HH 2 años +**:** Hembras de raza Holstein de 2 años de edad o más**;** MCV: Volumen corpuscular medio; MCH: Hemoglobina corpuscular media; PDW: Ancho de distribución de plaquetas; RBC: Globulos rojos; WBC: Globulos blancos; HGB: Hemoglobina; PLT: Plaquetas; Mon: Monocitos; Lym: Linfocitos; Gran: Granulocitos.

b) Electrolitos sanguíneos.

La concentración de cada electrolito plasmático debe mantenerse dentro de límites estrechos para el funcionamiento normal del organismo que dispone de muchos mecanismos para regularlos (Stephenson, 2014). Se sabe que durante la transpiración de sudor implementada por los homotermos para transferir calor hacia el ambiente, existe una difusión continua de agua hacia la superficie de la piel (Robinson, 2014; Collier y Gebremedhin 2015). Sin embargo, el sudor no está compuesto solo por agua, sino por una concentración salina de Na+ y Cl^- en concentraciones inferiores a las plasmáticas (Hill *et al*., 2006). El Cuadro II muestra los parámetros ideales de electrolitos sanguíneos para vacas Holstein.

La pérdida de electrolitos por actividades de transpiración es regulada por varios mecanismos del organismo. Una glándula sudorípara es una estructura tubular constituida por dos partes: (1) una porción enrollada subdérmica profunda que segrega un líquido llamado secreción precursora (sudor), y (2) una porción del conducto que pasa hacia afuera a través de la dermis y la epidermis de la piel donde se reabsorben componentes. En primera instancia el fluido tiene una composición iónica similar a la del plasma en concentraciones menores y sin proteínas plasmáticas, posteriormente la concentración de componentes se modifica a medida que atraviesa la superficie de la piel por el conducto; la eficacia de reabsorción de iones depende de la tasa de sudoración. Cuando la transpiración es mínima, el líquido precursor pasa lentamente por el conducto y el sodio, cloruro y el agua logran reabsorberse casi en su totalidad, de manera que el sudor que llega a la piel está concentrado de urea, ácido láctico e iones de potasio. Por otro lado, si las glándulas sudoríparas son altamente estimuladas, excretan grandes cantidades de líquido precursor y el conducto absorbe menos cantidad de sodio, cloruro y agua, lo que a su vez genera que los demás componentes se diluyan (Hill *et al*., 2006; Guyton y Hall, 2011; Robinson, 2014). De acuerdo con Silanikove *et al*. (1997), existe una relación positiva entre la retención de iones (Cl^- y K^+) con la producción de leche y la ingesta diaria de alimento.

Otro factor que influye en la pérdida de electrolitos en los animales homeotermos es la aclimatación al calor en climas cálidos debido a que deben de incrementar su sudoración para favorecer la pérdida de calor. Sin embargo, en el caso de bovinos, cuando las condiciones climáticas son más calurosas, apoyan a su pérdida de calor generada por sudoración con mecanismos de jadeo, ya que es un recurso más eficaz (Robinson, 2014; Collier y Gebremedhin 2015). Esto ocurre principalmente en las razas *Bos taurus* debido que su tasa de sudoración es menor que la de razas *Bos indicus* (Blackshaw y Blackshaw 1994).

Los animales aclimatados implementan como estrategia una mayor reabsorción de la cantidad de cloruro de sodio antes de que la secreción precursora llegue a la piel, debido a que actúa sobre las células esenciales encargadas de la reabsorción de solutos y de agua en el conducto conector, así que la salinidad del sudor se minimiza y existe una concentración menor de cloruro de sodio en el líquido extracelular y plasma, pero si la sudoración es prolongada puede generar una pérdida considerable de la reserva corporal de cloro y sodio, dicha reabsorción es estimulada por el aumento en la secreción de aldosterona (hormona mineralocorticoide) que incrementa la reabsorción de sodio y la secreción de potasio (Hill et al., 2006; Guyton y Hall, 2011; Robinson, 2014; Verlander, 2014).

Cuadro II. Electrolitos sanguíneos (límites de referencia).

Electrolitos	HH 2 años +	Vaca lechera	Vacas y vaquillas Holstein en periodo seco.
Na^+ mmol/L	135 - 145	136 - 144	_
Cl^- mmol/L	96 - 105	99 - 107	95.9 - 112.6
K^+ mmol/L	3.6 - 5.1	3.6 - 4.9	3.3 - 4.9
Referencia	Lumsden, 1980	Fielder, 2016	Brscic *et al*., 2015

HH 2 años +**:** Hembras de raza Holstein de 2 años de edad o más**;** Na^+: Sodio;Cl^-: Cloruro; K^+: Potasio.

7.12. Efecto antes del parto, al parto y después del parto.

El estrés calórico en el período seco afecta el bienestar de las vacas y de sus crías porque se observa en primera instancia una disminución en la ingesta diaria de materia seca, perjudicando consecuentemente la calidad y cantidad de calostro y leche en la siguiente lactancia, así como el peso al nacer influenciado por una gestación más corta, efectos directos en el desarrollo fetal y en la sobrevivencia de los terneros (Tao *et al*., 2011; Tao y Dahl, 2013; Thompson *et al*., 2014; Monteiro *et al*., 2014; Karimi *et al*., 2015; Tao *et al*., 2019). También compromete el sistema inmunológico (do Amaral *et al*., 2011) y la mitigación de dicho estrés es clave para obtener buenos parámetros reproductivos de las vacas (Sheldon *et*., 2004). Por tanto, el estrés por calor en este periodo impacta negativamente en el rendimiento general de la vaca y su ternero.

El parto en condiciones naturales es una de las etapas más estresantes en la vida de una vaca, ya que la induce a reducir su consumo de alimento días antes y después del mismo y desencadena problemas en la producción láctea (Barajas, 2018). El calostro producido por una vaca que ha experimentado estrés calórico es de menor calidad debido a que existe una menor transferencia de anticuerpos maternos de la vaca al calostro durante el periodo de estrés (Nardone *et al*., 1997). El calostro es la primera leche producida después del parto hasta las primeras 48 h y constituye la primera dieta especifica que reciben los neonatos mamíferos (Playford, 2000). Proporciona a los terneros inmunidad pasiva en sus primeras 24 h de vida (Stott *et al*., 1976) y es rico en inmunoglobulinas (IgG) y péptidos antimicrobianos; además, contiene moléculas bioactivas que incluyen a factores del crecimiento, así que también es primordial para la nutrición, el crecimiento y el desarrollo de los recién nacidos (Playford, 2000). Si después de las 24 h de vida el ternero no ha ingerido calostro, ya no podrá adquirir la inmunidad pasiva, por lo que es propenso a enfermarse y su probabilidad de sobrevivencia se reduce (Moeller, 2015), ya que solo en este periodo ocurre la absorción de macromoléculas en el intestino delgado (Jeffcott, 1972; Stott *et al*., 1976; Bush y Testaley 1980).

Cuando un ternero enfrenta temperaturas superiores a su zona termoneutral, su capacidad de adquirir inmunidad es menor, a diferencia de aquel que se desarrolla en temperaturas termoneutrales, de manera que serán más susceptibles a enfermarse en su desarrollo postnatal (Tao y Dahl, 2013), e incluso independientemente del origen del calostro o si es de buena calidad o no (Monteiro *et al*., 2014; Tao *et al*., 2019).

Los terneros que nacen de vacas que estuvieron en condiciones de estrés calórico son menos pesados que los terneros que nacen de vacas que recibieron enfriamiento para minimizar los efectos de altas temperaturas en esta etapa previa al parto (Karimi *et al*., 2015). La tasa de crecimiento a las 8 semanas de edad pre-destete es menor por parte de los terneros nacidos de vaquillas que experimentaron estrés por calor que los nacidos de vaquillas sin estrés por calor, con ganancia total de 30.4 y 34. 2 kg y ganancia diaria de peso de 0.52 y 0.75 kg, respectivamente (Monteiro *et al*., 2014).

También se ha observado mayor presencia de partos distócicos, lo que conduce a mayor porcentaje de mortalidad de terneros que nacen de vacas que han experimentado mayor calor ambiental en comparación de vacas sometidas a enfriamiento desde su periodo de preparto, incluso sin presencia de mortandad de terneros de acuerdo a un estudio realizado por Tolini *et al*. (2017).

En el Valle de Mexicali se registró que terneros nacidos en los meses más calurosos (con temperaturas extremas que exhiben un ITH >80 unidades en el ambiente) presentaron un desempeño pre-destete, ganancia diaria y total de peso menor que las de los terneros que nacen y crecen en meses con temperaturas ambientales cercanas o dentro de su zona termo neutral, por lo que se ha recomendado modificaciones de manejo ambiental en los meses más cálidos para evitar mermas en el crecimiento de los terneros (Mejía *et al*., 2017). De acuerdo con Tao *et al*. (2019), las vaquillas nacidas de vacas que en el periodo seco sufrieron estrés por calor tienden a presentar un rendimiento de leche menor en la primer y segunda lactación. Esto es esencial considerarlo, ya que estas vaquillas serán los futuros remplazos en el establo.

Es de suma importancia mencionar que las vaquillas de remplazo, generalmente desde su destete hasta su primer servicio, son las menos consideradas en las mitigaciones del estrés por calor, son alojadas en instalaciones menos tecnificadas solo con sombra, quizás porque son menos susceptibles que las vacas en producción o periodo seco, o porque no generan ingresos diarios a las unidades de producción en esta etapa; inclusive son alimentadas con alimento de menor calidad y reciben menor manejo zootécnico (Kertz, 2013).

7.13. ¿Cómo reducir el estrés calórico en el ganado lechero?

Desde hace varias décadas se han implementado diversas estrategias para reducir los efectos del estrés calórico sobre el ganado, tres de ellas sugeridas por Beede y Collier (1986) son: 1) Manejo ambiental proporcionando protección física al animal de la radiación solar, 2) Programas de manejo nutricional y 3) Desarrollo genético de razas con mayor capacidad de adaptación a ambientes cálidos.

Las estrategias de manejo ambiental han sido las más utilizadas a lo largo de la historia, donde las primeras implementaciones se basaban principalmente en la utilización de barreras físicas para disminuir la intensidad de radiación solar directa sobre el ganado. Para logar obtener grandes beneficios, dichas estructuras deben de estar diseñadas de acuerdo a la ubicación geográfica de la explotación; se debe considerar la orientación, espacio y altura de la barrera que proveerá la sombra, ubicada de manera que bloquee la radiación solar sobre los animales e instalaciones de alimentación, suministro de agua de bebida y el piso durante casi todo el día en los meses más calurosos (Buffington *et al*., 1983).

En climas cálidos el ganado comúnmente recurrirá a la sombra, lo cual le ayuda a evitar el incremento de su temperatura corporal y tasa de respiración; cabe mencionar que las razas europeas recurren en mayor tiempo a las sombras en comparación con los *Bos indicus* (Blackshaw y Blackshaw 1994). Desde los primeros inicios de la implementación del manejo ambiental, Buffington *et al*. (1983) encontraron que dichas estrategias implementadas mejoraban el bienestar, rendimiento lechero y la eficiencia reproductiva de las vacas, incluso en la siguiente lactancia.

En la actualidad todo ese tipo de estrategias se continúan utilizando, pero evidentemente cada vez más sofisticadas debido a los avances tecnológicos Los productores lecheros del Valle de Mexicali, Baja California, ya conocen las dificultades que deben enfrentar cada verano para tratar de mantener una producción constante todo el año debido a la presencia de temperaturas extremadamente calurosas en la zona, y que deben de construir las instalaciones del ganado con las características adecuadas, contar con un sistema de enfriamiento que permita al ganado, principalmente a las vacas lactantes, mejores condiciones ambientales antes, durante y después de la ordeña, así como en el crecimiento y desarrollo de las vaquillas (Diario Tijuana Informativo, 2016).

El sistema de enfriamiento es una estrategia de manejo ambiental que ayuda a contrarrestar los efectos del estrés calórico**,** sin embargo, no lo elimina por completo (Hansen *et al*., 2019). Es una combinación de aspersores de agua y ventilación forzada (con ventiladores o abanicos) ver Figura II. Cuando existen en el ambiente temperaturas climáticas elevadas en combinación con porcentajes altos de humedad relativa, se recomienda que las gotas de agua producidas por los aspersores sean lo suficientemente grandes para penetrar la cubierta de pelo del animal y lograr enfriarlo, posteriormente por ventilación forzada es incrementada la pérdida de calor por evaporación (Taverna *et al*., 2014).

Figura II. Sistemas de enfriamiento representación gráfica.

Diferentes estudios han demostrado diversos beneficios sobre la utilización de sistemas de enfriamiento en ganado lechero ante el estado de ánimo, conducta, eficiencia productiva y reproductiva de los animales. Se sabe que enfriar las vacas semanas antes del parto minimiza los efectos del estrés calórico, reflejándose en frecuencias respiratorias y temperatura corporal estables (Avendaño-Reyes *et al*., 2007), mejoras en la calidad y producción de leche en la lactancia posterior e incluso de su descendencia en futuras lactaciones (Avendaño-Reyes *et al*., 2007; Do Amaral *et al.,* 2009; Safa *et al*., 2018; Tao *et al.,* 2019). Además, se mejora el estado inmunológico de las vacas (Do Amaral *et al*., 2011).

Entonces, la mitigación de los efectos del estrés por calor en el ganado lechero mediante sistemas de enfriamiento por evaporación se ha situado en el enfoque más efectivo, ya que ha demostrado mejoras en la productividad de las vacas e incluso en su descendencia, lo que contribuye a evitar pérdidas económicas y generar mayores ingresos a las unidades de producción, por lo que son esenciales en verano en climas cálidos (Karimi *et al.,* 2015; Tao *et al*., 2019, 2020).

En la actualidad, para minimizar las pérdidas económicas generadas por el estrés por calor es necesario que los productores lecheros implementen estrategias con un enfoque multidisciplinario, que les permita minimizar los efectos de dicho estrés en la eficiencia productiva y reproductiva del ganado mediante énfasis en nutrición, vivienda y salud animal (Sejian *et al*., 2018; Alemneh y Akeberegn 2019).

CAPITULO I. ENFRIAMIENTO DE VACAS Y VAQUILLAS HOLSTEIN ANTES DEL PARTO SOBRE VARIABLES FISIOLÓGICAS ASOCIADAS AL BIENESTAR ANIMAL

RESUMEN

Este estudio se realizó para evaluar el efecto del enfriamiento 30 d preparto a vacas y vaquillas sobre frecuencia respiratoria (FR), perfil hematológico y electrolitos en condiciones cálidas secas. Once vaquillas de primer parto y once vacas multíparas se alojaron en corrales separados con sombra y sistema de enfriamiento basado en abanicos y aspersores. La FR se midió dos veces al día (07:00 y 16:00 h) cada semana, 4 semanas antes del parto. Las muestras de sangre se obtuvieron mediante punción de la vena coccígea una vez cada semana por 4 semanas antes del parto. El perfil hematológico se determinó en sangre fresca y los electrolitos en suero sanguíneo. Los datos se sometieron a análisis de varianza bajo un diseño completamente aleatorizado. Las temperaturas mínimas y máximas fueron 23.5 y 49°C, y humedad relativa promedio e ITH de 39% y 82.2 unidades, respectivamente, en el pre-parto. Las vacas mostraron FR ($P < 0.05$) más baja que las novillas a las 6:00 (62.94 ± 1.68 vs 67.25 ± 1.83 resp/min) y 18:00 h (69.56 ± 2.22 vs 94.19 ± 2.46 resp/min). Los promedios de volumen corpuscular medio (52.72 ± 0.89 vs 45.85 ± 1.01 fL), hemoglobina corpuscular media (16.90 ± 0.268 vs 14.74 ± 0.302 pg) y ancho de la distribución de las plaquetas (16.71 ± 0.112 vs 16.28 ± 0.126%) fueron mayores ($P < 0.01$) en vacas que novillas. Sin embargo, las vacas tuvieron un recuento más bajo ($P < 0.01$) de glóbulos rojos (5.86 ± 0.169 vs 6.88 ± 0.190 x12 / L) que novillas. Los glóbulos blancos, hemoglobina, plaquetas, monocitos, linfocitos y granulocitos no mostraron diferencias entre vacas y novillas. Por otro lado, los electrolitos Cl, K y Na fueron similares entre vacas y novillas. Enfriar vacas y novillas durante un mes antes del parto es una práctica de manejo que ayuda a mantener las constantes fisiológicas dentro de rangos considerados normales. Las vacas multíparas fueron más beneficiadas que las vaquillas primíparas.

Palabras Clave: Estrés calórico, ganado lechero, electrolitos, hematología, bienestar animal.

ABSTRACT

This study was conducted to evaluate the effect of cooling cows and heifers for one month before parturition on respiration frequency (RF), hematological components and electrolytes under hot and dry conditions. Eleven first-calf heifers and eleven multiparous cows were housed in separate pens with shade and a cooling system based on spray and fans. The RF in breaths per minute (bpm) was measured twice a day (07:00 and 16:00 h) every week 4 weeks before parturition. Blood samples were obtained by puncturing the jugular vein once a week for 4 weeks before calving. Hematological parameters were determined in fresh blood samples, while metabolites and electrolytes in serum samples. Data was subjected to an analysis of variance under a completely randomized design. The minimum and maximum temperatures were 23.5 and 49 °C, and the average relative humidity and ITH 39% and 82.2 units, respectively during the pre-partum period. Cows showed lower ($P<0.05$) RF than heifers during the morning (62.94 ± 1.68 *vs* 67.25 ± 1.83 bpm) and evening (69.56 ± 2.22 *vs* 94.19 ± 2.46 bpm). Average values of mean corpuscular volume (52.72 ± 0.89 *vs* 45.85 ± 1.01 fL), mean corpuscular hemoglobin (16.90 ± 0.268 *vs* 14.74 ± 0.302 pg), and platelet distribution width (16.71 ± 0.112 *vs* 16.28 ± 0.126 %) were significantly higher ($P<0.01$) in cows than heifers. However, cows had lower ($P<0.01$) count of red blood cells (5.86 ± 0.169 *vs* 6.88 ± 0.190 x12/L) than heifers. White blood cells, hemoglobin, platelets, monocytes, lymphocytes and granulocytes did not show differences between cows and heifers. On the other hand, the electrolytes calcium, potassium and sodium were similar between cows and heifers. Cooling cows and heifers for one month before parturition is a management practice that helps to maintain biological constants within normal ranges. Multiparous cows benefited more than primiparous heifers.

Keywords: Heat stress, Dairy cattle, Electrolytes, Hematology, Animal welfare.

INTRODUCCIÓN.

Un desafío que presentan cada año las explotaciones lecheras en el verano en climas cálidos como el Valle de Mexicali, Baja California, es la presencia de temperaturas ambientales extremas que generan estados de estrés calórico en el ganado (SMN, 2010). Como estrategia de supervivencia manifiestan un cambio en su fisiología y actividad física para tratar de mantener su temperatura corporal dentro de los rangos normales y contrarrestar los efectos del estrés calórico que de forma directa e indirecta afectan su desempeño productivo (West, 2003; Baumgard y Rhoads; 2013, Anzures-Olvera *et al*., 2015), debido a que disminuyen su consumo de alimento, aumentan la frecuencia respiratoria, el flujo sanguíneo periférico y la sudoración, entre otros (West, 2003; Baumgard y Rhoads 2013; Robinson, 2014).

Dichas modificaciones comprometen el metabolismo, la salud y la respuesta inmunológica de los animales, así mismo, la economía de las granjas y el bienestar animal (Baumgard y Rhoads 2013; Nardone *et al*., 2010). El ganado también puede presentar trastornos en su equilibrio de agua, minerales, proteínas, energía, nivel de electrolitos y metabolitos sanguíneos (Shalit *et al*., 1990; Habeeb., *et al* 2018), componentes hematológicos (Muñoz *et al*., 2014; Kubkomawa *et al*., 2016). Estos cambios provocados por alta temperatura ambiental causan problemas en el animal para mantener su homotermia (Ribeiro *et al.,* 2018).

Se ha encontrado que bajo condiciones de estrés calórico las vacas lecheras sufren efectos negativos en sus parámetros sanguíneos (Muñoz *et al*., 2014; Tonili *et al*., 2017). También en terneros de han determinado cambios en parámetros hematológicos, bioquímicos y hormonales en condiciones de estrés en verano, aunque fueron provistos con diferentes tipos de sombra (Kamal *et al*., 2016). Por tanto, es esencial tener conocimiento de los parámetros fisiológicos electrolitos y perfil hematológico, ya que representan indicadores de estrés térmico de los animales, lo que podría contribuir en la elaboración de estrategias para enfrentar

dicha problemática y evitar mermas en la productividad y salud del hato (Kubkomawa *et al*., 2016).

Estudios de Holter *et al*. (1997) y Bernabucci *et al*. (2014), nos mencionan que vaquillas en lactación son más tolerantes al estrés calórico que las vacas multíparas. Sin embargo, antes del parto y lactancia, enfrentan diversos factores que son nuevos para ellas que de algún modo son estresantes, entre los que podrían destacar el cambio de corral, cabio de dieta, edema de la ubre, parto, mayor porcentaje de partos distócicos, separación del ternero, mayor interacción con los humanos, introducción a la ordeña, entre otros (Grandin, 1997; Daniels *et al.,* 2007). El 85 % de las vacas de primer parto presentan edema de la ubre (Morrison *el al.,* 2018). Por tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de un sistema de enfriamiento 30 días antes del parto sobre variables fisiológicas relacionadas con el bienestar animal entre vacas y vaquillas Holstein bajo estrés calórico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del estudio

El presente estudio se realizó en el establo lechero comercial “Nevarez”, ubicado en el Valle de Mexicali, estado de Baja California, México (coordenadas 32° 31 ' N y 115° 13' O; altitud 15 msnm). El valle corresponde a una zona árida, dentro del ecosistema conocido como Desierto Sonorense, verano extremoso con temperaturas diurnas máximas que superan 47 °C y muy baja precipitación, cuyo promedio apenas es de 85 mm al año (García, 1973). El periodo de estudio fue del 1 de julio al 8 de agosto de 2018.

Animales de estudio

Se utilizaron 11 vaquillas de primer parto y 11 vacas multíparas de raza Holstein durante 30 días antes de la fecha de parto programada.

Corrales y equipo de enfriamiento

Las vacas y vaquillas se alojaron en corrales separados con sombra a 6 m de altura orientadas en eje longitudinal de oriente a occidente, con superficie de aproximadamente 14 m^2 por animal. Dichos corrales contaban con un sistema de enfriamiento basado en aspersión de agua y ventilación forzada modelo Universal Agri-coler (Universal Fog Cooling systems, Mesa, Arizona, USA) con las siguientes características: 1.- Línea de aspersores de agua (boquillas de niebla) ubicada sobre la zona de bebederos a altura de 1.8 m del suelo y constituida por un tubo de nylon 3/8 de pulgada, equipado con boquillas de niebla con orificio de 0.75 pulgadas de diámetro situadas a 1.35 m de separación una de otra. Este equipo suministró un flujo de agua de 250-800 libras de fuerza por pulgada cuadrada (psi). 2.- Ventiladores oscilantes de alta velocidad de 30 pulgadas de diámetro con 1 hp de potencia que emiten 15,000 pies cúbicos por minuto (cfm) de flujo de aire. Estos abanicos se ubicaron linealmente sobre la zona de sombra de descanso cada 4 m y a 2.7 m de altura. 3.- Encendido automático a una temperatura ambiente igual o superior a 30 °C.

Registro de variables

Se colectaron variables climáticas y fisiológicas; de las climáticas se obtuvieron temperatura ambiental, humedad relativa e índice temperatura-humedad; en las fisiológicas se determinó la frecuencia respiratoria, y además se colectaron muestras de sangre para su posterior análisis de componentes hematológicos y electrolitos sanguíneos. Todos los procedimientos con animales se llevaron a cabo siguiendo técnicas locales aprobadas de cuidado de animales (NOM-051-ZOO-1995: Cuidado humanitario de animales durante la movilización de animales).

Variables climáticas.

Se obtuvieron medidas de temperatura ambiental y humedad relativa cada 15 min que fueron promediados por hora y por día de información proporcionada por el Servicio Meteorológico Nacional de la estación climática CONAGUA Mexicali, Baja California. Con esas variables se estimó el Índice Temperatura-Humedad (ITH) utilizando la fórmula propuesta por Hahn (1999): ITH= 0.81 (TA) + HR (TA - 14.4)

+ 46.4. Dónde: TA= temperatura ambiental (°C), HR=humedad relativa ambiental (%).

Frecuencia Respiratoria (FR, resp/min)

Se midió la frecuencia respiratoria (número de respiraciones por minuto), un día a la semana en dos horarios, mañana y tarde (09:00 – 10:00 h y 14:00 -15:00 h) a los 22 animales contando el número de movimientos del espacio intercostal durante 60 segundos.

Componentes hematológicos

Para el análisis de componentes hematológicos se tomaron muestras sanguíneas de los 22 animales por venopunción de la vena coccígea con tubos vacutainer de 4 mL conteniendo EDTA-K2 para sangre fresca, obtenidas mediante una vez a la semana por la mañana (6:00 h) antes de ofrecer alimento a las vacas y vaquillas 4 semanas antes del parto; las muestras se transportaron inmediatamente al Laboratorio de Fisiología Animal en el ICA-UABC para ser analizadas en un equipo automatizado Auto Hematology Analyzer MINDRAY, BC-2800 Vet (Shenzhen, China).

Electrolitos sanguíneos

En el mismo momento de las muestras anteriores se tomó una muestra extra de sangre de los 22 animales de la misma vena coccígea en vacutainer de 6 Ml; se trasladaron al laboratorio donde se centrifugaron a 3500 rpm durante 15 min a 10 °C. Se procedió a separar el suero por duplicado en viales de 2 mL y almacenar a temperatura de -20 °C para el posterior análisis de electrolitos (Na, K y Cl) utilizando un analizador automático Electrolyte Analyzer LW E60A (Shenzhen, China).

Diseño experimental

Los datos se sometieron a un análisis de varianza bajo un diseño completamente aleatorizado. El tratamiento consideró la edad de los animales (vacas y vaquillas) y se usó el Proc GLM del paquete estadístico SAS (SAS, 2014). El nivel de error utilizado fue 5%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variables climatológicas

Las variables climáticas presentes durante el periodo del experimento revelaron temperaturas mínimas y máximas de 23.5 y 49 °C, con una humedad relativa promedio de 39 %, obteniendo un ITH de 82.2 unidades superando el umbral de 80 unidades propuesto por (Wiersma, 1990), por lo tanto, los animales se encontraban bajo condiciones climáticas de estrés calórico severo (Cuadro I).

Cuadro I. Variables climáticas máximas, mínimas y promedio por mes en la zona de estudio.

Mes	T Pro.	T Máx.	T Mín.	H R Pro.	H R Máx.	H R Mín.	ITH Pro.	ITH Máx.	ITH Mín.
Junio	32.0	40.1	24.1	25.5	48.8	8.2	76.9	91.5	66.7
Julio	35.7	42.4	29.4	33.2	53.9	16.3	82.2	95.7	72.7
Agosto	35.3	41.9	29.5	39.2	64.7	19.3	83.2	98.1	73.3
Septiembre	33.3	40.5	26.5	31.3	52.9	13.0	79.2	92.8	69.5
Octubre	24.8	30.9	19.3	34.4	49.4	19.7	70.1	79.5	63.2

T Pro.= Temperatura Promedio; T Máx.= Temperatura Máxima; T Mín.= Temperatura Mínima; H R Pro.= Humedad Relativa Promedio; H R Máx.= Humedad Relativa Máxima; H R Mín.= Humedad Relativa Mínima; ITH Pro.= Índice de Temperatura y Humedad Promedio; ITH Máx.= Índice de Temperatura y Humedad Máximo; ITH Mín.= Índice de Temperatura y Humedad Mínimo.

Frecuencia Respiratoria

Las vaquillas exhibieron una FR (P ≤0.05) superior en comparación con las vacas, siendo la diferencia de 4.31 resp/min durante la mañana; esta diferencia aumentó a 24.63 resp/min por la tarde, como se muestra en el cuadro II. González *et al*. (2016) y Castro-Montoya y Corea (2019) en vacas Holstein en lactancia, las vacas de primer parto fueron más afectadas por el estrés calórico que las vacas multíparas, presentaron mayor frecuencia respiratoria cuando no recibieron enfriamiento y solo numéricamente cuando lo tuvieron. En otro estudio, la frecuencia respiratoria de vacas de primera lactancia fue numéricamente menor que las de segunda y tercer lactancia con estrés calórico ligero (Cerqueira *et al*., 2016).

Es conocido que el uso de sistemas de enfriamiento mejora el confort del ganado y reduce el estrés calórico manifestando principalmente una disminución en su FR (Karimi *et al*., 2015; Correa-Calderón *et al*., 2009; Avendaño-Reyes *et al*., 2007). Las FR en general concuerdan con las de vaquillas de primer parto antes del mismo bajo un sistema de rociadores de agua en la Universidad de California (Marcillac *et al*., 2009) y a las de vacas de alto rendimiento en período seco alojadas en corrales con sombra, ventiladores y rociadores de agua en 10 establos lecheros en California durante los veranos de 2013 y 2014 (Tresoldi *et al*., 2017). Sin embargo, fueron ligeramente más altas que las de vacas multíparas en período seco temprano con y sin enfriamiento (52.9 y 70.5 resp/min) en el verano de 2016 en la Universidad de Florida (Fabris *et al*., 2019). Asimismo, mayores que las de vaquillas vírgenes en preparación para su primera inseminación artificial con un periodo de enfriamiento (Correa-Calderón *et al*., 2009) en la misma zona de estudio.

Las FR (65.09 y 81.87 resp/min) de mañana y tarde fueron más bajas las encontradas por Hernández-Rivera (2011) en vaquillas de primer parto en lactancia (96.63 y 103. 44 resp/min) provistas con periodos cortos de enfriamiento en el Valle de Mexicali. La FR más baja en la mañana que en la tarde concuerda con otros estudios realizados en esta zona árida con vacas multíparas en su periodo seco y vaquillas de primer parto (Avendaño-Reyes *et al*., 2007, 2012; Hernández-Rivera *et al*., 2011). De acuerdo con Avendaño-Reyes *et al*. (2007), esto sucede debido a que en la noche y las primeras horas del día, las condiciones climáticas fueron favorables para disipar el calor corporal adquirido por los animales en las horas calientes de la tarde. De acuerdo las frecuencias matutinas de vacas y vaquillas podríamos decir que manifestaban estrés por calor, ya que superaban las 60 resp/min (Hansen *et al*., 2019). Esto podría deberse a que la programación del sistema de enfriamiento no fue tan eficaz para la zona, ya que iniciaba a trabajar a una temperatura igual o superior a 30 °C. Y una vaca lechera Holstein comienza a tener dificultades para mantener su homeotermia a partir de los 21 °C en adelante (Johnson, 1965). Por otro lado, para que se recupere totalmente y disipe el calor adquirido durante las horas más calurosas del

día, la temperatura ambiental de las horas más frías del día debe mantenerse por debajo de 21 °C mínimo por 6 h consecutivas (Silanikove, 2000). Se sabe, que ocurre una pérdida de calor por evaporación más eficaz cuando las vacas se han asperjado con agua (Correa *et al*., 2014). De manera que, si durante la noche y primeras horas del día se apagan los sistemas de enfriamiento, la termorregulación de las vacas se ve más comprometida. En otro estudio, Gaughan *et al*. (2000) encontraron que la FR y temperatura rectal de del ganado enfriado por el día independientemente de que la temperatura ambiente e ITH disminuyeran.

Sin embargo, un cambio en la FR no siempre significa que el animal este enfrentando las condiciones climáticas ya que está sujeta a diversos factores y no es constante con respecto a la temperatura ambiente, un cambio en la FR y temperatura corporal puede demorarse de 2 a 4 horas en relación a los cambios en la temperatura ambiente (Gaughan *et al*., 2000). Las FR se encontraron dentro de los valores de referencia para animales en periodo seco en verano (Correa-Calderón *et al*., 2004; Hernández-Rivera *et al*., 2011; Avendaño-Reyes *et al*., 2012b; Karimi *et al*., 2015; Tresoldi *et al*., 2016).

Cuadro II. Frecuencia respiratoria de vacas y vaquillas enfriadas 30 días antes de la fecha de parto programada (Respiraciones por minuto).

animales	Mañana	E. E.	Tarde	E. E.
Vacas	62.94[a]	1.76	69.56[a]	2.34
Vaquillas	67.25[b]	1.76	94.19[b]	2.34

ab promedios en columna con diferente literal difieren (P<0.05); E. E.= Error estándar.

Componentes hematológicos

Los perfiles hematológicos del ganado bovino pueden variar por diversos factores entre los que destacan la raza, estado fisiológico, edad, época del año e incluso las condiciones ambientales del horario en que se tomó la muestra de sangre del animal (Bhan *et al*., 2012). Debido a esto, en las estaciones más calientes la temperatura ambiental juega un papel importante para que se manifiesten estos

hallazgos, ya que se piensa que son originados por las modificaciones fisiológicas implementadas por el animal para perder o producir menor calor metabólico y mantener su homotermia (Ferreira *et al*., 2009; Ribeiro *et al.,* 2018). Por tal motivo, el perfil hematológico es importante en la determinación del grado de estrés calórico en bovinos (Ferreira *et al*., 2009). También pueden utilizarle para diagnosticar estados de estrés ocasionados por factores nutricionales o patológicos (Kubkomawa *et al*., 2016). De acuerdo con Coroian *et al*. (2017), el número de lactancia ha tenido efectos en estos parámetros de vacas lecheras.

El cuadro III muestra los resultados de componentes hematológicos. Los valores de Volumen Crepuscular, Hemoglobina Crepuscular Medía, Ancho de distribución de plaquetas y Glóbulos Blancos fueron significativamente mayores ($P < 0.01$) en vacas que, en vaquillas, sin embargo, tuvieron un recuento menor ($P < 0.01$) de glóbulos rojos. A pesar de esto, los valores de los parámetros analizados se encuentran dentro de los límites de referencia para vacas Holstein de dos años de edad o más Lumsden (1980) y para una vaca lechera Fielder (2016). De acuerdo con Tonili *et al*. (2017) las modificaciones de los niveles de Leucocitos en sangre durante estrés calórico se derivan del incremento de los niveles de cortisol influenciados por la activación del eje hipotálamo-hipofisario adrenal (HHA) y del aumento de glucocorticoides que intervienen en las acciones inmunomoduladoras e impactan el sistema inmune. Los niveles de Leucocitos pueden proporcionar un método confiable para investigar la respuesta de los vertebrados ante situaciones de estrés calórico y determinar el grado de bienestar (Davis *et al*., 2008).

Los promedios de glóbulos blancos encontrados en vacas y vaquillas se encuentran dentro de los valores de referencia para vacas de ambos estados fisiológicos (Quiroz-Rocha *et al*., 2017). Incluso los niveles de vaquillas fueron ligeramente más altos (12.39 vs 7.89 X10/L) que los mencionados por Coroian *et al.* (2017) en vaquillas Holstein bajo condiciones termoneutrales en Rumania y por Karimi *et al*. (2015) en vacas multíparas (8.40 X 10/L) al momento del parto bajo sistemas de enfriamiento. Se ha determinado que el estado inmunológico de las vacas enfriadas en periodo seco presenta un estado superior en la lactancia temprana en comparación con las que sufren estrés calórico (Thompson *et al*.,

2014), debido que existe una cantidad mayor de linfocitos (do Amaral *et al*., 2010). Por lo que se puede inferir que sucede algo similar desde el periodo seco. Los niveles de hemoglobina crepuscular media, volumen crepuscular medio, ancho de distribución de plaquetas y glóbulos blancos concuerdan con los encontrados por Ramírez-Iglesia *et al.* (2001) en vacas lecheras de la raza Carora entre 11 a 18 d antes del parto bajo diferentes sistemas de manejo.

Cuadro III. Componentes hematológicos de vacas y vaquillas enfriadas 30 días antes de la fecha de parto programada.

Componente	Vacas	Vaquillas	E. E.
Volumen corpuscular medio fL	52.72 a	45.85 b	1.01
Hemoglobina corpuscular media pg/L	16.90 a	14.74 b	0.28
Ancho de distribución de plaquetas %	16.71 a	16.28 b	0.12
Glóbulos rojos (x12/L	5.86 a	6.88 b	0.16
Glóbulos blancos x12/L	12.39 a	10.67 b	1.19
Hemoglobina g/L	99.1 a	100.1 a	0.19
Plaquetas x12/L	369.29 a	352.77 a	23.02
Monocitos x12/L	0.08 a	0.005 a	0.01
Linfocitos x12/L	0.49 a	0.09 a	0.02
Granulocitos (x12/L	0.42 a	0.45 a	0.02

ab= Promedios en fila con diferente literal difieren (P<0.05); E.E.= Error Estándar.

Diversos estudios (Ali-Gholi *et al*., 2007; Rana *et al*., 2014; Brown-Brandl *et al*., 2017) han encontrado que bajo condiciones de estrés por calor los niveles de glóbulos rojos y cortisol son más elevados que bajo condiciones termoneutrales y que siguen incrementándose conforme dicho estrés aumenta. Los niveles de leucocitos de vacas y vaquillas son similares a los mencionados por Ramírez-Iglesia *et al*. (2001) 5.91 en vacas lecheras entre 11 a 18 d antes del parto. Los valores de vacas fueron menores (5.86 vs 6.88 x 12 /L) que los de las vaquillas.

Vallejo-Timarán *et al*. (2020) encontraron niveles más altos en vaquillas primíparas que en vacas multíparas después del parto cuando se encontraban en pastoreo, Sin embargo, Jonsson *et al*. (2013) determinaron niveles más altos en vacas 5.42 vs 5.36 x 10^{12} que en vaquillas dos semanas antes del parto y dos semanas después 5.03 vs 4.84 x 10^{12}. Los niveles de Hemoglobina corpuscular media, Plaquetas, Monocitos, Linfocitos y Granulocitos fueron similares (P>0.05) entre vacas y vaquillas.

Electrolitos sanguíneos

El cuadro IV muestra los promedios de electrolitos Na+, K+ y Cl- determinados en suero sanguíneo, donde se observa que no mostraron diferencias (P ≥0.05) entre vacas y vaquillas. Dichos resultados concuerdan con Paudel *et al*. (2018) quienes no encontraron diferencias de estos elementos en plasma sanguíneo de ganado lechero Nepal tropical bajo estrés calórico en verano cuando se les suministró diferentes tratamientos de enfriamiento. Los valores de Na+, K+ y Cl- fueron más cercanos a los determinados en estaciones frías que en verano en ganado lechero (Calamari *et al.*, 2018). El Na+, y Cl se encontraron dentro de los parámetros normales para vacas lecheras Holstein en periodo seco (Lumsden *et al*., 1980; Fielder, 2016; Brscic *et al*., 2015). Sin embargo, el potasio en el caso de vaquillas supero ligeramente dichos límites de referencia. De acuerdo con Mueller *et al*. (2019) el exceso de potasio antes del parto y el estrés oxidativo pueden contribuir al edema de la ubre.

Cuadro IV. Electrolitos en sangre de vacas y vaquillas enfriadas 30 días antes de la fecha de parto programada.

Electrolitos	Vacas	Vaquillas	E. E.
Sodio (Na^+) mmol/L	133.19 [a]	139.5 [a]	3.58
Cloruro (Cl^-) mmol/L	115.66 [a]	118.38 [a]	3.80
Potasio (K^+) mmol/L	4.82 [a]	5.14 [a]	0.33

[ab]Promedios en fila con diferente literal difieren (P<0.05); E.E.= Error Estándar.

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados de este estudio, las vaquillas fueron más afectadas por el estrés calórico que laS vacas multíparas, ya que exhibieron una frecuencia respiratoria superior, menor cantidad de glóbulos blancos y hemoglobina crepuscular medía. A pesar de que presentaron niveles mayores de electrolitos en suero sanguíneo numéricamente sus niveles de glóbulos rojos fueron superiores.

Esto pudo deberse a que el sistema de enfriamiento no fue tan eficaz o a que las vaquillas hacían menor uso del sistema de enfriamiento, ya que en los corrales de crecimiento no contaban dicho sistema y sentían desconfianza.

El enfriamiento 30 días antes del parto de vacas y vaquillas de primer parto de la raza Holstein es una práctica de manejo positiva que ayuda a mantener la frecuencia respiratoria, los parámetros hematológicos y los electrolitos en los rangos normales dentro del rango normal.

Se recomienda que cuando se esté trabajando con la raza Holstein los sistemas de enfriamiento con encendido automático se activen cuando la temperatura ambiental supere los 21 °C, revisar y dar mantenimiento periódicamente a los sistemas de enfriamiento, colocar sistemas de enfriamiento en los corrales de becerras de manera que estás se acostumbren a dichos sistemas.

CAPITULO II. ENFRIAMIENTO DE VACAS Y VAQUILLAS HOLSTEIN ANTES DEL PARTO DURANTE EL VERANO: MEDIDAS DE CONDUCTA RELACIONADAS CON EL BIENESTAR ANIMAL

Antonio J. Mejía-Lastra[1]; Leonel Avendaño-Reyes[2]; Arnulfo Vicente-Pérez[3]; Ulises Macías-Cruz[2]; Abelardo Correa-Calderón[2]; Jaime Olivares-Pérez[1]; Luis M. Camacho-Díaz[1]; Moisés Cipriano-Salazar[1] y Saúl Rojas-Hernández*[1]

[1]Maestría en Ciencias Agropecuarias y Gestión Local, Universidad Autónoma de Guerrero, Carretera Iguala-Tuxpan km 2.5. Iguala de la Independencia, Guerrero. C. P. 40030. saulrh@hotmail.com (*Autor para correspondencia).

[2]Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California, Blvd. Delta S/N, Ejido Nuevo León, Baja California, México. C.P. 21705.

[3]Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Sinaloa. Boulevard San Ángel S/N, Fraccionamiento San Benito, Culiacán, Sinaloa, México. C. P. 802460.

RV: Submission Confirmation for ENFRIAMIENTO DE VACAS Y VAQUILLAS HOLSTEIN ANTES DEL PARTO DURANTE EL VERANO: MEDIDAS DE CONDUCTA RELACIONADAS CON EL BIENESTAR ANIMAL

Dr. Saúl Rojas Hernández
Profesor – Investigador
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia No. 1
Universidad Autónoma de Guerrero

De: RCHSZA
Enviado: domingo, 1 de noviembre de 2020 21:29
Para: Saúl Rojas
Asunto: Submission Confirmation for ENFRIAMIENTO DE VACAS Y VAQUILLAS HOLSTEIN ANTES DEL PARTO DURANTE EL VERANO: MEDIDAS DE CONDUCTA RELACIONADAS CON EL BIENESTAR ANIMAL

Dear Doctor Rojas,

Your submission entitled "ENFRIAMIENTO DE VACAS Y VAQUILLAS HOLSTEIN ANTES DEL PARTO DURANTE EL VERANO: MEDIDAS DE CONDUCTA RELACIONADAS CON EL BIENESTAR ANIMAL" has been received by journal Revista Chapingo Serie Zonas Áridas

You will be able to check on the progress of your paper by logging on to Editorial Manager as an author. The URL is https://www.editorialmanager.com/rchsza/.

Your manuscript will be given a reference number once an Editor has been assigned.

Thank you for submitting your work to this journal.

Kind regards,

Revista Chapingo Serie Zonas Áridas

In compliance with data protection regulations, you may request that we remove your personal registration details at any time. (Use the following URL: https://www.editorialmanager.com/rchsza/login.asp?a=r). Please contact the publication office if you have any questions.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of a cooling system applied 30 d before calving to multiparous cows and first-calf heifers on behavioral variables related to animal welfare and electrolytes under conditions of severe heat stress. Cows and heifers were hosted in different pens with shade and a cooling system. The behavior was monitored through visual sweep analysis, and included rest and feeding episodes. Blood samples were taken from eleven cows and eleven heifers to determine the electrolytes in serum. The frequency of animals in each activity was recorded in percentages and means were compared with the MIXED procedure. Heifers preferred remain standing in the shade foraging, while cows prefer lying down in the breeze and ruminating in the morning ($P<0.05$). Cows and heifers similarly maintained their feeding and rumination episodes ($P>0.05$). In the afternoon, more heifers than cows resorted to drinking water ($P<0.05$). Electrolytes concentrations were similar ($P>0.05$). Cooling Holstein cows and heifers before calving slightly modified their resting and eating activities, but maintained their electrolyte balance.

Keywords: Cooling, Animal Welfare, Dairy Cattle, Dry period.

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de un sistema de enfriamiento aplicado 30 d antes del parto a vacas multíparas y vaquillas de primer parto sobre variables de conducta relacionadas con el bienestar animal y niveles de electrolitos en condiciones de estrés calórico severo. Vacas y vaquillas se alojaron en corrales diferentes con sombra y un sistema de enfriamiento. La conducta se monitoreó mediante análisis de barrido visual considerando episodios de descanso y de alimentación. Se tomaron muestras de sangre de 11 vacas y 11 vaquillas para determinar electrolitos en suero sanguíneo. La frecuencia de animales en cada actividad se registró en porcentajes y las medias se compararon con el procedimiento MIXED. Las vaquillas permanecieron de pie bajo la sombra alimentándose, mientras que las vacas prefieren echarse bajo la brisa y rumiar por las mañanas ($P<0.05$). Vacas y vaquillas mantuvieron de manera similar sus

episodios de alimentación y rumia (P>0.05). Por la tarde, más vaquillas (P<0.05) que vacas recurrieron a beber agua. Las concentraciones de electrolitos fueron similares (P> 0.05). El enfriamiento preparto modificó ligeramente la conducta de descanso y alimentación en vacas y vaquillas Holstein, pero la concentración de electrolitos se mantuvo constante.

Palabras clave: Enfriamiento, Bienestar Animal, Ganado lechero, periodo seco.

INTRODUCCIÓN

La elevada temperatura ambiental en climas áridos provoca cambios en la conducta y fisiología del ganado productor de leche que comprometen su bienestar y desempeño productivo, ocasionando pérdidas económicas para la industria lechera (Anzures-Olvera *et al*., 2015). El ganado Holstein es susceptible a temperaturas altas que les genera estrés calórico, donde alteraciones de las funciones orgánicas son empleadas como estrategia de supervivencia para tratar de mantener su temperatura corporal normal (Baumgard y Rhoads, 2013; West, 2003). Además, desencadena cambios en su actividad física (Angrecka y Herbut, 2017; Herbut y Angrecka, 2018). Los cambios en la conducta son también empleados como otro intento de eliminar el calor excedente de su cuerpo (Polsky y von Keyserlingk, 2017). Se ha observado que conforme mayor es la carga de calor, mayor es el tiempo que las vacas permanecen de pie (Nordlund *et al*., 2019), ya que esta posición les permite exponer su cuerpo al movimiento del aire, por lo que la pérdida de calor por convección se vuelve más eficaz (Allen *et al*., 2015).

La presencia de estrés calórico durante el período seco en bovinos, además de afectar el bienestar de las vacas, disminuye el consumo de materia seca, lo que perjudica la calidad y cantidad de calostro y leche producidos en la subsiguiente lactancia; asimismo afecta el peso al nacer, el desarrollo y la sobrevivencia de la cría (Karimi *et al*., 2015; Tao y Dahl, 2013, Thompson *et al*., 2014).

La pérdida de calor por evaporación (sudoración y jadeo) el único medio fisiológico eficaz empleado por las vacas cuando la temperatura ambiental supera a la corporal para evitar el calentamiento excesivo (Hill *et al*., 2006; Robinson, 2014),

durante esté métodos pierden Na+, Cl^- y K^+ principalmente en el sudor (Collier *et al*., 1982; Hill *et al*., 2006), cuando esta pérdida es leve, el organismo de la vaca logra reabsorber casi en su totalidad los electrolitos sin complicaciones; si la secreción de sudor se intensifica, existe un aumento en la secreción de aldosterona debido a la aclimatación, lo que contribuye a la reabsorción de cloro y cloruro antes de que el sudor llegue a la piel (Robinson, 2014).

Enfriar las vacas lecheras durante algunas semanas antes del parto mediante la utilización de sistemas de enfriamiento basados en ventilación forzada y rociado de agua minimiza los efectos del estrés calórico (Avendaño-Reyes *et al*., 2007), así como incrementos en la calidad y producción de leche en la próxima lactancia (Avendaño-Reyes *et al*., 2007; Do Amaral., et al 2009; Tao *et* al., 2019). Además, se ha encontrado que mejora el estado inmunológico de las vacas (Do Amaral et al., 2011). El enfriamiento de vaquillas previamente a su primer parto también es esencial para que la transición de vaquilla a vaca sea lo más satisfactorio y cómodo posible. Sin embargo, la conducta durante el enfriamiento de vacas y vaquillas Holstein durante el periodo seco es un aspecto que no se ha medido. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de un sistema de enfriamiento aplicado 30 días antes del parto en vacas y vaquillas Holstein sobre variables de conducta relacionadas con el bienestar animal en condiciones de estrés por calor severo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del estudio: El presente estudio se realizó en el establo lechero comercial “Nevarez”, ubicado en el Valle de Mexicali, estado de Baja California, México (coordenadas 32° 31' N y 115° 13' O; altitud de 15 msnm). El valle corresponde a una zona árida, ecosistema conocido como Desierto Sonorense, con verano extremoso de temperaturas diurnas máximas que pueden superar 47 °C y muy baja precipitación promedio de 85 mm al año (García, 1973). El periodo de estudio fue del 1 de julio al 8 de agosto de 2018.

Animales, corrales y equipo de enfriamiento: Para este estudio, se utilizó un total de 50 vacas multíparas y 30 vaquillas de primer parto en periodo seco. Tanto vacas como vaquillas fueron alojadas en distintos corrales que contaban con sombra de 6 m de altura, orientada en eje longitudinal de oriente a occidente con superficie de aproximadamente 14 m^2 por animal (figura 1). El equipo de enfriamiento de cada corral consistía en aspersores de agua (cada 4 m) y ventilación forzada (2.7 m de altura) modelo Universal Agri-Cooler (Universal Fog Cooling Systems, Mesa, Arizona, USA). Este equipo tuvo encendido automático a temperatura ambiente igual o superior a 30 °C. El sistema de enfriamiento se instaló sobre la zona de bebederos a 1.8 m de altura; este sistema contó con una línea de aspersores de agua (boquillas de niebla), constituida por un tubo de nylon 3/8 de pulgada, equipado con boquillas de niebla con orificio de 0.75 pulgadas de diámetro y situadas a 1.35 m de separación una de otra. Este equipo suministró un flujo de agua de 250-800 $lb/pulg^2$ (psi). El diámetro de los ventiladores oscilantes de alta velocidad fue de 30 pulgadas con 1 HP de potencia que emitió 15,000 pies cúbicos por minuto (cfm) de flujo de aire. Estos ventiladores se ubicaron linealmente sobre la zona de sombra de descanso cada 4 m y a 2.7 m de altura. La Figura I muestra los corrales de los animales experimentales y su equipamiento, así como sus medidas.

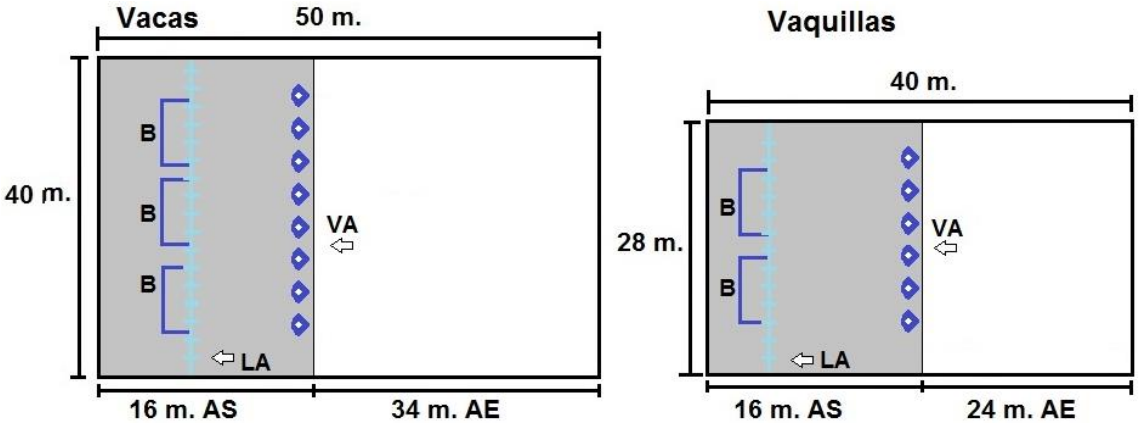

Figura I. Corrales de vacas y corral de vaquillas. B: Bebederos; LA: Línea de Aspersores; VA: Ventiladores de 30 pulgadas de diámetro y aspersor; AS: Área de sombra; AE: Área de ejercicio.

Daos climáticos: Se obtuvieron medidas de temperatura ambiental y humedad relativa cada 15 min que fueron promediados por hora y por día de información, que fue proporcionada por el Servicio Meteorológico Nacional de la estación climática CONAGUA Mexicali, Baja California. Con esas variables se estimó el Índice Temperatura-Humedad (ITH) utilizando la fórmula propuesta por Hahn (1999): ITH= 0.81 (TA) + HR (TA - 14.4) + 46.4. Dónde: TA= temperatura ambiental (en grados centígrados), HR=humedad relativa ambiental (en porcentaje).

Colección de variables de estudio

Variables de conducta: Se realizó un análisis de barrido visual con duración de 10 min durante 3 días a la semana (cada tercer día) con 4 periodos de muestreo cada día (horarios 6:00, 10:00, 14:00 y 18:00 h). Se monitoreó la conducta de los animales bajo los siguientes grupos de variables: 1) episodios de descanso: que se dividió en paradas bajo la sombra (PS), echadas bajo la sombra (ES), echadas bajo la brisa (EB) y paradas bajo la brisa (PB). Los animales recibían una sola administración de alimento a las 7 am; posteriormente solo se le acercaba el alimento al comedero; y 2) episodios de alimentación: que se dividió en comiendo (C), bebiendo (B) y rumiando (R). Cada corral cuenta con 2 bebederos lineales de llenado automático y puede ser utilizado por 3 animales a la vez.

Electrolitos sanguíneos. Para el análisis de electrolitos sanguíneos se colectaron muestras de sangre a 11 vacas y 11 vaquillas previamente seleccionadas de forma al azar; las muestras se colectaron en tubos vacutainer de 6 mL mediante la técnica de punción de la vena coccígea. La colecta se realizó a las 6:00 h, cada 7 días. Posterior a la colecta, las muestras se condujeron al laboratorio para centrifugarlas a 3500 rpm durante 15 min a 10 °C. Después el suero fue separado por duplicado en viales de 2 ml y almacenados a -20 °C para el posterior análisis de electrolitos (Na^+, K^+ and Cl^-). Finalmente los valores fueron determinados mediante un analizador automático de electrolitos (Electrolyte Analyzer LW E60A).

Análisis estadístico

Dado que las variables de conducta fueron porcentajes y no se cumplió con el supuesto de normalidad, se utilizó una transformación logarítmica a los datos. Después, se realizó un análisis de varianza por medio de un modelo lineal con mediciones repetidas que incluyó los efectos de hora, día, tratamiento (vaca o vaquilla) y la anidación hora en día. Finalmente, la frecuencia de animales en cada actividad se registró en porcentajes. Los valores de electrolitos se analizaron con un modelo similar, pero sin transformar. Se obtuvieron medias ajustadas y se compararon con el comando PDIFF con el procedimiento MIXED. Se usó el programa SAS (Statistical Analysis System, Ver. 9.1) con un nivel de error de 5%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variables climáticas

Los valores mínimos y máximos de TA y HR fueron de 30 y 49 °C y de 20 y 52% respectivamente. Durante el periodo de estudio (Figura II), dichas variables produjeron un ITH promedio de 82.4 unidades, el cual se clasifica como peligroso para ganado lechero (Armstrong 1994; West 2003).

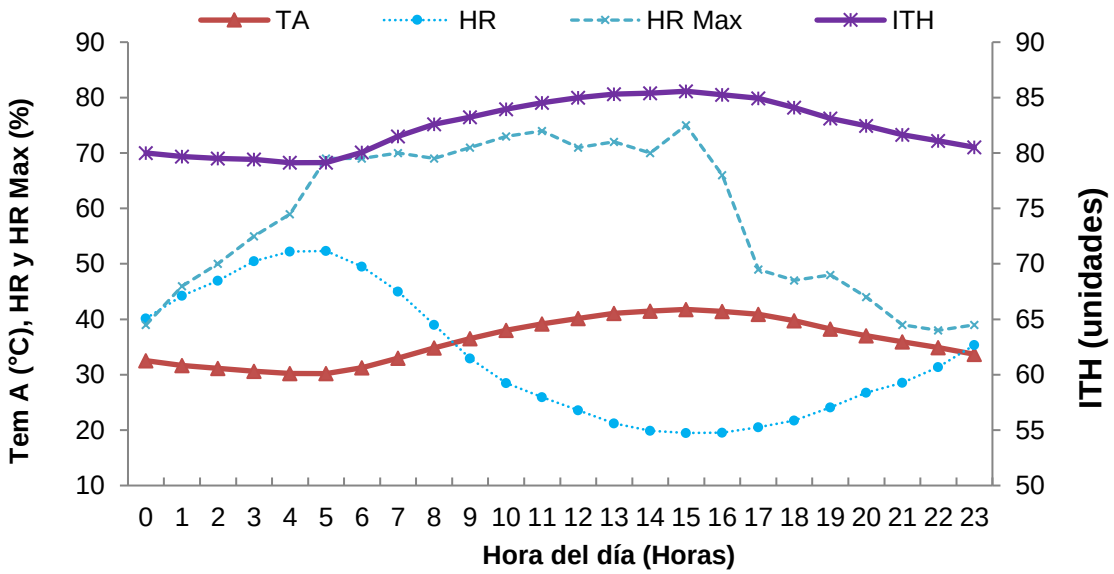

Figura II. Promedios de Temperatura Ambiental (Tem A), Humedad Relativa (HR), Índice de Temperatura y Humedad, Humedad Relativa Máxima (HR Max) por hora durante el periodo experimental.

Episodios de descanso

En animales parados bajo la sombra, las vaquillas presentaron la mayor frecuencia (50.80 y 29.54%) en los horarios 6:00 (P<0.0057) y 18:00 h (P<0.0510), respectivamente (Figura 3). Sin embargo, esta diferencia se puede atribuir a que durante este mismo horario las vaquillas se encontraban en mayor porcentaje comiendo y bebiendo (Figura 4). El porcentaje de vaquillas paradas bajo la sombra mostró tendencia a ser mayor (P = 0.1032) en comparación con las vacas (26.86 vs 15.97%). En el episodio paradas bajo la brisa no existió diferencia (P>0.05) entre vacas y vaquillas (Figura 3). Conforme transcurrieron las horas y se incrementó la temperatura, los animales eligieron permanecer PS y PB, ya que en esta posición exponen mayor parte de su cuerpo a los aspersores de agua y ventilación, lo que favorece su transferencia de calor corporal al ambiente, disminuyendo sus niveles de estrés calórico (Avendaño-Reyes et al., 2007; Allen et al., 2015; Angrecka y Herbut, 2017). Por otro lado, Nordlund et al. (2019) reportan que el tiempo que los animales permanecen echados disminuyen de 9 a 6.2 h/d al incrementarse el ITH de 68.5 a 79.9 unidades. Bajo condiciones termoneutrales, Neave et al. (2017) encontraron que vaquillas de primer parto se echan con mayor frecuencia durante el día, pero que las vacas multíparas están en esta posición por periodos más largos.

El porcentaje de vaquillas echadas bajo la sombra fue mayor (P < 0.0589) en comparación a las vacas (32.00 vs 19.07 %) a las 6:00 h del día. A las 14:00 horas, el porcentaje de vaquillas echadas bajo la sombra manifestó diferencia numérica a ser mayor P = 0.1452) en comparación a las vacas (24.24 vs 14.46 %). En el resto de los horarios, las vaquillas presentaron valores superiores pero sin mostrar diferencias (P > 0.05). En un estudio realizado por Stone et al. (2017), cuando el ITH fue inferior a 65 unidades, las vacas multíparas permanecieron echadas por mayor tiempo que las primíparas, sin embargo, cuando el ITH superó 65 unidades sucedió lo contrario. El episodio echadas bajo la brisa fue mayor (P<0.01) para las vacas en los diferentes horarios evaluados (6:00, 10:00, 14:00 y 18:00 h). El hecho de que las vaquillas no hayan preferido echarse bajo la brisa pudo deberse a que la brisa ubicada sobre el área de bebederos contaba con un

espacio reducido. Se sabe que durante el estrés por calor las vacas prefieren acostarse en lugares amplios y fríos, de tal forma que incluso se acuestan sobre el estiércol siempre y cuando existe un gradiente de temperatura, ya que esto les permite perder calor por conducción a través del piso húmedo (Angrecka y Herbut, 2017).

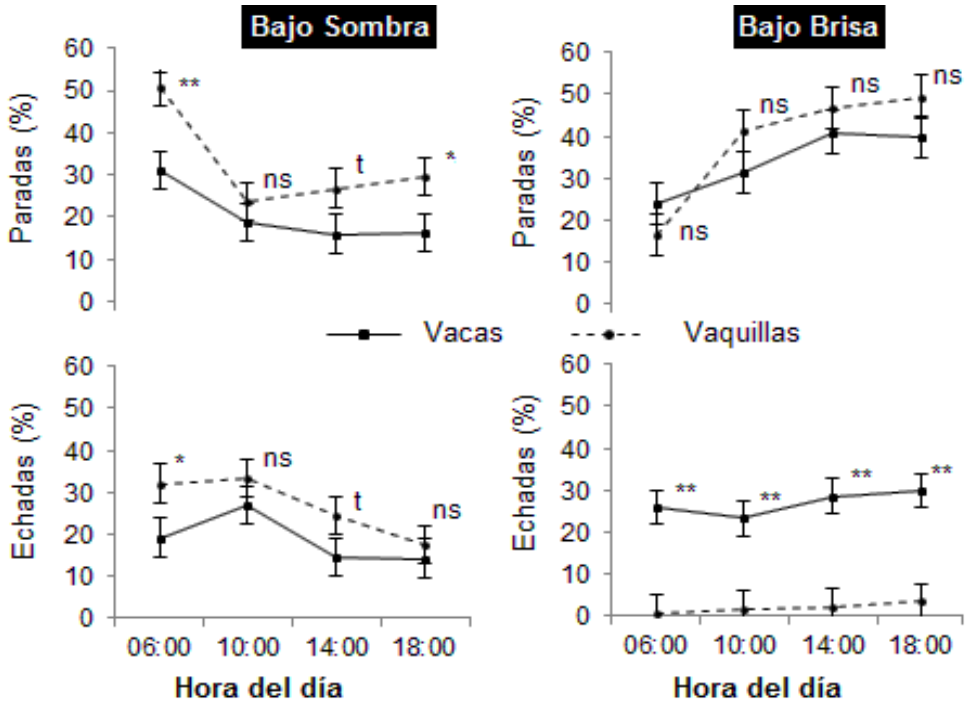

Figura III. Variación diurna en la conducta de paradas y echadas bajo sombra y brisa de vacas y vaquillas Holstein enfriadas 30 d preparto.
*= Significativo (P<0.05); **= Altamente significativo (P<0.01); ns= No significativo.

Episodios de alimentación

Para la actividad comiendo no hubo diferencias entre vacas y vaquillas (P>0.05), y fue menor durante las horas más calurosas 14:00 y 18:00 h, cuando el ITH fue cercano a 85 unidades en esos horarios (Figura 4). Se ha observado que bajo condiciones climáticas termoneutrales, las vaquillas primíparas antes del parto visitan con mayor frecuencia los comederos y pasan mayor tiempo comiendo, pero consumen menos kilogramos de alimento al día que las vacas multíparas (Grummer et al., 2004; Janovick y Drackley 2010; Neave et al., 2017). En el

presente estudio, el tiempo de alimentación fue más frecuente sólo numéricamente para las vaquillas, disminuyendo para ambos grupos conforme se incrementó la temperatura en el día.

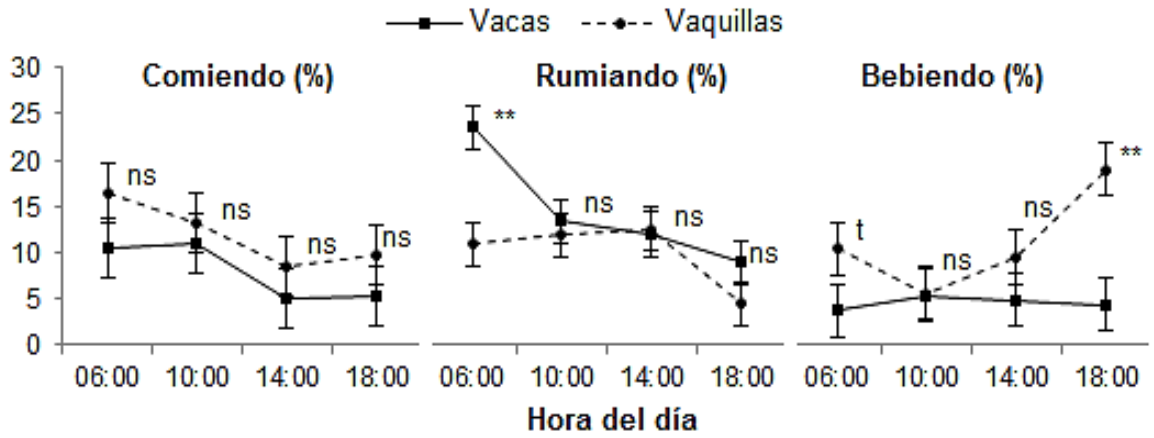

Figura IV. Variación diurna en las conducta de bebiendo, rumiando y comiendo de vacas y vaquillas Holstein enfriadas 30 d preparto.
**= Altamente significativo (P<0.01); ns= No significativo.

Cuando el ITH alcanza 68 unidades, las vacas disminuyen su tiempo de alimentación para recurrir a la sombra y compensar su ingesta de alimento durante la noche (Anderson, 2009). De Acuerdo con Holter *et al*. (1997) y Bernabucci *et al*. (2014), las vacas multíparas son más afectadas por el estrés calórico y reducen su consumo de materia seca en mayor grado que vaquillas de primer parto. Sin embargo, en este estudio no se midió el consumo de matera seca, por lo tanto, no es posible inferir si las vaquillas ingirieron mayor o menor cantidad de alimento que las vacas.

Para el episodio rumiando, las vacas presentaron a las 6:00 h la mayor (P<0.0013) frecuencia con 23.49%, no existiendo diferencias (P>0.05) entre los demás horarios de evaluación. Sin embargo, a las 18:00 h, la actividad de rumia disminuyó tanto en vacas (8.91%) como en vaquillas (4.37%).

El porcentaje de vaquillas bebiendo fue mayor (P<0.0011) en comparación a las vacas (18.90 vs 4.25 %) a las 18:00 h, mientras que el porcentaje de vaquillas bebiendo a las 14:00 horas mostró sólo tendencia a ser mayor (P= 0.0863) en comparación con las vacas (10.36 vs 3.65 %). En los demás horarios de evaluación no se presentaron diferencias (P>0.05). Por otro lado, a las 18:00 h el 18.90% de las vaquillas realizaron la actividad cuando el ITH llegaba a valores de 85 unidades. La ingesta de agua realizada por las vacas es una de las vías más efectivas y rápidas que realizan para reducir su temperatura corporal, por lo que durante verano su consumo aumenta; también se sabe que existe una estrecha sincronización entre el consumo de agua y las sesiones de alimentación (Silanikove *et al*., 1997; Arias y Mader 2007; Arias *et al*., 2008).

Electrolitos

El volumen constante, concentración de electrolitos, presión osmótica y el pH del líquido del organismo son los requisitos esenciales para la adecuada funcionalidad celular. No obstante, algunos factores como las altas temperaturas pueden comprometer la capacidad del animal para mantener su equilibrio mineral, homeostático (Horowitz, 2002) y estatus ácido-básico (Arias *et al.,* 2008; Nardone *et al.,* 2010). Los promedios de electrolitos en suero sanguíneo (Na+, K+ y Cl^-) del presente estudio se presentan en el Cuadro 1, donde se observa que los valores obtenidos se encontraban dentro de los rangos de referencia establecidos para vacas y vaquillas Holstein en periodo seco (Brscic *et al*., 2015).

Cuadro I. Electrolitos sanguíneos de vacas y vaquillas Holstein enfriadas 30 d preparto.

Electrolitos	Vacas	Vaquillas	E. E.	Valor de P
Sodio mmol/L	134.47	139.4	3.80	0.40
Potasio mmol/L	4.82	4.94	0.31	0.81
Cloro mmol/L	117.13	122.3	2.70	0.22

Promedios en fila fueron similares (P>0.05); E.E.= Error Estándar.

Resultados similares fueron reportados por Paulel *et al*. (2018) con vacas Nepal en lactancia durante la época de verano cuando se les aplicó baño una, dos o tres veces al día. Por su parte, Barragán-Hernández *et al.* (2015) no encontraron diferencias en niveles de electrolitos sanguíneos al evaluar distintas estrategias de reducción de estrés calóricos en vacas con cruce Romosinuano (50%), Holstein (25%) y Cebú (25%). Los resultados obtenidos en el presente estudio sugieren que el sistema de enfriamiento utilizado para vacas y vaquillas logró mitigar o reducir las condiciones ambientales y muy probablemente los animales se encontraron en un estado cercano al confort, logrando así evitar la deshidratación y pérdida inminente de electrolitos sanguíneos, evidenciando respuestas homeostáticas sobre el estrés (Collier y Zimbelman, 2007). Esto puede ser una posible explicación tanto para vacas como vaquillas, por la cual no presentaron variaciones de sus niveles de electrolitos.

CONCLUSIONES

El enfriamiento durante treinta días antes del parto provoca que las vaquillas prefieran permanecer de pie bajo la sombra alimentándose, mientras que las vacas multíparas prefieren echarse bajo la brisa y rumiar por las mañanas. Vacas y vaquillas mantuvieron de manera similar sus episodios de alimentación y rumia. La concentración de electrolitos en suero de vacas y vaquillas se mantuvo dentro de los límites de referencia, lo que indica que no hubo pérdidas importantes de estos compuestos debido al estrés calórico. El enfriamiento preparto de vacas y vaquillas Holstein modificó ligeramente su conducta y mantuvo el equilibrio de electrolitos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al L.A.E. José Luis Nevárez Bórquez, propietario del hato lechero por facilitar sus vacas, infraestructura y apoyar en esta investigación. Así mismo, al Cuerpo Académico Fisiología y Genética Animal del ICA-UABC por su apoyo general para realizar el presente estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Allen, J. D.; Hall, L. W.; Collier, R. J. and Smith, J. F. (2015). Effect of core body temperature, time of day, and climate conditions on behavioral patterns of lactating dairy cows experiencing mild to moderate heat stress. *J. Dairy Sci.*, 98:118–127. DOI: 10.3168/jds.2013-7704.

Andersson, M. (2009). The importance of shade for dairy cattle in Sweden. *Second cycle, A2E. Uppsala: SLU, Dept.Animal Nutrition and Management*, 1-39. In line: http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:slu:epsilon-6-72.

Angrecka, S. and Herbut, P. (2017). Eligibility of lying boxes at different THI levels in a freestall barn. *Ann. Anim. Sci.*, 7 (1) 257–269. DOI:10.1515/aoas-2016-0053.

Anzures-Olvera, F.; Macías-Cruz, U.; Álvarez-Valenzuela, F.D.; Correa-Calderón, A.; Díaz-Molina, R.; Hernández-Rivera, J.A. y Avendaño-Reyes, 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. *Arch. Med. Vet.*, 47:15-20. DOI:10.4067/S0301-732X2015000100004.

Arias, R. A. and Mader, T. L. (2007). Environmental factors affecting daily water intake on cattle finished in feedlot. *Master Thesis, University of Nebraska-Lincoln, Nebraska, USA*, 47-49. In line: https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=https://www.google.com/&httpsredir=1&article=1070&context=animalscinbcr.

Arias, R. A.; Mader, T. L. y Escobar, P. C. (2008). Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche. *Arch. Med. Vet.*, 40, 7-22. DOI:10.4067/S0301-732X2008000100002.

Armstrong, D. V. (1994). Heat Stress Interaction With Shade and Cooling. *J.Dairy Sci.*, 77 (7): 2044-2205. DOI:10.3168/jds.S0022-0302(94)77149-6.

Avendaño-Reyes, L.; Álvarez, V. F.D.; Correa, C. A.; Saucedo, Q. J.S.; Rivera, A. F.; Verdugo, Z. F.J.; Aréchiga, F. C.F. y Robinson, P. H. (2007). Evaluación

de un sistema de enfriamiento aplicado en el periodo seco de ganado lechero durante el verano. *Tec. Pec. Méx.*, 45(2): 209-225.

Barragán-Hernández WA, Mahecha-Ledesma L, Cajas-Girón YS (2015) Variables fisiológicas-metabólicas de estrés calórico en vacas bajo silvopastoreo y pradera sin árboles. Agronomía Mesoamericana 26: 211-223.

Baumgard, L. H. and Rhoads Jr. R. P. (2013). Effects of heat stresson postabsorptive metabolism and energetics. *Annu. Rev. Anim. Biosci.*, 1 (7):1-27. DOI:10.1146/annurev-animal-031412-103644.

Bernabucci, U.; Biffani, S.; Buggiotti, L.; Vitali, A.; Lacetera, N. and Nardone, A. (2014). The effects of heat stress in Italian Holstein dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, 97: 471-486. DOI: 10.3168/jds.2013-6611.

Brscic, M.; Cozzi, G.; Lora, I.; Stefani, A. L.; Contiero, B.; Ravarotto, L. and Gottardo, F. (2015). Short communication: Reference limits for blood analytes in Holstein late-pregnant heifers and dry cows: Effects of parity, days relative to calving, and season. *J. Dairy Sci.*, 98: 7886–7892. DOI: 10.3168/jds.2015-9345.

Collier, R. J. and Zimbelman R. B. 2007. Heat stress effects on cattle: what we know and what we don't know. In: Proc. of the Southwest Nutrition and Management Conference, The University of Arizona, Tucson, February 23rd.
https://cals.arizona.edu/extension/dairy/az_nm_newsletter/2007/june.pdf (consultado, 06 octubre de 2020).

Collier, R. J.; Beede, D. K.; Thatcher,W. W.; Israel, L. A. and Wilcox. C. J. (1982). Influences of environment and its modification on dairy animal health and production. J. Dairy Sci. 65: 2213–2227.

do Amaral, B. C.; Connor, E. E., Tao, S.; Hayen, M. J.; Bubolz, J. W. and Dahl, G. E. (2011). eat stress abatement during the dry period influences metabolic gene expression and improves immune status in the transition period of dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 94 :86–96. DOIi:10.3168/jds.2009-3004.

do Amaral, B. C.; Connor, E. E.; Tao, S.; Hayen, J.; Bubolz, J. & Dahl, G. E. (2009). Heat-stress abatement during the dry period: Does cooling improve transition into lactation? *J. Dairy Sci.*, 92: 5988–5999. DOI: org/10.3168/jds.2009-2343.

García, E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 5° Edición México, D. F. *Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México*.

Grummer, R. R.; Mashek, D. G. and Hayirli, A. (2004). Dry matter intake and energy balance in the transition period. Vet Clin. North. Am. Food Anim., 20: 447-470. DOI: 10.1016/j.cvfa.2004.06.0

Herbut, P. and Angrecka, S. (2018). Relationship between THI level and dairy cows' behaviour during summer period. *Italian J. Anim. Sci.*, 17 (1): 226-233. DOI: 10.1080/1828051X.2017.1333892.

Hill, W. R.; Wyse, A. G. and Anderson, M. (2006). Capitio 8 Relaciones térmicas. Fisiología animal. Madrid. Editorial Médica Panamericana, 221-280.

Holter, J. B.; West, J. W. and McGilliard, M. L. (1997). Predicting ad libitum dry matter intake and yield of Holstein cows. J. Dairy Sci., 80(9): 2188-2199. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(97)76167-8.

Horowitz M 2002. From molecular and cellular to integrative heat defence during exposure to chronic heat. Comparative Biochemistry and Physiology Part A. 131, 475–483.

Janovick, N. A. and Drackley, J. K. (2010). Prepartum dietary management of energy intake affects postpartum intake and lactation performance by primiparous and multiparous Holstein cows. J. Dairy Sci., 93: 3086–3102. DOI: 10.3168/jds.2009-265.

Karimi, M. T.; Ghorbani, G. R.; Kargar, S. and Drackley, J. K. (2015). Late-gestation heat stress abatement on performance and behavior of Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.* , 98 (10): 6865-6875. DOI: 10.3168/jds.2014-9281.

Nardone, A.; Ronchi, B.; Lacetera, N.; Ranieri, M. S. and Bernabucci, U. (2010). Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. *Livest. Sci.*, 130: 57–69. DOI:10.1016/j.livsci.2010.02.011.

Neave, H. W.; Lomb, J.; von Keyserlingk, M. A.G.; Behnam-Shabahang, A. and Weary, D. M. (2017). Parity differences in the behavior of transition dairy cows. J. Dairy Sci., 100:548–561. DOI: 10.3168/jds.2016-10987.

Nordlund, K. V.; Strassburg, P. ; Bennett, T. B.; Oetzel, G. R. and Cook, N. B. (2019). Thermodynamics of standing and lying behavior in lactating dairy cows in freestall and parlor holding pens during conditions of heat stress. *J. Dairy Sci.*, 102. DOI 10.3168/jds.2018-15891.

Paudel, T. P.; Acharya, B. R.; Karki, D. B. and Shrestha, B. S. (2018). Effect of heat stress on crossbred dairy cattle in tropical Nepal: Impact on blood parameters. *J. Agriculture and Natural Resources*, 1(1): 223-230. DOI:10.3126/janr.v1i1.22237.

Polsky, L. and Von Keyserlingk, M. A.G. (2017). Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare. *J. Dairy Sci.*, 100: 8645–8657. DOI:10.3168/jds.2017-12651.

Robinson, N. E. (2014). Sección IX: Homeostasis. Fisiología Veterinaria 5º Edición. Cunningham, J. G y Klein, B. G. Barcelona. Editorial Elsevier. 2014., 559-568.

Servicio Meteorológico Nacional (SMN). (2010). Normales Climatológicas por Estado. *Infromación climatológica. Servicio Meteorológico Nacional (SMN) Mexicali*, En línea: https://smn.conagua.gob.mx/tools/RESOURCES/Normales5110/NORMAL02034.TXT.

Silanikove, N. (2000). Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. Livest. Prod. Sci., 67: 1-18. DOI: 10.1016/S0301-6226(00)00162-7.

Silanikove, N.; Maltz, E.; Halevi, A. and Shinder, D. (1997). Metabolism of water, sodium, potassium, and chlorine by high yielding dairy cows at the onset of lactation. *J. Dairy Sci.*, 80: 949-956. DOI:10.3168/jds.S0022-0302(97)76019-3.

Tao, S. and Dahl, G. E. (2013). Invited review: Heat stress impacts during the dry period on dry cows and their calves. *J. Dairy Sci.*, 96: 4079-4093. DOI: 10.3168/jds.2012-6278.

Tao, S.; Dahl, G. E.; Laporta, J.; Bernard, J. K.; Orellana, R. R.M. and Marins, T. N. (2019). PHYSIOLOGY SYMPOSIUM: Effects of heat stress during late gestation on the dam and its calf. J. Anim. Sci., 97(5): 2245-2257. DOI: 10.1093/jas/skz061.

Thompson, I. M.; Tao, S.; Monteiro, A. P.; Jeong, K. C. and Dahl, G. E. (2014). Effect of cooling during the dry period on immune response after Streptococcus uberis intramammary infection challenge of dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 97 (12): 7426-7436. DOI: 10.3168/jds.2013-7621.

West, J. C. (2003). Effects of heat stress on production in dairy cattle. *J. Dairy SCI.*, 86: 2131–2144.

CAPITULO III. ENFRIAMIENTO DE VACAS Y VAQUILLAS HOLSTEIN ANTES DEL PARTO: CALIDAD DE CALOSTRO Y LECHE, PRODUCCIÓN DE LECHE Y DESEMPEÑO PRE-DESTETE DE LAS CRÍAS

RESUMEN

Este estudio se realizó para comparar el efecto de enfriar vacas y vaquillas 30 días antes de la fecha de parto programada en la productividad posparto y el crecimiento de sus crías en condiciones cálidas y secas. Once novillas de primer parto y once vacas multíparas se alojaron en corrales separados con sombra y sistema de enfriamiento basado en rociadores de agua y ventiladores. Después del parto, todas las vacas fueron trasladadas a un corral común para vacas frescas con enfriamiento. El calostro fue muestreado tres veces: al momento del parto, 12 y 24 h después del parto; mientras que la leche los días 7, 14, 21 y 28 posparto. Los componentes en calostro y leche se estimaron en un equipo portátil de ultrasonido automático. Los datos se sometieron a un análisis de varianza bajo un diseño completamente al azar con mediciones repetidas. Las temperaturas mínimas y máximas fueron 23 y 49 °C, y humedad relativa e ITH promedio de 39% y 82.2 unidades, respectivamente, en el período previo al parto. En calostro, las vacas mostraron menos grasa ($P < 0.05$) que novillas (3.10 vs 5.89%); sin embargo, los sólidos sin grasa (17.4 vs 17.9%), proteínas (6.83 vs 6.67%) y densidad (64.96 vs 60.85%) fueron similares ($P > 0.05$) entre vacas y vaquillas, respectivamente. En leche, la grasa (4.90 vs 4.27%), los sólidos sin grasa (8.70 vs 9.06%), proteínas (3.44 vs 3.53%) y densidad (28.96 vs 30.51%) de vacas y vaquillas respectivamente, fueron similares ($P > 0.05$). Las crías de vacas y vaquillas tuvieron crecimiento promedio similar ($P > 0.05$). Enfriar vacas y vaquillas Holstein 30 d preparto es una práctica de manejo positiva que ayuda a mantener los rangos normales de componentes en el calostro y la leche. Se detectaron pequeñas diferencias en el calostro y los componentes de la leche entre las vacas maduras y las novillas de primer ternero cuando ambos tipos de ganado se enfrían antes del parto.

Palabras clave: Enfriamiento, Ganado lechero, Estrés calórico, Índice temperatura-humedad.

ABSTRACT

Negative effects of heat stress on colostrum and milk quality of dairy cows can be diminished by using cooling systems during the dry period. This study was conducted to evaluate the effect of cooling cows and heifers for one month before parturition on colostrum and milk quality postpartum under hot and dry conditions. Eleven first-calf heifers and eleven multiparous cows were housed in separate pens with shade and a cooling system based on spray and fans during 30 d before programmed calving date. After calving, all cows were moved to a common pen for fresh cows. Colostrum was sampled three times: at calving time, 12 and 24 h after calving. Milk was sampled at days 7, 14, 21 and 28 postpartum. Colostrum and milk components were determined using a portable automatic ultrasound equipment. Data was subjected to an analysis of variance under a completely randomized design with repeated measurements. Climatological variables registered minimum and maximum temperatures of 23 and 49 °C, and average relative humidity and ITH of 39% and 82.2 units respectively during the pre-partum period. In colostrum, cows showed lower fat ($P<0.05$) than heifers (3.10 vs 5.89%); however, solids-not-fat (17.4 vs 17.9%), protein (6.83 vs 6.67%) and density (64.96 vs 60.85%) were similar ($P>0.05$) between cows and heifers, respectively. In milk, fat (4.90 *vs* 4.27%), solids-not-fat (8.70 *vs* 9.06%), protein (3.44 *vs* 3.53%), and density (28.96 *vs* 30.51%) of cows and heifers respectively, did not change ($P>0.05$). Cooling Holstein cows and first calf-heifers for one month before parturition is a positive management practice that helps to maintain normal ranges of components in colostrum and milk. Small differences in colostrum and milk components were detected between mature cows and first-calf heifers when both type cattle are cooled before calving.

Key words: Cooling, Dairy cattle, Heat stress, Temperature-Humidity index.

INTRODUCCIÓN

Un desafío que presentan cada año las explotaciones lechera en los meses de verano en climas cálidos, como el Valle de Mexicali, Baja California, es la

presencia de temperaturas ambientales extremas (Servicio Meteorológico Nacional, 2010), que generan estados de estrés calórico en el ganado como estrategia de supervivencia manifiestan un cambio en su fisiología y actividad física para tratar de mantener su temperatura corporal dentro de los rangos normales y contrarrestar los efectos del estrés calórico que de forma directa e indirecta afecta su desempeño productivo (West, 2003; Baumgard y Rhoads, 2013; Anzures-Olvera *et al*., 2015). Originando pérdidas económicas para la industria lechera cada año (Avendaño-Reyes, 2012a).

La presencia de estrés calórico durante el período seco afecta el bienestar de las vacas y de sus crías observándose en primera instancia una disminución en la ingesta diaria de alimento perjudicando consecutivamente la calidad de calostro y el rendimiento de leche en la siguiente lactancia, así como el peso al nacer y sobrevivencia de los terneros (Karimi *et al*., 2015; Tao y Dahl, 2013; Thompson *et al*., 2014). En comparación con vacas que paren y se desarrolla su lactancia en condiciones termoneutrales (Tao *et al*., 2016; Monteiro *et al*., 2014).

Enfriar las vacas semanas antes del parto mediante la utilización de sistemas de enfriamiento con ventilación forzada y rociado de agua minimiza los efectos del estrés calórico reflejándose en frecuencias respiratorias y temperatura corporal estables (Avendaño-Reyes *et al*., 2007), mejoras en la calidad y producción de leche en la lactancia posterior e incluso de su descendencia en futuras lactaciones (Avendaño-Reyes *et al*., 2007; Do Amaral *et al.,* 2009; Tao *et al.,* 2019). Además, se mejora el estado inmunológico de las vacas (Do Amaral *et al*., 2011).

Existe una gran influencia del estrés por calor antes del parto en vaquillas primíparas sobre la producción y calidad del calostro, problemas de salud e incluso tenernos más pequeños al nacer (Kertz, 2013), un menor contenido de inmunoglobulinas en calostro (Nardone *et al*., 1997). Holter *et al*. (1997) y Bernabucci *et al*. (2014), mencionan que vaquillas en lactación son más tolerantes al estrés calórico que vacas multíparas. Sin embargo, antes del parto y lactancia, enfrentan diversos factores que son nuevos para ellas que de algún modo son estresantes, entre los que podrían destacar el cambio de corral, cabio de dieta,

edema de la ubre, parto, mayor porcentaje de partos distócicos, separación del ternero, mayor interacción con los humanos, introducción a la ordeña, entre otros (Grandin, 1997; Daniels *et al.,* 2007). Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de un sistema de enfriamiento aplicado 30 días antes del parto en vacas y vaquillas Holstein sobre variables productivas post-parto en condiciones de estrés por calor.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del estudio

El presente trabajo se realizó en el establo comercial lechero "Nevarez" mencionado en el Capítulo I.

Animales de estudio

Se utilizaron 11 Vaquillas de primer parto y 11 vacas multíparas de raza Holstein durante su periodo seco 30 días antes de la fecha de parto programada y 150 días de lactancia, así como 23 terneros descendientes de dichos partos.

Corrales y equipo de enfriamiento

Las características de los corrales de las vacas y vaquillas se mencionaron en el Capítulo I. Después del parto, todas las vacas fueron trasladadas a un corral común para vacas frescas.

Los terneros se alojaron en casetas de herrería con divisiones para 4 terneros elevadas a 20 cm del piso.

Registro de variables productivas

Se colectaron variables climáticas y productivas; de las climáticas se obtuvieron temperatura ambiental, humedad relativa e índice temperatura-humedad; en las productivas se analizó la calidad de calostro y leche, de igual manera se monitoreo la producción de leche hasta 150 d de lactancia, se llevó el registro del incremento de peso de los terneros a los 30 y 60 d de edad y se determinó la ganancia diaria de peso de los mismos.

Calidad de calostro

Se recolectaron muestras de calostro de 50 – 60 mL en frascos para muestras estériles de plástico herméticos con tapa roscada de 100 mL etiquetados después del despunte previo al ordeño de las 11 vacas y 11 vaquillas.

Dichas muestras se obtuvieron tres veces: en el momento del parto, 12 y 24 h después del parto. Posteriormente se trasladaron a laboratorio del establo donde cada muestra se transfirió a un tubo de ensayo esterilizado del 50 mL de plástico para analizar los componentes de la muestra mediante el analizador de leche por ultrasonido portátil LactiCheck ® LC-01 (PAGE & PEDERSEN), el cual determina de forma automática los porcentajes de grasa, sólidos no grasos, densidad, porcentaje de agua y proteína de la muestra.

Calidad de leche

De igual manera se recolectaron muestras de leche de 50 – 60 mL en frascos para muestras con las mismas características de las muestras de calostro señaladas y se realizó un procedimiento idéntico para el análisis de las muestras. Solo que las muestras de leche se recolectaron a los 7, 14, 21 y 28 d después del parto.

Producción de leche

Se registró la producción diaria de leche mediante datos arrojados automáticamente por la ordeñadora en párelo modelo Champion db 15™, de la marca DeLaval, Estocolmo, Suecia. Durante 150 días de lactancia.

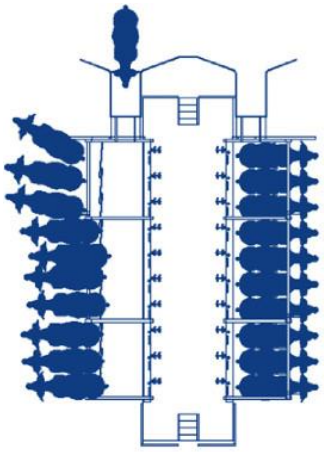

Figura: I y II Sala de ordeño (DeLaval México, 2017).

Desempeño de los terneros

Se utilizaron 23 terneros producto de 22 partos de 11 vacas y 11 vaquillas, se pesaron al nacimiento (PN) utilizando una báscula de plataforma con capacidad de 400 kg (marca Torrey, modelo EQM-400/800), posteriormente se pesaros a los 30 y 60 d de edad (P30D y P60D). Después de registrar el peso al nacimiento se alojaron los terneros en casetas de herrería con divisiones para cuatro terneros elevadas a 20 cm del piso.

Análisis estadístico.

Para los datos de variables productivas (calidad de calostro y leche, producción de leche) se sometieron a un análisis de varianza bajo un diseño completamente al azar con mediciones repetidas. Para el análisis de las variables productivas de los terneros se utilizó un arreglo factorial de tratamientos 2 x 2 en un diseño completamente al azar, que incluyó los efectos número de lactancia (Primípara y Multípara), sexo (hembra y macho) de la cría. Las respuestas fueron peso al nacimiento (PN), Peso a los 30 días (P30D) peso al destete (PD) y ganancia diaria del nacimiento al destete (GDP). El análisis estadístico fue un arreglo factorial de tratamientos 2x2 en un diseño completamente al azar.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variables climatológicas

Las variables climatológicas registraron temperaturas mínimas y máximas de 23 y 49 °C, y humedad relativa promedio y ITH de 39% y 82.2 unidades respectivamente durante el período previo al parto. Los días con ITH promedio más alto (84.78 unidades) fueron del 26 al 30 de julio como podemos ver la Figura III, en asociación con la segunda humedad relativa promedio más alta de 42.8 % y una Temperatura promedio de 36.15 °C. La Humedad relativa promedio más alta se presentó en los días del 16 al 20 de julio. El estrés calórico se clasificó como severo. Cuando el ITH ambiental supera las 72 unidades las vacas comienzan a experimentar estrés por calor disminuyen su rendimiento productivo de la leche disminuye y la calidad de la leche producida (Ravagnolo *et al*., 2000).

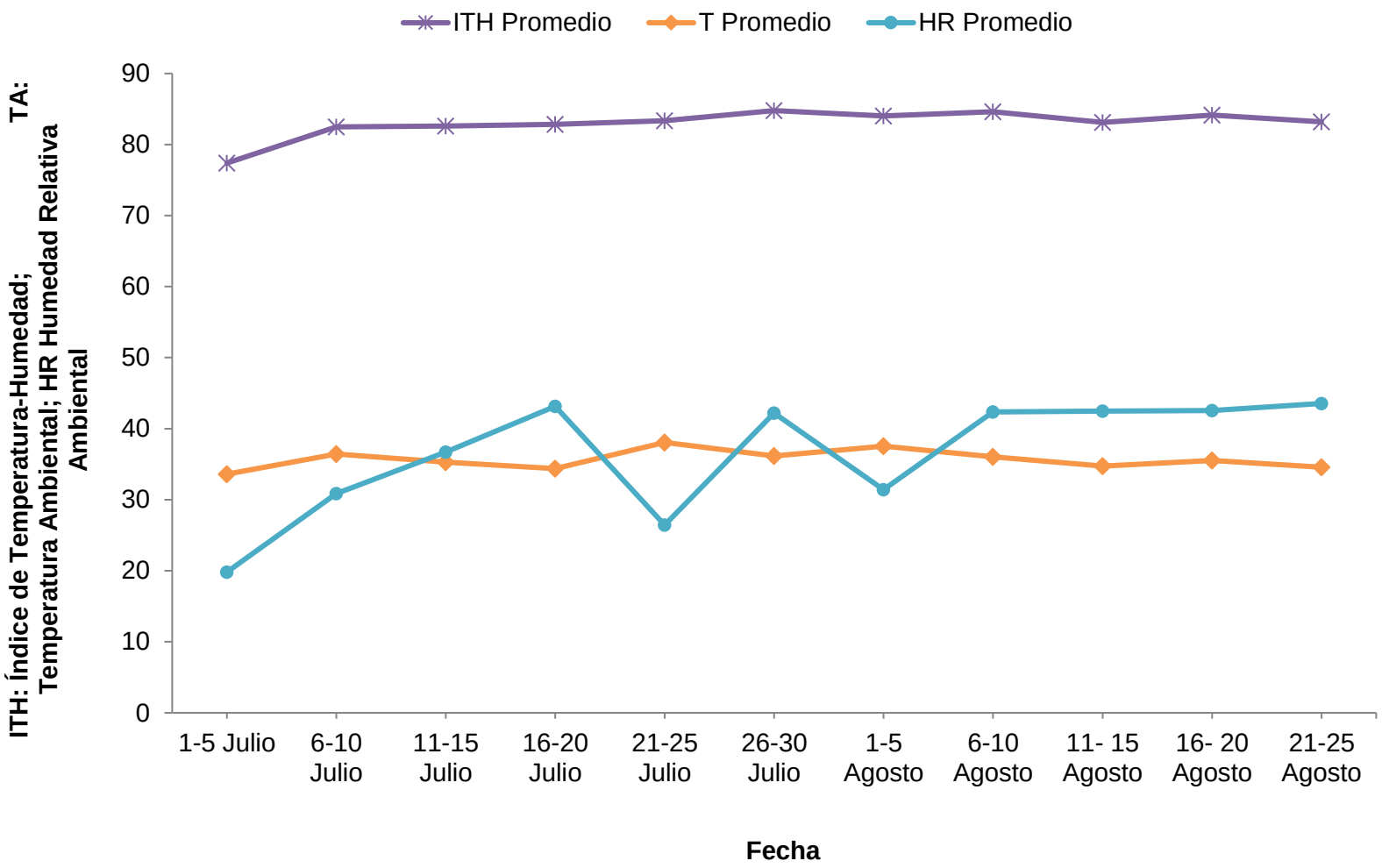

Figura III. Promedios de variables climáticas 30 d antes del parto (considerando el primer y último parto de Vaca o Vaquilla).

Calidad de calostro

Bajo condiciones termoneutrales la calidad del calostro de las vacas multíparas es ligeramente superior que el de vacas primíparas, ya que presentan mayor cantidad de inmunoglobulinas, proteína cruda, proteína y densidad (Gross *et al*., 2017; Aydogdu y Guzelbektes 2018; Fahey *et al*., 2020), solidos totales (Scandolo y Maciel 2017), mientras que las concentraciones de grasa son menores (Aydogdu y Guzelbektes, 2018). En un estudio realizado por Nardone *et al*. (1997) las altas temperaturas ambientales durante las últimas semanas de gestación y el período posparto temprano perjudican marcadamente la composición del calostro de vaquillas primíparas, los contenidos gramos por litro de proteína total, grasa, IgG e IgA, contenidos de ácidos grasos de cadena corta y media, grasa y lactosa fueron más bajos y un pH más alto que las vaquillas que se encontraban en confort térmico. Esto podrá deberse a que las vacas primíparas se han expuesto en menor tiempo a antígenos (Elizondo-Salazar, 2015). De igual manera por la menor capacidad de excreción de su glándula mamaria (Akers, 2017).

Las proteínas (6.83 vs 6.67%), sólidos no grasos (17.4 vs 17.9%) y la densidad (64.96 vs 60.85%) fueron similares (P> 0.05) entre vacas y vaquillas, respectivamente. El contenido de proteína de ambas fue menor que el encontrado en vaquillas primíparas bajo estrés calórico 7.5% y para vaquillas primíparas 13.6% y vacas multíparas 15.4% en condiciones termoneutrales. Las vacas mostraron menos grasa (P <0.05) que las vaquillas (3.10 vs 5.89%), este resultado concuerda (Aydogdu y Guzelbektes 2018) en condiciones termoneutrales (multíparas 5.44 vs 7.46% primíparas). El contenido de grasa de vaquillas fue superior al de vaquillas primíparas bajo estrés por calor 3.7% y en confort térmico 4.8% (Nardone *et al*., 1997). En general estos resultados fueron similares a los encontrados por Sánchez-Castro *et al*. (2014) en el valle de Mexicali el calostro de las vacas multíparas presento mayor proteína e IG, pero más bajo en grasa que las vaquillas primíparas. Se sabe que al minimizar los efectos del estrés calórico durante el periodo seco se mejora la calidad del calostro (Karimi *et al*., 2015). Debido a que su conformación tiene inicio semanas antes del parto y las

condiciones climáticas principalmente calurosas, pueden influir en su calidad (Godden, 2008). En este estudio el enfriamiento beneficio principalmente la calidad del calostro de las vacas multíparas.

Cuadro I. Parámetros de calidad de calostro de vacas y vaquillas enfriadas 30 días antes de la fecha de parto programada (Valores en %).

Calostro	Vacas	Vaquillas	E.E.	Parto	12 h pp	24 h pp	E.E.
Grasa	3.10[a]	5.89[b]	0.31	4.69 [a]	4.68 [a]	4.12 [a]	0.38
Proteína	6.83 [a]	6.67 [a]	0.26	7.49 [a]	6.19 [b]	6.58 [b]	0.32
SNG	17.41[a]	17.90[a]	0.86	18.96 [a]	17.29 [a]	16.72 [a]	1.05
Densidad	64.96[a]	60.85[a]	2.68	69.74 [a]	58.00 [b]	60.96 [b]	3.28

ab = Promedio en fila con diferente literal difieren (P <0.05); E.E. = Error estándar; h pp = horas posparto; SNG= Solidos no grasos.

Calidad de leche

En condiciones termoneutrales durante la lactancia temprana la calidad de la leche de vacas multíparas es superior que la de vaquillas primíparas muy marcadamente (Barreto *et al*., 2015; Connor *et al*., 2019) presenta mayor porcentaje de proteína y grasa.

El estrés calórico en el período provoca inicialmente una disminución en la ingesta diaria de materia seca, compromete el desarrollo de la glándula mamaria, lo que evoca en disminución de la calidad de leche en la siguiente lactancia (Tao *et al*., 2011; Karimi *et al*., 2015). A partir de un ITH superior a 72 unidades en el ambiente las vacas producen leche con menor porcentaje de proteínas, sólidos totales e inclusive incrementa el porcentaje de grasa saturada (Ravagnolo *et al*., 2000). La disminución la proteína se debe a que por las altas temperaturas, las células epiteliales de la glándula mamaria producen proteínas de choque térmico, que reducen la síntesis de proteínas en la leche (Collier *et al*., 2017). Gantner *et al*. (2016) nos menciona que el contenido de grasa y proteína en leche disminuye

en general, pero la relación grasa/proteína aumenta en términos de estrés en la primer, segunda y cuarta lactancia.

Las proteínas (3.44 vs 3.53%), grasa (4.90 vs 4.27%), sólidos no grasos (8.70 vs 9.06%) y densidad (28.96 vs 30.51%) de vacas y vaquillas respectivamente, fueron similares (P > 0.05). Fueron superiores a los contenidos de leche de vacas multíparas enfriadas durante su periodo seco en Irán proteína 3.17%, grasa 3.10% (Karimi *et al*., 2015) y en Florida proteína 3.0 y grasa 3.9% % (do Amaral *et al*., 2009). Cuando se les provee enfriamiento a las vacas durante su periodo seco presentan mayores rendimientos de solidos no grasos, de proteína y aumento numérico en el contenido de grasa en comparación con las vacas no enfriadas (Karimi *et al*., 2015).

Cuadro II. Parámetros de leche de vacas y vaquillas enfriadas 30 días antes de la fecha de parto programada (Valores en %).

Leche	Vacas	Vaquillas	E.E.	7 d pp	14 d pp	21 d pp	28 d pp	E.E.
Grasa	4.90 [a]	4.27 [a]	0.42	4.98 [a]	4.59 [a]	3.87 [b]	2.89 [b]	0.57
Proteína	3.44 [a]	3.53 [a]	0.08	3.50 [a]	3.26 [a]	3.55 [a]	3.62 [a]	0.11
SNG	8.70 [a]	9.06 [a]	0.33	8.23 [a]	8.38 [b]	9.27 [ab]	9.65 [b]	0.47
Densidad	28.96 [a]	30.51 [a]	0.98	28.99 [a]	25.84 [ab]	31.05 [b]	33.07 [b]	1.41

ab = Promedio en fila con diferente literal difieren (P <0.05); E.E. = Error estándar; h pp = horas posparto; SNG= Solidos no grasos.

Rendimiento de leche

Este claro, que comúnmente las vacas multíparas manifiestan una producción de leche superior que las vaquillas primíparas por día y durante toda lactancia, incluso que obtienen el mayor pico de lactancia días antes que las primíparas (Masía *et al*., 2020). Las vacas multíparas de raza Holstein comúnmente logran superar los 7,000 litros por lactancia mientras que las primíparas los 6,000 litros (Vallone *et al*., 2014).

Dichas diferencias son definidas por diferentes factores por mencionar algunos; las vaquillas primíparas durante su primera lactancia aún se encuentran en desarrollo corporal o crecimiento, lo que le demanda un gasto de energía adicional que le impiden producir en mayor cantidad metabolitos y hormonas promotores de la producción de leche (Wathes *et al*., 2007), tienen menos tejido adiposo secretor de leche (Akers, 2017). Por otro, lado las vacas multíparas tienen un mayor consumo de materia seca y aprovechamiento de la misma desde antes del parto y la lactancia que las vaquillas primíparas (Neave *et al*., 2017; Connor *et al*., 2019). De manera que el rendimiento lechero se intensifica conforme el número de lactancia (Neave *et al*., 2017; Vijayakumar *et al*., 2017).

El estrés calórico en el período seco (Tao *et al*., 2011; Thompson *et al*., 2014; Karimi *et al*., 2015) y lactancia (Ravagnolo *et al*., 2000; Gantner *et al*., 2016; Habeeb *et a.,* 2018) afecta el bienestar de las vacas, disminuye su consumo de alimento, compromete la eficiencia de la glándula mamaría por lo disminuye el rendimiento productivo de leche en la siguiente lactancia.

Bajo condiciones de estrés por calor las vacas no logran emprender mecanismos de ahorro de energía como la movilización adiposa que generalmente previene reducciones drásticas en la producción de leche en periodos de ingesta de nutrientes reducida, por lo que incrementa el gasto de suministro de energía a todo el cuerpo y se minimiza a glándula mamaria (Baumgard *et al*., 2011). Debido este problema en la repartición de energía, la glándula mamaria manifiesta una disminución en la absorción de energía principalmente glucosa, por lo tanto, si absorbe menos glucosa tiene menor precursor para formar el azúcar de la leche (lactosa) formada por glucosa y galactosa y produce menor cantidad de leche (Tao *et al*., 2019; Bombal, 2020).

Algunos autores mencionan que las vaquillas primíparas durante la lactancia son menos afectadas por el estrés calórico, debido a que consumen menor cantidad de materia seca y producen menor cantidad de leche (West *et al*., 2003; Nardone *et al*. 2010), o porque las multíparas producen leche con mayor cantidad de grasa y proteína (Bernabucci *et al*., 2014). En otro estudio, Zamorano *et al*. (2018)

encontró afecta tanto a vacas multíparas como a las primíparas, pero en menor grado a estas últimas.

Los promedios de producción diaria de leche de vacas y vaquillas a los 30, 60, y 90 días de lactación fueron mayores (P <0.05) en vacas que en vaquillas Figura IV. La lactancia de las vacas multíparas se comportó constante hasta alcanzar su pico de lactancia a los 90 días.

El enfriamiento mejora el bienestar de las vacas durante el periodo seco y mejora la producción de leche en la siguiente lactancia de debido a que los animales comen más y producen más leche (West *et al*., 2003), se incrementa la secreción de prolactina (Tao y Dahl 2013), se mejora la producción de energía y reduce el estrés oxidativo (Skibiel *et al*., 2017) y diversos factores que se mejoran. Sin embargo las diferencias encontradas en este estudio en rendimiento de vacas multíparas de leche superior ante vacas multíparas se debieron principalmente al potencial productivo de acuerdo a su lactancia de las mismas (Vallone *et al*., 2014; Neave *et al*., 2017; Akers, 2017; Vijayakumar *et al*., 2017; Connor *et al*., 2019; Masía *et al*., 2020).

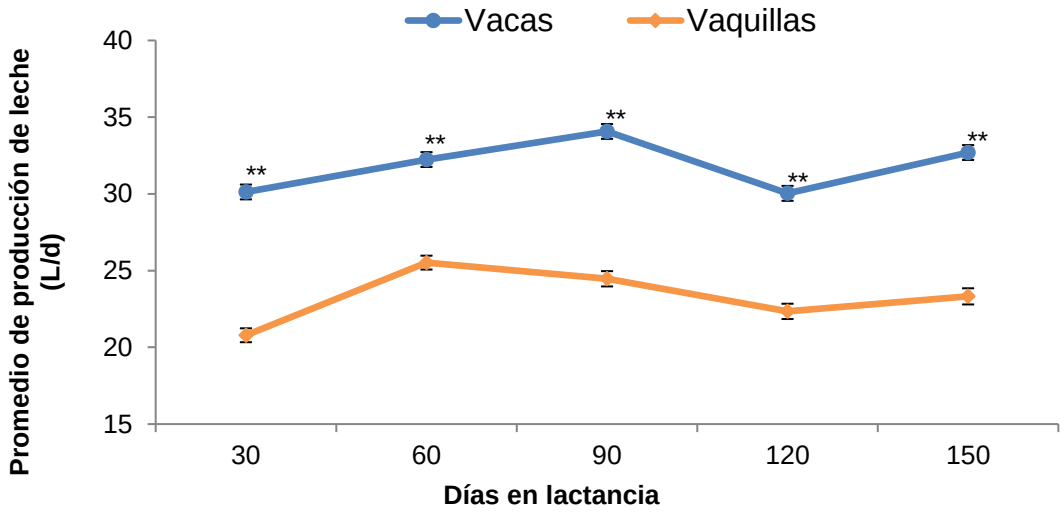

Figura IV. Promedios de producción diaria de leche de vacas y vaquillas a los 30, 60, 90, 120 y 150 días de lactación.

**= Altamente significativo (P<0.01);

Desempeño pre-destete de Terneros

Está claro que en condiciones normales bajo condiciones climáticas en confort térmico las vaquillas primíparas, tienen periodos de gestación más cortos, terneros con menor peso al nacimiento, mayor porcentaje de partos distócicos o que requieren asistencia que las vacas multíparas (Heins *et al*., 2010; Villettaz *et al*., 2017; Atashi *et al*., 2019). Estos factores, de acuerdo (Atashi *et al*., 2019) pueden afectar otros factores económicos como el rendimiento y la curva de lactancia.

Las vaquillas estresadas por el calor tienen terneros más pequeños y tienen una absorción reducida de anticuerpos del calostro que las vacas multíparas (Kertz, 2013), lo cual podría deberse directamente a menor consumo de materia seca (Karimi *et al*., 2015). Además, el estrés calórico en las últimas semanas de gestación compromete el desarrollo placentario, por lo que ocurre desnutrición y retraso en el crecimiento del feto (Tao *et al*., 2012; Tao y Dahl 2013). En general el estrés calórico también compromete el crecimiento post-parto y sobrevivencia de los terneros ya que disminuye su capacidad de adquirir inmunidad pasiva por medio del calostro (Tao *et al*., 2012; Tao y Dahl 2013; Monteiro *et al*., 2016) El estrés calórico puede influir en el crecimiento y peso corporal de los terneros hasta el año de edad (Monteiro *et al* 2016).

El Cuadro III muestra los promedios de las variables de crecimiento en terneras de vacas y de vaquillas. En PN se observa una diferencia de 3.4 kg a favor de las crías de vacas, diferencia que desaparece a los 30 d de edad. Mientras que, a los 60 d edad del destete, las crías de vaquillas superan en peso a las de vacas en 4.6 kg. Incluso la GDP de crías de vaquillas fue mayor que las crías de vacas en 140 gr/d. No obstante, estas diferencias no fueron significativas en ninguna variable ($P>0.05$). Esto se atribuye al bajo tamaño de muestra y a la gran variabilidad de los pesos observados en las crías de ambos tipos de madre. El P60D mostró similar tendencia siendo más pesados por 4.61 kg los terneros de vaquillas. La GPD de terneros de vaquillas fue superior por 139 g. Que las crías de vaquillas se repusieron de un inicio bajo hasta el destete, pudo estar más influenciado por el manejo que recibieron en el establo. En un estudio realizado

por Villettaz *et al*. (2017), el peso al nacer se asoció positivamente con el peso que logaron a las 7 semanas de edad, la ganancia diaria de peso promedio a las 7 semanas de edad de los terneros nacidos de vacas multíparas fue menor que el de los terneros nacido de vacas primíparas, pero el efecto vario según la intervención y manejo del personal del establo. Ya que la ganancia diaria de peso de los terneros nacidos de las vaquillas 0.58 kg fue similar a los rangos ideales para la raza Holstein 0.56 kg (Bar-Peled *et al*., 1997), 0.77 (DCHA, 2016) para terneros a los 60 días de edad. E incluso cumplieron con estándar de oro para la raza Holstein que el peso de los terneros a los 60 días debe ser al menos el doble de peso al nacer (DCHA, 2016). Por el contario para el caso de terneros nacidos de vacas multíparas tanto la ganancia diaria de peso 0.44 kg como el peso total a los 60 días, lo cumplieron los estándares ideales para la raza Holstein. Por lo que, se recomienda contar con personal especializado en la cría de terneros, para obtener las máximas ganancias productivas.

Cuadro III. Peso al nacimiento, peso al destete, ganancia diaria peso pre-destete de terneros de vacas y vaquillas enfriadas 30 d antes de la fecha de parto programada.

Parámetros	Vacas		Vaquillas	
	N	Media	N	Medía
Peso al nacimiento	12	37.13±1.58ª	10	33.75±1.88ª
Peso 30 días de edad	11	44.44±2.31ª	9	44.54±2.99ª
Peso 60 días de edad	10	64.40±3.76ª	7	69.01±5.01ª
GDP 60 días (pre-destete)	10	0.44±0.07ª	7	0.58±0.09ª

ab = Promedio en fila con diferente literal difieren (P <0.05); N= Número de terneros.

CONCLUSIONES

Enfriar vacas Holstein y vaquillas durante un mes antes del parto es una práctica de manejo positiva donde la vaca madura exhibió mayor producción de leche de manera consistente hasta los 150 d de la lactancia. Los componentes de la leche y el crecimiento de las crías fueron similares para vacas y vaquillas enfriadas 30 d preparto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Akers, R. M. (2017). A 100-year review: Mammary development and lactation. *J. Dairy Sci.*, 100: 10332–10352. DOI: 10.3168/jds.2017-12983.

Alemneh, T. and Akebereg, D. (2019). Adaptation strategies of farm animals to water shortage in desert areas. *Am. J. Biomed. Sci. & Res.*, 245- 250. DOI: 10.34297/AJBSR.2019.02.000617.

Ali-Gholi, R.; Siamak, A. R. and Daryoush, M. (2007). Influence of the short-term road transport stress on blood parameters in cows. *Rev. Med. Vet.*, 63: 1311-1315.

Allen, J. D.; Hall, L. W.; Collier, R. J. and Smith, J. F. (2015). Effect of core body temperature, time of day, and climate conditions on behavioral patterns of lactating dairy cows experiencing mild to moderate heat stress. *J. Dairy Sci.*, 98: 118–127. DOI: 10.3168/jds.2013-7704.

Andersson, M. (2009). The importance of shade for dairy cattle in Sweden. *Second cycle, A2E. Uppsala: SLU, Dept.Animal Nutrition and Management*, 1-39. In line: http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:slu:epsilon-6-72.

Angrecka, S. and Herbut, P. (2017). Eligibility of lying boxes at different THI levels in a freestall barn. *Ann. Anim. Sci.*, 7(1): 257–269. DOI: 10.1515/aoas-2016-0053.

Anzures-Olvera, F.; Macías-Cruz, U.; Álvarez-Valenzuela, F.D.; Correa-Calderón, A.; Díaz-Molina, R.; Hernández-Rivera, J.A. y Avendaño-Reyes, 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. *Arch. Med. Vet.*, 47: 15-20. DOI: 10.4067/S0301-732X2015000100004.

Arias, R. A. and Mader, T. L. (2007). Environmental factors affecting daily water intake on cattle finished in feedlot. *Master Thesis, University of Nebraska-Lincoln, Nebraska, USA*, 47-49. In line:

https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=https://www.google.com/&httpsredir=1&article=1070&context=animalscinbcr.

Arias, R. A.; Mader, T. L. y Escobar, P. C. (2008). Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche. *Arch. Med. Vet.*, 40, 7-22. DOI: 10.4067/S0301-732X2008000100002.

Armstrong, D. V. (1994). Heat Stress Interaction With Shade and Cooling. *J.Dairy Sci.*, 77(7): 2044-2205. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(94)77149-6.

Atashi, H.; Asaadi, A. (2019). Association between gestation length and lactation performance, lactation curve, calf birth weight and dystocia in Holstein dairy cows in Iran. *Anim. Reprod.*, 16(4): 846-852. DOI: 10.21451/1984-3143-AR2019-0005.

Avendano-Reyes, L.; Hernández- Rivera, J.A.; Alvarez-Valenzuela, F.D.; Macías-Cruz, U.; Díaz-Molina, R.; Correa-Calderón, A.; Robinson, P. H. and Fadel, J. G. (2012b). Physiological and productive responses of multiparous lactating Holstein cows exposed to short-term cooling during severe summer conditions in an arid region of Mexico. *Int. J. Biometeorol.*, 56: 993–999. DOI: 10.1007/s00484-011-0510-x.

Avendaño-Reyes, L. (2012a). Heat Stress Management for Milk Production in Arid Zones. *Milk Production-An Up-to-Date Overview of Animal Nutrition, Management and Health*, 9: 165-184. DOI: 10.5772/51299.

Avendaño-Reyes, L.; Álvarez, V. F.D.; Correa, C. A.; Saucedo, Q. J.S.; Rivera, A. F.; Verdugo, Z. F.J.; Aréchiga, F. C.F. y Robinson, P. H. (2007). Evaluación de un sistema de enfriamiento aplicado en el periodo seco de ganado lechero durante el verano. *Tec. Pec. Méx.*, 45(2): 209-225.

Aydogdu, U. and Guzelbektes, H. (2018). Effect of colostrum composition on passive calf immunity in primiparous and multiparous dairy cows. *Veterinarni Medicina*, 6 (01): 1–11. DOI: 0.17221/40/2017-VETMED.

Barajas, C. R. (2018). El crómo orgánico en la engorda de bovinos. *XXVII Reunión Internacional sobre producción de Carne y Leche en climas cálidos*

3/4/2018, Universidad Autónoma de Sinaloa, Culiacán, Sinaloa, México, Disponible en Engormix: https://www.engormix.com/ganaderia-carne/articulos/clima-calido-cromo-organico-t41966.htm.

Bar-Peled, U.; Robinzon, B.; Maltz, E.; Tagari, H.; Folman, Y.; Bruckental, I.; Voet, H.; Gacitua, H. and Lehrer, A. R. (1997). Increased Weight Gain and Effects on Production Parameters of Holstein Heifer Calves That Were Allowed to Suckle from Birth to Six Weeks of Age. *J. Dairy Sci.*, 80: 2523–2528.

Barreto, M. J.L.; do Nascimento, R. A.H.; Constantino, S. M.H.; Santos, D. G. and Morais, L. Jr.D. (2016). Physicochemical and sensory characteristics of milk from cows in different lactation stages and calving orders. *Ciênc. Agrár. Londrina*, 37(4): 1963-1970. DOI: 10.5433/1679-0359.2016v37n4p1963.

Baumgard, L. H. and Rhoads Jr. R. P. (2013). Effects of heat stresson postabsorptive metabolism and energetics. *Annu. Rev. Anim. Biosci.*, 1(7): 1-27. DOI: 10.1146/annurev-animal-031412-103644.

Baumgard, L. H.; Wheelock, J. B.; Sanders, S. R.; Moore, C. E.; Green, H. B.; Waldron, M. R. and Rhoads, R. P. (2011). Postabsorptive carbohydrate adaptations to heat stress and monensin supplementation in lactating Holstein cows. *J. Dairy Sci.*, 94: 5620–5633. DOI: 10.3168/jds.2011-4462.

Beede, D. K. and Collier, R. J. (1986). Potential nutritional strategies for intensively managed cattle during thermal stress. *J. Anim. Sci.*, 62: 543-554.

Bernabucci, U.; Bani, P.; Ronchi, B.; Lacetera, N. and Nardone, A. (1999). Influence of short and long-term exposure to a hot environment on rumen passage rate and diet digestibility in Friesian heifers. *J. Dairy Sci.*, 82: 967–973.

Bernabucci, U.; Biffani, S.; Buggiotti, L.; Vitali, A.; Lacetera, N. and Nardone, A. (2014). The effects of heat stress in Italian Holstein dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, 97: 471-486. DOI: 10.3168/jds.2013-6611.

Bernabucci, U.; Lacetera, N.; Baumgard, L.; Rhoads, R.; Ronchi, B. and Nardone, A. (2010). Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in

domesticated ruminants. *Animal*, 4(7): 1167-1183. DOI: 10.1017/S175173111000090X.

Bhan, C.; Singh, S. V.; Hooda, O. K.; Upadhyay, R. C.; Beenam and M. Vaidya. (2012). Influence of temperature variability on physiological, hematological and biochemical profile of growing and adult sahiwal cattle. *J. Environ. Res. Develop.*, 7(2): 986-994.

Bicudo, J. R. and Gates, R. S. (2002). Water consumption, air and water temperature issues related to portable water systems for grazing cattle. *ASAE, Annual International Meeting/CIGR XVth World Congress. Chicago, Illinois, USA.*, 1-10.

Blackshaw, K. and Blackshaw, A. W. (1994). Heat stress in cattle and the effect of shade on production and behaviour: a review. *Aust. J. Exp. Agric.*, 34: 285-295. DOI: 10.1071/EA9940285.

Bombal, C. E. (2020). Estrés calórico: su impacto en reproducción, producción de leche y salud de la glándula mamaria. *Webinar, DeLaval, Junio 5 de 2020*.

Broom, D. M. (2011). Bienestar animal: conceptos, métodos de estudio e indicadores. *Rev. Colomb. Cienc. Pecu.*, 24(3): 306-321.

Brown-Brandl, T.M.; Chitko-McKown, C.G.; Eigenberg, R.A.; Mayer, J. J.; Welsh, T. H.; Davis, J. D. and Purswell, J. L. (2017). Physiological responses of feedlot heifers provided access to different levels of shade. *Animal*, 11(8): 1344-1353. DOI: 10.1017/S1751731116002664.

Brscic, M.; Cozzi, G.; Lora, I.; Stefani, A. L.; Contiero, B.; Ravarotto, L. and Gottardo, F. (2015). Short communication: Reference limits for blood analytes in Holstein late-pregnant heifers and dry cows: Effects of parity, days relative to calving, and season. *J. Dairy Sci.*, 98: 7886–7892. DOI: 10.3168/jds.2015-9345.

Buffington, D. E.; Collier, R. J. and Canton, G. H. (1983). Shade Management Systems to Reduce Heat Stress for Dairy Cows in Hot, Humid Climates. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng*, 26(6): 1798-1802. DOI: 10.13031/2013.33845.

Bush, L. J. and Staley, T. E. (1980). Absorption of Colostral Immunoglobulins in Newborn Calves. *J. Dairy Sci.*, 63: 672-680.

Calamari, L.; Morera, P.; Bani, P.; Minuti, A.; Basiricò, L.; Vitali, A. and Bernabucci, U. (2018). Effect of hot season on blood parameters, fecal fermentative parameters, and occurrence of Clostridium tyrobutyricum spores in feces of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 101: 4437–4447. DOI: 10.3168/jds.2017-13693.

Castro Dias, M. B.; Leão, K. M.; Carmo, R.da S.; Marco, P. da; Nicolau, E. S. and Marques, T. C. (2017). Milk composition and blood metabolic profile from holstein cows at different calving orders and lactation stages. *Acta Scientiarum. Anim. Sci.*, 39(3): 315-321. DOI: 10.4025/actascianimsci.v39i3.34807.

CEDRSSA. (2019). Reporte, La producción de granos, leche y productos cárnicos, 1980-2018, Productos estratégicos para la seguridad alimentaria. *Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (CEDRSSA), Palacio Legislativo de San Lázaro, Ciudad de México, Diciembre de 2019*, 1-35. Disponible en: http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/13/98Productos-estrategicos.pdf.

Cerqueira, J. O.L.; Araújo, J. P.P.; Blanco-Penedo, I.,; Cantalapiedra, J.,; Silvestre, A. M.D. and Silva, S. J. C.R. (2016). Predicción de estrés térmico en vacas lecheras mediante indicadores ambientales y fisiológicos. *Arch. Zootec.*, 65(251): 357-364.

Collier, R. J. and Gebremedhin, K. G. (2015). Thermal biology of domestic animals. *Annu. Rev. Anim. Biosc.*, 3: 513-32. DOI: 10.1146/annurev-animal-022114-110659.

Collier, R. J.; Baumgard, L. H.; Zimbelman, R. B. and Xiao, Y. (2019). Heat stress: physiology of acclimation and adaptation. *Anim. Front.*, 9(1): 12-19. DOI: 10.1093/af/vfy031.

Collier, R. J.; Xiao, Y. and Bauman, D. E. (2017). Chapter 1 - Regulation of factors affecting milk yield. En: Nutrients in Dairy and their Implications on Health and Disease. *Academic. Press.*, 3-17. DOI: 10.1016/B978-0-12-809762-5.00001-2.

Connor, E. E.; Hutchison, J. L.; Van Tassell, C. P. and J. B. Cole. (2019). Defining the optimal period length and stage of growth or lactation to estimate residual feed intake in dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 102: 6131–6143. DOI: 10.3168/jds.2018-15407.

Cook, N. B.; Mentink, R. L.; Bennett, T. B. and Burgi, K. (2004). Environmental influences on claw horn lesions associated with laminitis and subacute ruminal acidosis in dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 90: 1674–1682. DOI: 10.3168/jds.2006-634.

Cornell University. (2016). *Samples for Hematology. Accessed 5 January 2020*, On line: https://www.vet.cornell.edu/animal-health-diagnostic-center/laboratories/clinical-pathology/samples-and-submissions/hematology.

Cornish, A.; Raubenheimer, D. and McGreevy, P. (2016). What we know about the public's level of concern for farm animal welfare in food production in developed countries. *Animals*, 6(11) 74: 1-15. DOI: 10.3390/ani6110074.

Coroian, C. O.; Mireşan, V.; Coroian, A.; Răducu, C.; Andronie, L.; Marchiş, Z.; Terheş, S. and Mircea-Valentin, M. (2017). Biochemical and Haematological Blood Parameters at Different Stages of Lactation in Cows. *Bulletin UASVM J. Anim. Sci. Biotechnol.*, 74(1): 31-36. DOI: 10.15835/buasvmcn-asb: 12283.

Corrales, F. J. (2010). Diagnóstico Sectorial Baja California, SAGARPA. *Comité técnico estatal de evaluación JICOMEX*, 18-140.

Correa, C. A.; Armstrong, D.; Ray, D.; DeNise, Sue; Enns, M. and Howison, C. (2004). Thermoregulatory responses of Holstein and Brown Swiss heat-stressed dairy cows to two different cooling systems. *Int. J. Biometeorol.*, 48: 142–148. DOI: 10.1007/s00484-003-0194-y.

Correa, C. A.; Santos, G. des; Avendaño, L.; Rivera, F.; Alvarez, D.; Ardon, F.; Diaz, R. y Collier, R. (2009). Enfriamiento artificial y tasa de concepción de vaquillas holstein con estrés térmico. *Arch. Zootec.*, 58(222): 231-239.

Correa-Calderón, A.; Gómez-Álvarez, C.I.; Avendaño-Reyes, L.; Diaz-Molina, R.; Medina-Cervantes, S.; Rivera-Acuña, F; Luna-Nevárez, P y Macias-Cruz, U. (2014). Efecto de la suplementación de progesterona y enfriamiento artificial post-inseminación sobre la eficiencia reproductiva de vaquillas Holstein durante el verano. *Arch. Med. Vet.*, 46(2): 189-196. DOI: 10.4067/S0301-732X2014000200004.

Dahl, G. E.; Tao, S. and Laporta, J. (2020). Heat Stress Impacts Immune Status in Cows Across the Life Cycle. *Front. Vet. Sci.*, 7: 1-16. DOI: 10.3389/fvets.2020.00116.

Dalcin, V. C.; Fischer, V.; Daltro, D. dos S.; Alfonzo, E. P. M.; Stumpf, M.T.; Kolling, G. J.; da Silva, Marcos, V. G. B.da and McManus, C. (2016). Physiological parameters for thermal stress in dairy cattle. *R. Bras. Zootec.*, 45(8): 458-465. DOI: 10.1590/S1806-92902016000800006.

Davis, A. K.; Maney, D. L. and Maerz, J. C. (2008). The Use of Leukocyte Profiles to Measure Stress in Vertebrates: A Review for Ecologists. *Functional Ecology, British Eco. Society*, 22(5): 760-772. DOI: 10.1111/j.1365-2435.2008.01467.x.

DCHA. (2016). Gold Standards Second Edition. Performance and production standards for dairy calves and heifers, from birth to freshening. *Dairy Calf and Heifer Association (DCHA)*, 1-20. In line: https://calfandheifer.org/gold-standards/.

DeLaval. (2017). Nuestras soluciones, salas. *DeLaval México*, Dispnible en:https://www.delaval.com/es-es/nuestras-soluciones/ordeno/salas/.

DeShazer, J. A .; Hahn, G. L. and Xin, H. (2009). Chapter 1: Basic Principles of the Thermal Environment and Livestock. En J. A. DeShazer, ed., Livestock

Energetics and Thermal Environment Management, 1–22. St. Joseph, MI: ASABE.

Diario Tijuana Informativo. (Viernes, 22 Julio 2016). Visitó el Delegado de SAGARPA establo lechero en el Valle de Mexicali. *Diario Tijuana Informativo*, Disponible en: http://tijuanainformativo.info/index.php/notcias-policiacas-yseguridsad-de-tijuana-y-baja-california-2/item/43254-visito-el-delegado-desagarpa-establo-lechero-en-el-valle-de-mexicali.

Dikmen, S. and Hansen, P. J. (2009). Is the temperature-humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environmen. *J. Dairy Sci.*, 92: 109–116. DOI: 10.3168/jds.2008-137.

do Amaral, B. C.; Connor, E. E., Tao, S.; Hayen, M. J.; Bubolz, J. W. and Dahl, G. E. (2011). eat stress abatement during the dry period influences metabolic gene expression and improves immune status in the transition period of dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 94: 86–96. DOI: 10.3168/jds.2009-3004.

do Amaral, B. C.; Connor, E. E.; Tao, S.; Hayen, J.; Bubolz, J. and Dahl, G. E. (2009). Heat-stress abatement during the dry period: Does cooling improve transition into lactation? *J. Dairy Sci.*, 92: 5988–5999. DOI: 10.3168/jds.2009-2343.

do Amaral, B. C.; Connor, E. E.;Tao, S.; Hayen, M. J.; Bubolz, J. W. and Dahl, G. E. . (2010). Heat stress abatement during the dry period influences prolactin signaling in lymphocytes. *Domest. Anim. Endocrinol.*, 38 (1): 38-45. DOI: 10.1016/j.domaniend.2009.07.005.

Dussert, L. and Piron, A. (2012). Live yeast could help reduce the impact of heat stress on dairy production. *Engormix*, https://en.engormix.com/dairy-cattle/articles/live-yeast-dairy-production-t35335.htm.

Elizondo-Salazar, J. A. (2015). Concentración de inmunoglobulinas totales en calostros de vacas en explotaciones lecheras de Costa Rica. *Agron. Mesoam.*, 26(1): 27-32. DOI: 10.15517/am.v26i1.16890.

Fabris, T. F.; Laporta, J.; Skibiel, A. L.; Corra, F. N.; Senn, B. D.; Wohlgemuth, S. E. and Dahl, G. E. (2019). Effect of heat stress during early, late, and entire dry period on dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, 102: 5647–5656. DOI: 10.3168/jds.2018-15.

Fahey, M. J.; Fischer, A. J.; Steele, M. A. and Greenwood, S. L. (2020). Characterization of tColostrum and transition milk proteomes from primiparous and multiparous Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 103: 1993–2005. DOI: 10.3168/jds.2019-17094.

FAO. (2016). El estado mundial de la agricultura y la alimentación, cambio climático, agricultura y seguridad alimentaria. *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)*, 89-116. Disponible en http://www.fao.org/3/a-i6030s.

FAO. (2017). El futuro de la alimentación y la agricultura tendencias alimentación y desafíos. *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)*, 14-46. Disponible en: http://www.fao.org/3/a-i6881s.pdf.

Ferreira, F.; Campos, W. E.; Carvalho, A. U.; Pires, M. F.A., Martinez, M. L., Silva, M. V.G.B., Verneque, R. S. and Silva, P. F. (2009). Taxa de sudação e parâmetros histológicos de bovinos submetidos ao estresse calórico. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, 61(4): 763-768. DOI: 10.1590/S0102-09352009000400001.

Fielder, S. E. (2016). Hematologic Reference Ranges. *The Merck Veterinary Manual 11° Edition 2016*, On line: https://www.merckvetmanual.com/special-subjects/reference-guides/hematologic-reference-ranges.

Gantner, V.; Bobić, T.; Gregić, M.; Gantner, R.; Kuterovac, K. and Potočnik, K. (2017). The differences in heat stress resistance due to dairy cattle breed. *Mljekarstvo*, 67(2): 112-122. DOI: 10.15567/mljekarstvo.2017.0203.

Gantner, V.; Kuterovac, K. and Potočnik, K. (2016). Effect of Heat Stress on Metabolic Disorders Prevalence Risk and Milk Production in Holstein Cows in Croatia. *Ann. Anim. Sci.*, 16(2): 451-461. DOI: 10.1515/aoas-2015-0097.

García, E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 5° Edición México, D. F. *Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México*.

García, H. A.M. y Jarque, R. I. (2017). Capítulo 10. Leucocitos. Patología de los granulocitos. *Agranulocitosis. En J. J. Moraleda, Pregrado de Hematología 4.ª edición 2017 (págs. 205-226). Madrid, España: Sociedad Española de Hematología y Hematoterapia*.

García, I. C. y Moraleda, J. J.M. (2017). Capítulo 1, Hematopoyesis. Hematíes: estructura y función. En J. J. Moraleda, Pregrado de Hematología 4.ª edición 2017 (págs. 15-33). *Madrid, España: Sociedad Española de Hematología y Hematoterapia*.

Gaughan, J. B.; Hahn, G. L. Eigenberg, R. and Mader, T. . (2000). Respiration Rate- Is It a Good Measure of Heat Stress in Cattle Eigenberg School of Animal Studies. *The University of Queensland, Gatton, Qld. Asian-Aust. J. Dairy Sci.*, 13: 329–332 .

Gobierno de Baja California. (2015). Actividad Económica. Principales sectores, productos y servicios. *Portal Gobierno de Baja California*, Disponible en: http://www.bajacalifornia.gob.mx/portal/nuestro_estado/municipios/mexicali/sectorprod.jsp.

Godden, S. (2008). Colostrum management for dairy calves. *The Veterinary clinics of North America. Food animal practice*, 24(1): 19–39. DOI: 10.1016/j.cvfa.2007.10.005.

González, V. A.E. (2017). CAPÍTULO 9: Sangre en Histología y Biología Celular 3° edición en línea. *Editorial McGraw-Hill, Fortoul van der Goes Teresa I,*

Ciudad de México, Disponible en: https://accessmedicina.mhmedical.com/book.aspx?bookid=1995.

Gross, J. J.; Kessler, E. C. and Bruckmaier, R. M. (2017). Quarter vs. composite colostrum composition assessed by Brix refractometry, specific gravity and visual color appearance in primiparous and multiparous dairy cows. *Transl. Anim. Sci.*, 1: 26–35. DOI: 10.2527/tas2016.0001.

Guyton, A. and Hall, J. E. (2011). Textbook of Medical Physiology 12th ed. Laura. *Department of Physiology and Biophysics, Associate Vice Chancellor for Research, University of Mississippi Medical Center, Jackson, Mississippi*.

Habeeb, A. A.M.; Gad, A. E.; EL-Tarabany, A.A. and Atta, M. A.A. (2018). Negative Effects of Heat Stress on Growth and Milk Production of Farm Animals. *J. Anim. Husbandry Dairy Sci.*, 2(1): 1-12.

Hansen, P. J.; Dikmen, S.; Sakatani, M. and Dahl, G. E. (2019). Cooling strategies during heat stress. *Article extension org, University of Florida*, In line: http://articles.extension.org/pages/63354/cooling-strategies-during-heat-stress.

Heins, B. J.; Hansen, L. B.; Hazel, A. R.; Seykora, A. J.; Johnson, D. G. and J. G. Linn. (2010). Birth traits of pure Holstein calves versus Montbeliarde-sired crossbred calves. *J. Dairy Sci.*, 93: 2293–2299. DOI: 10.3168/jds.2009-2911.

Herbut, P. and Angrecka, S. (2018). Relationship between THI level and dairy cows' behaviour during summer period. *Italian J. Anim. Sci.*, 17(1): 226-233. DOI: 10.1080/1828051X.2017.1333892.

Hernández-Rivera, J.A., Álvarez-Valenzuela, F.D.; Correa-Calderón, A.; Macías-Cruz, U.; Fadel, J.G.; Robinson, P. H. and Avendaño-Reyes, L. (2011). Effect of short-term cooling on physiological and productive responses of primiparous Holstein cows exposed to elevated ambient temperatures. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A J. Animal Sci.*, 61(1): 34-39. DOI: 10.1080/09064702.2011.558910.

Hill, W. R.; Wyse, A. G. and Anderson, M. (2006). Capitio 8 Relaciones térmicas. Fisiología animal. *Editorial Médica Panamericana*, 221-280.

Jackson, P. G.G. and Cockcroft, P. D. (2002). Clinical Examination of Farm Animals. *First published 2002 by Blackwell Science Ltd Malden, USA*, 1-306.

Jeffcott, L. B. (1972). Passive immunity and its transfer with special reference to the horse. *Biological Reviews, Cambridge*, 47: 439-464. DOI: 10.1111/j.1469-185X.1972.tb01078.x.

Johnson, H. D. (1965). Environmental temperature and lactation (with special reference to cattle). *J. Biometeorol*, 9 (2): 103-116.

Johnson, H. D. (1980). Environmental management of cattle to minimize the stress of climatic change. *Int. J. Biometeorol.*, 24: 65-78.

Johnson, J. S. (2014). "Heat stress alters animal physiology and post-absorptive metabolism during pre- and postnatal development" 2014. *Graduate Theses and Dissertations 13982*, DOI: 10.31274/etd-180810-3204.

Jonsson, N. N.; Fortes, M. R.S.; Piper, E. K.; Vankan, D. M.; Prada, J. J.C. and T. Wittek. (2013). Comparison of metabolic, hematological, and peripheral blood leukocyte cytokine profiles of dairy cows and heifers during the periparturient period. *J. Dairy Sci.*, 96: 2283–2292. DOI: 10.3168/jds.2012-6173.

Kadzere, C. T.; Murphy, M. R.; Silanikove, N. and Maltz, E. (2002). Heat stress in lactating dairy cows: A review. *Livest. Prod. Sci.*, 77: 59–91. DOI: 10.1016/S0301-6226(01)00330-X.

Kahn, C. M. (2007). Sistema Hematopoyético, Manual Merck de Veterinaria, 6ª edición en Español. *Editorial Océano/cemtrum, Barcelona España*, 4-8.

Karimi, M. T.; Ghorbani, G. R.; Kargar, S. and Drackley, J. K. (2015). Late-gestation heat stress abatement on performance and behavior of Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 98(10): 6865-6875. DOI: 10.3168/jds.2014-9281.

Kertz, A. F. (may 19 2013). Heat stress shortchanges heifers. *Digital Journal Hoard's Dairyman, dairy calf & heife. At the july 2012 Joint Annual Animal and Dairy Science meetings held in Phoenix, Ariz., it was hot. A rather fitting symposium coincided with the temperature. The topic: Heat stress*, In: https://hoards.com/article-8965-heat-stress-shortchanges-heifers.html.

Kubkomawa, I. H.; Ogundu, M. A.; Okoli, I. C. and Udedibie, A. B.I. (2016). Seasonal haematological characterization of pastoral cattle in the Guinea Savannah zone of North-Eastern Nigeria. *Glob. J. Anim. Sci. Livest. Prod. Anim. Breed.*, 4(4): 274-290. http://www.globalscienceresearchjournals.org/.

Lenis, S. Y.; Zuluaga, C. A.M. and Tarazona, M. A.M. (2016). Adaptive Responses to Thermal Stress in Mammals. *Rev. Med. Vet.*, 31: 121-135.

Luchterhand, K. M.; Silva, P. R.B.; Chebel, R. C. and Endres, M. I. (2016). Association between prepartum feeding behavior and periparturient health disorders in dairy cows. *Front. Vet. Sci.*, 3(65) 1-8. DOI: 10.3389/fvets.2016.00065.

Marcillac, E. N.M.; Robinson, P. H.; Fadel, J. G. and Mitloehner, F. M. (2009). Effects of shade and sprinklers on performance, behavior, physiology, and the environment of heifers. *J. Dairy Sci.*, 92: 506–517. DOI: 10.3168/jds.2008-1012.

Masía, F. M.; Lyons, N. A.; Piccardi, N.; Balzarini, M.; Hovey, R. C. and Garcia, S. C. (2020). Modeling variability of the lactation curves of cows in automated milking systems. *J. Dairy Sci.*, 103(9). DOI: 10.3168/jds.2019-17962.

Mejía L. A.; Avendaño R. L.; Avilés N. F.; Macías C. U.; Correa C. A.; Rojo R. R.; Hernández R. J.A. y Aguilar Q. A. (2017). Crecimiento de terneros Holstein y Jersey en verano en el Valle de Mexicali, Baja California. *Memoria XXVII Reunión Internacional sobre Producción de Carne y Leche en Climas Cálidos, 5 y 6 de octubre de 2017, Mexicali, B.C.*, 360-364. Disponible en: http://ica.mxl.uabc.mx/congresos_/reunion_cyl/xxxvii_reunion/MEMORIA-2017- FINAL.pdf.

Moeller, B. R. (2015). Estrés por calor en vacuno. *Entorno Ganadero 52, BM Editores, California Animal Health and Food*, Disponible en: http://www.produccion-animal.com.ar/clima_y_ambientacion/94-Estres_por_calor.pdf.

Montaño, M. I.E.; Avendaño, R. B.D.; Acosta, M. A.I. y Mesías, D. F.J. (2013). Preferencias de leche fresca de bovino del consumidor de Baja California, México. *Rev.Mex. Cienc. Pecu.*, 4(1): 47-60.

Monteiro, A. P.A.; Tao, S.; Thompson, I. M. and Dahl, G. E. (2014). Effect of heat stress during late gestation on immune function and growth performance of calves: Isolation of altered colostral and calf factors. *J. Dairy Sci.*, 97:1–14. DOI: 10.3168/jds.2013-7891.

Monteiro, A. P.A.; Tao, S.; Thompson, I. M.T. and G. E. Dahl. (2016). In utero heat stress decreases calf survival and performance through the first lactation. *J. Dairy Sci.*, 99: 8443–8450. DOI: 10.3168/jds.2016-11072.

Moretti, R. B. (2017). Heat stress effects on Holstein dairy cows rumination. *Animal*, 11(12): 2320-2325. DOI: 10.1017/S1751731117001173.

Mueller, F. J.; Miller, J. K.; Campbell, M. H. and F. C. Madsen. (2019). Prevention of Udder Edema in Dairy Cows. *Dairexnet, Dairy-Cattle, August 16*, In line: https://dairy-cattle.extension.org/prevention-of-udder-edema-in-dairy-cows/.

Muñoz, G.; Rondelli, F.; Maiztegui, L.; Gherardi, S.; Tolini, F.; Amelong, J.; Fernández, G. y Coronel, A. (2014). Efectos de la ola de calor sobre la vaca Holando argentina en el Módulo Tambo de la Facultad de Ciencias Agrarias, UNR. *Rev. Cienc. Vet.*, 6(1): 113-127. DOI: 10.19137/cienvet20141619.

Nardone, A.; Lacetera, N.; Bernabucci, U. and B. Ronchi . (1997). Composition of colostrum from dairy heifers exposed to high air temperatures during late pregnancy and the early postpartum period. *J. Dairy Sci.*, 80: 838–844.

Nardone, A.; Lacetera, N.; Bernabucci, U. and Ronchi, B. (1997). Composition of colostrum from dairy heifers exposed to high air temperatures during late

pregnancy and the early postpartum period. *J. Dairy Sci.*, 80: 838–844. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(97)76005-3.

Nardone, A.; Ronchi, B.; Lacetera, N.; Ranieri, M. S. and Bernabucci, U. (2010). Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. *Livest. Sci.*, 130: 57–69. DOI: 10.1016/j.livsci.2010.02.011.

Neave, H. W.; Lomb, J.; von Keyserlingk, M. A.G. Behnam-Shabahang, A. and Weary, D.M. (2017). Parity differences in the behavior of transition dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 100: 548–561. DOI: 10.3168/jds.2016-10987.

Nordlund, K. V.; Strassburg, P. ; Bennett, T. B.; Oetzel, G. R. and Cook, N. B. (2019). Thermodynamics of standing and lying behavior in lactating dairy cows in freestall and parlor holding pens during conditions of heat stress. *J. Dairy Sci.*, 102. DOI: 10.3168/jds.2018-15891.

OIE. (2019a). Bienestar animal, Definición de bienestar animal de la OIE. *Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE)*, Disponible en: https://www.oie.int/es/bienestar-animal/el-bienestar-animal-de-un-vistazo/.

OIE. (2019b). Código Sanitario para los Animales Terrestres, 28 edición. *Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE)*, Disponible en: https://www.oie.int/index.php?id=169&L=2&htmfile=sommaire.htm.

Paudel, T. P.; Acharya, B. R.; Karki, D. B. and Shrestha, B. S. (2018). Effect of heat stress on crossbred dairy cattle in tropical Nepal: Impact on blood parameters. *J. Agriculture and Natural Resources*, 1(1): 223-230. DOI: 10.3126/janr.v1i1.22237.

PEACC-BC. (2012). Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático de Baja California (PEACC-BC). *Secretaría de Protección al Ambiente (SPA), Universidad Autónoma de Baja California (UABC), el Colegio de la Frontera Norte (COLEF) y el Centro de Iinvestigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE)*, 126-131. Disponible en:

http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/CD001769.pdf.

Pérez, E. H. (2013). Libro Fisiología animal II. *Universidad Nacional Agraria, Centro Nacional de Información y Documentación Agropecuaria, Managua, Nicaragua, 2013*, 1-243. Disponible en: http://repositorio.una.edu.ni/2476/1/nl50p438f.pdf.

Pinto, S.; Hoffmann, G.; Ammon, C.; Amon, B.; Heuwieser, W.; Halachmi, I.; Banhazi, T. and Amon, T. (2019). Influence of Barn Climate, Body Postures and Milk Yield on the Respiration Rate of Dairy Cows. *Ann. Anim. Sci.*, 19(2): 469-481. DOI: 10.2478/aoas-2019-0006.

Playford, J. R.; Macdonald, E. C. and Johnson, S. W. (2000). Colostrum and milk derived peptide growth factors the treatmen of gastrointestinal disoders. *Am Journal Clinical Nutrition*, 72: 5-13. DOI: 10.1093/ajcn/72.1.5.

Polsky, L. and Von Keyserlingk, M. A.G. (2017). Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare. *J. Dairy Sci.*, 100: 8645–8657. DOI: 10.3168/jds.2017-12651.

Press, J. (18 de mayo 2018). La Rumia: Herramienta Poderosa de Monitoreo de la Salud y el Celo. *SCR Engineers. Israel. BM Editores*, Disponible en: https://bmeditores.mx/ganaderia/la-rumia-herramienta-poderosa-de-monitoreo-de-la-salud-y-el-celo-1355.

Quiroz-Rocha, G.F.; LeBlanc, S. J.; Duffield, T. F.; Wood, D.; Leslie, K. E. and Jacobs, R. M. (2009). Reference limits for biochemical and hematological analytes of dairy cows one week before and one week after parturition. *Can. Vet. J.*, 50: 383–388.

Radostitis, O. M.; Gay, C.C.; Blood, D. C. y Hinchcliff, K. W. (2002). Medicina Veterinaria. Tratado de ·las enfermedades del ganado bovino, ovino, porcino, caprino y equino. 9a Ed. Mc. Graw Vol. II. Hill. *Madrid, España*.

RAE. (2014). Diccionario Real Academia Española (RAE) 23ª edición 2014. Disponible en: https://www.rae.es/.

Rana, M. S.; Hashem, M. A.; Sakib, M. N. and Kumar, A. (2014). Effect of heat stress on blood parameters in indigenous sheep. *J. Bangladesh Agril. Univ.*, 2(1): 91–94. DOI: 10.3329/jbau.v12i1.21253.

Ravagnolo, O.; Misztal, I. and Hoogenboom, G. (2000). Genetic Component of Heat Stress in Dairy Cattle, Development of Heat Index Function. *J. Dairy Sci.*, 83: 2120–2125. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(00)75094-6.

Renaudeau, D.; Collin, A.; Yahav, S.; De Basilio, V.; Gourdine, J. and Collier. (2010). Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. *Animal*, 6: 707–728. DOI: 10.1017/S1751731111002448.

Ribeiro, M. N.; Ribeiro, N. L.; Bozzi, R. and Costa, R. G. (2018). Physiological and biochemical blood variables of goats subjected to heat stress – a review. *Journal of Applied Animal Research*, 46(1): 1036-1041. DOI: 10.1080/09712119.2018.1456439.

Robinson, N. E. (2014). Sección IX: Homeostasis. Fisiología Veterinaria 5º Edición. Cunningham, J. G y Klein, B. G. Barcelona. Editorial Elsevier. 2014., 559-568.

Roca, C. A.J. (2011). Efecto del estrés calórico en el bienestar animal, una revisión en tiempo de cambio climatico. *ESPAMCIENCIA*, 2(1): 15-23.

Roland, L.; Drillich, M.; Klein-Jöbstl, D. and Iwersen M. (2016). Invited review: Influence of climatic conditions on the development, performance, and health of calves. *J. Dairy Sci.*, 99:1–15. DOI: 10.3168/jds.2015-9901.

Safa, S.; Kargar, S.; Moghaddam, G. A.; Ciliberti, M. and Caroprese, M. (2018). Heat stress abatement during the postpartum period: Effects on whole lactation milk yield, indicators of metabolic status, inflammatory cytokines, and biomarkers and biomarkers of the oxidative stress. *J. Anim. Sci.*, 97(1): 122–132. DOI: 10.1093/jas/sky408.

SAGARPA. (2010). Situación Actual y Perspectiva de la Producción de Leche de Bovino en México. *Claridades Agropecuarias. Secretaría de Agricultura,*

Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), No. 2007, 34-43.

Sánchez-Castro, M. A.; Correa-Calderón, A.; Álvarez-Valenzuela, A. F.D; Macías-Cruz, U.; Anzures-Olvera, F.; Zamorano-Algándar, R.; Vicente-Pérez, R.; Mejía-Vázquez, A.; Román, J.C. y Avendaño-Reyes L. (Mazatlán, Sinaloa). Efectos de número de partos y época del año (verano vs invierno) en la calidad del calostro de vacas Holstein en una zona árida . *XXIV Reunión internacional sobre producción de carne y leche en climas cálidos*, 24: 621-628. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/280533491.

SAS. (2014). System, S. S. SAS/StAt User´s Guide. Version 8.2. SAS institute inc, Cary NC, USA.

Scandolo, L. D.E. y Maciel, M. G. (2017). Concentración de sólidos totales en calostro de vacas Holstein según el número de parto. *E. E. A. Rafaela Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Argentina*, Disponible en linea: https://inta.gob.ar/documentos/concentracion-de-solidos-totales-en-calostro-de-vacas-holstein-segun-el-numero-de-parto.

SE. (2012). Análisis del Sector Lácteo en México. *Dirección General de Industrias Básicas, Secretaría de Economía (SE)*, 1-29.

Sejian, V.; Bhatta, R.; Gaughan, J. B.; Dunshea, F. R. and Lacetera, N. (2018). Review: Adaptation of animals to heat stress. *Animal*, S431- S444. DOI: 10.1017/S1751731118001945.

Servicio Meteorológico Nacional (SMN). (2010). Normales Climatológicas por Estado. *Infromación climatológica. Servicio Meteorológico Nacional (SMN) Mexicali*, En línea: https://smn.conagua.gob.mx/tools/RESOURCES/Normales5110/NORMAL02034.TXT.

Shalit, U.; Male, E.; Silanikove, N. and Berman, A. (1991). Water, Sodium, Potassium, and Chlorine Metabolism of Dairy Cows at the Onset of Lactation in Hot Weather. *J. Dairy Sci.*, 74: 1874-1883.

Shearer, J. K. (2004). Heat Stress in Dairy Cattle. *In Bovine Medicine Diseases and Husbandry of Cattle Second edition. Andrews, A. H.; Blowey, R. W.; Boyd, H.; Eddy, R. G. Blackwell Science Ltd Carlton, Australia.*

Silanikove, N.; Maltz, E.; Halevi, A. and Shinder, D. (1997). Metabolism of water, sodium, potassium, and chlorine by high yielding dairy cows at the onset of lactation. *J. Dairy Sci.*, 80: 949-956. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(97)76019-3.

Skibiel, A. L.; Zachut, M.; do Amaral, B. C.; Levin, Y. and Dahl, G. E. (2018). Liver proteomic analysis of postpartum Holstein cows exposed to heat stress or cooling conditions during the dry period. *J. Dairy Sci.*, 101: 705–716. DOI: 10.3168/jds.201.

Soriani, N.; Panella, G. and Calamari, L. (2013). Rumination time during the summer season and its relationships with metabolic conditions and milk production. *J. Dairy Sci.*, 96(8): 5082–5094. DOI: 10.3168/jds.2013-6620.

Stephenson, R. B. (2014). Sección III: Fisiología cardiovascular. Fisiología Veterinaria 5º Edición. Cunningham, J. G y Klein, B. G. Barcelona. Editorial Elsevier, 158-260.

Stone, A. E.; Jones, B. W. and Becker, C. A. (2017). Influence of breed, milk yield, and temperature-humidity index on dairy cow lying time, neck activity, reticulorumen temperature, and rumination behavior. *J. Dairy Sci.*, 100 (3): 2016-11607. DOI: 10.3168/jds.2016-11607.

Stott, G. H.; Marx, D. B.; Menefee, B. E. and Nigthtengale, G. T. (1976). Calostral inmunoglobulin transfer in cal III. Amount of absortion. *J. Dairy Sci.*, 1902-1913.

Tao, S. and Dahl, G. E. (2013). Invited review: Heat stress impacts during the dry period on dry cows and their calves. *J. Dairy Sci.*, 96: 4079-4093. DOI: 10.3168/jds.2012-6278.

Tao, S.; Bubolz, J. W.; do Amaral, B. C.; Thompson, I. M.; Hayen, M. J.; Johnson, S. E. and Dahl, G. E. (2011). Effect of heat stress during the dry period on

mammary gland development. *J. Dairy Sci.*, 4: 5976-5986. DOI: 10.3168/jds.2011-4329.

Tao, S.; Dahl, G. E.; Laporta, J.; Bernard, J. K.; Orellana, R. R.M. and Marins, T. N. (2019). PHYSIOLOGY SYMPOSIUM: Effects of heat stress during late gestation on the dam and its calf. *J. Anim. Sci.*, 97(5): 2245-2257. DOI: 10.1093/jas/skz061.

Tao, S.; Monteiro, A. P.A.; Thompson, I. M; Hayen, M. J. and G. E. Dahl. (2012). Effect of late-gestation maternal heat stress on growth and immune function of dairy calves. *J. Dairy Sci.*, 95: 7128–7136. DOI: 10.3168/jds.2012-5697.

Tao, S.; Monteiro, A. P.A.; Weng, X-S.; Lapota, J. and Dahl, G. E. (2016). Managing heat stress in transition cows and calves. *Virginia State Feed Association & Nutritional Management "Cow" College*, 1-8.

Taverna, M.; Ghiano, J.; Gastaldi, L.y Walter, E. (2014). Estrés calórico. Enfriamiento de vacas mediante la combinación de mojado y ventilación forzada. *INTA – EEA Rafaela*, 1-10. Disponible en: http://nutriciondebovinos.com.ar/MD_upload/nutriciondebovinos_com_ar/Archivos/ESTRES_CAL%C3%93RICO__Enfriamiento_de_vacas_lechera_mediante_la_aspersi%C3%B3n.pdf.

Thompson, I. M.; Tao, S.; Monteiro, A. P.; Jeong, K. C. and Dahl, G. E. (2014). Effect of cooling during the dry period on immune response after Streptococcus uberis intramammary infection challenge of dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 97 (12): 7426-7436. DOI: 10.3168/jds.2013-7621.

Tolini, F.; Fernández, G.; Mayer, N.; Maiztegui, L.; Muñoz, G.; Pagni, C. y Rodriguez, N. (2017). Influencia del estrés calórico sobre los glóbulos blancos en vacas Holando Argentino. Influence of heat stress on white blood cells in Holando Argentino cows. *Rev. Agron. Noroeste Argent.*, 37(1): 67-75. .

Tresoldi, G.; Schütz, K. and Tucker, C. (2017). Cow cooling on commercial drylot dairies: A description of 10 farms in California. *California Agriculture*, 71(4): 249-255. DOI: 10.3733/ca.2017a0042.

Tresoldi, G.; Schütz, K. E. and Tucker, B. C. (2016). Assessing heat load in drylot dairy cattle: Refining on-farm sampling methodology. *J. Dairy Sci.*, 99: 8970-80. DOI: 10.3168/jds.2016-11353.

Vallejo-Timarán, D.; Montoya-Zuluaga, J.; Castillo-Vanegas, V. and Maldonado-Estrada, J. (2020). Parity and season affect hematological, biochemical, and milk parameters during the early postpartum period in grazing dairy cows from high-tropics herds. *Heliyon*, 6(5): 1-8. DOI: 10.1016/j.heliyon.2020.e04049.

Vallone, R.; Camiletti, E.; Exner, M.; Mancuso, W. y Marini, P. (2014). Análisis productivo y reproductivo de vacas lecheras Holstein, Pardo Suizo y sus cruzas en un sistema a pastoreo. *Rev. vet.*, 25(1): 40-44. DOI: 10.30972/vet.251547.

Verlander, J. W. (2014). Sección VII: Fisiología renal. Fisiología Veterinaria 5º Edición. Cunningham, J. G y Klein, B. G. Barcelona. Editorial Elsevie, 460-493.

Vijayakumar, M. J.H.; Park, K. S.Ki.; Lim, D. H.; Kim, S. B.; Park, S. M. Jeong, H. Y.; Park, B. Y. and T. Kim. (2017). The effect of lactation number, stage, length, and milking frequency on milk yield in Korean Holstein dairy cows using automatic milking system. *Asian-Australas J. Anim. Sci.*, 30: 1093–1098. DOI: 10.5713/ajas.16.0882.

Villettaz, R. M.; Pearl, D. L.; Godden, S. M.; Rushen, J. LeBlanc, S. J. and D. B. Haley. (2017). Systematic early obstetrical assistance at calving: II. Effects on dairy heifer calf growth, health, and survival to weaning. *J. Dairy Sci.*, 100: 703–712. DOI: 10.3168/jds.2016-11214.

Wathes, D. C.; Cheng, Z.; Bourne, N.; Taylo, V.J.; Coffey, M. P. and S. Brotherstone. (2007). Differences between primiparous and multiparous

dairy cows in the inter-relationships between metabolic traits, milk yield and body condition score in the periparturient period. *Domest. Anim. Endocrinol.*, 33: 203–225. DOI: 10.1016/j.domaniend.2006.05.004.

West, J. C. (2003). Effects of heat stress on production in dairy cattle. *J. Dairy SCI.*, 86: 2131–2144.

Wiersma, F. (1990). THI for dairy cows. Department of Agricultural Engineer. The University of Arizona. Tucson, Az.

Zamorano, A.R.; Sánchez, C. M.A.; Leyva, C. J.C.; Luna, N.P. (2018). Componentes de la curva de lactancia en ganado Holstein con diferente número de partos y escenarios térmicos. *Memorias del XLII Congreso Nacional de Buiatría Chihuahua, Chihuahua*, 478-482. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/326928734.

Zimbelman, R. B.; Rhoads, R. P.; Rhoads, M. L. and Duff, G. C. (2009). A Re-Evaluation of the impact of temperature humidity index (THI) and black globe temperature humidity index (BGHI) on milk production in high Producing Dairy Cows. *Proc. 24th Southwest Nutrition and Management Conference, Tempe, AZ*, 158-168.