

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



FACTORES DE RIESGO CLIMÁTICO Y A NIVEL DE TERNERO  
RELACIONADOS CON LA FALLA EN LA TRANSFERENCIA DE INMUNIDAD  
PASIVA EN BECERROS HOLSTEIN EN UN AMBIENTE CÁLIDO

Tesis

Que presenta NELLY ARROYO FRANCO

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

Torreón, Coahuila

Diciembre de 2024

FACTORES DE RIESGO CLIMÁTICOS Y A NIVEL DE TERNERO  
RELACIONADOS CON LA FALLA EN LA TRANSFERENCIA DE INMUNIDAD  
PASIVA EN BECERROS HOLSTEIN EN UN AMBIENTE CÁLIDO

Tesis

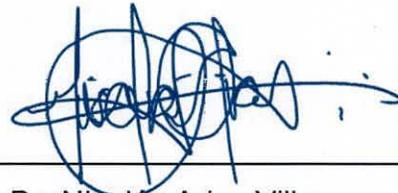
Elaborada por NELLY ARROYO FRANCO como requisito parcial para obtener  
el grado de Maestro en Ciencias en Producción Agropecuaria con la supervisión  
y aprobación del Comité de Asesoría



Dr. Miguel Ángel Mellado Bosque  
Director de Tesis



Dr. José Eduardo García Martínez  
Asesor



Dr. Nicolás Arias Villegas  
Asesor



Dra. Dalia Ivette Carrillo Moreno  
Jefe del Departamento de Postgrado



Dr. Antonio Flores Naveda  
Subdirector de Postgrado

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco ante todo a DIOS por su amor, su bondad y bendecirme siempre en el camino.

Gracias al departamento de postgrado de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, a todo el personal docente y administrativo por el apoyo recibido y sus enseñanzas.

A CONAHCYT por el apoyo económico para solventar nuestros estudios.

A mis asesores Miguel Ángel Mellado Bosque, José Eduardo García Martínez y Nicolás Arias Villegas por su apoyo incondicional y sobre todo sus valiosas enseñanzas hacia mi persona.

Gracias a mis compañeras, sin ellas nada de esto hubiera sido igual. Laura Gabriela, Laurita, Nitzia y Magui.

A los establos que formaron parte de mi crecimiento y aprendizaje durante este proceso: PP La victoria de la familia García Lesprón y el Ingeniero Sergio Reyes, establo El Rosario del grupo Tricio y Pedro Fernández López por facilitarnos datos importantes para este estudio.

## **DEDICATORIA**

A mis padres

JOSÉ ANTONIO ARROYO CASAS

SANJUANA FRANCO MUÑOZ

Por su apoyo y amor incondicional. Ustedes son mis pilares e inspiración para crecer día a día y superarme. Los amo.

A mis hermanos

ANA LUISA ARROYO FRANCO

JOSÉ ANTONIO ARROYO FRANCO

Por siempre estar, por ser inspiración y ejemplo de fortaleza y amor para mí.

A mis sobrinos, cuñada y cuñado, todos tienen un lugar especial en mi corazón y forman parte importante en mi crecimiento personal y profesional.

Les dedico este logro y les agradezco familia, son mi mayor tesoro.

Nunca caminé ni caminaré sola porque ustedes están conmigo.

¡Gracias!

## ÍNDICE GENERAL

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1 HIPÓTESIS.....	2
1.2 OBJETIVOS.....	3
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	4
2.1 Importancia de la producción de leche .....	4
2.2 Importancia del calostro.....	4
2.2.1 Componentes del calostro.....	5
2.2.2 Calidad del calostro.....	6
2.3 Absorción de inmunidad pasiva .....	7
2.3.1 Inmunoglobulinas .....	7
2.3.2 Permeabilidad intestinal .....	8
2.4 Indicadores de producción.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
2.4.1 Morbilidad.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
2.4.2 Mortandad .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
2.5 Estrés calórico .....	10
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	12
3.1 Inscripción y muestreo de becerras .....	12
3.2 Evaluación de la inmunidad pasiva.....	13
3.3 Datos climáticos.....	14
3.4 Análisis estadístico .....	14
<b>4. RESULTADOS</b> .....	16
<b>5. DISCUSIÓN</b> .....	21
<b>6. CONCLUSIÓN</b> .....	25
<b>7. REFERENCIAS</b> .....	26

## ÍNDICE DE CUADRO

Cuadro 1. Impacto del género, parto gemelar, parto distócico y duración de la gestación en el logro de una lectura del refractómetro BRIX $\geq 8$ (IgG sérica $\geq 10$ g/L) 24 h después del nacimiento. ....	17
Cuadro 2. Efecto del nivel de ternero y factores de riesgo climáticos para la aparición de agammaglobulinemia en becerras Holstein en un clima con alta temperatura (lectura del refractómetro BRIX $\leq 6,5$ ; IgG sérica casi 0 g/L) 24 h después del nacimiento. ....	18

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. Histograma de la distribución de las concentraciones séricas de IgG 24 horas después del nacimiento para 6318 becerras Holstein, estimados a partir de %Brix. ....	19
Figura 3. Asociación entre el índice de temperatura-humedad y el porcentaje de agammaglobulinemia a las 24 horas del parto en becerras Holstein en un clima con altas temperaturas. Las bandas de color más claro son intervalos de confianza del 95% para los valores estimados. Las bandas de color más intenso son intervalos de confianza (95%) para valores actuales.....	13

## RESÚMEN

Factores de riesgo climático y a nivel de ternero relacionados con la falla en la transferencia de inmunidad pasiva en becerros Holstein en un ambiente cálido

Nelly Arroyo Franco

Para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Producción Agropecuaria

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Director de tesis: Dr. Miguel Ángel Mellado Bosque

El objetivo de este estudio observacional retrospectivo fue determinar el efecto del índice de temperatura-humedad (ITH) al parto y en el último trimestre de gestación y los factores relacionados con el nacimiento que afectan el éxito de la transferencia pasiva de inmunoglobulinas maternas y la aparición de agammaglobulinemia utilizando refractometría Brix en becerras Holstein. Se utilizaron muestras de sangre de 4411 becerras Holstein de una sola granja lechera en la primavera de 2022. Se utilizó un subconjunto de datos que contenía 6318 partos para establecer el efecto de las condiciones ambientales en la aparición de agammaglobulinemia. Los factores de riesgo predictivos del fracaso de la transferencia pasiva (FTP) se calcularon utilizando modelos logísticos múltiples. Las hembras tuvieron 1.4 veces más probabilidades de no tener FTP (56%; Brix% > 8 equivalente a  $\geq 10$  g/L de IgG) que los machos (47.2%). Las becerras nacidas solas aumentaron la probabilidad de no presentar FPT (52.6%) que las becerras de partos gemelares (42.9%). Las becerras de vacas sin parto distócico tuvieron un menor riesgo de FTP (oportunidad relativa = 2.3) que las becerras de vacas con distocia. La agammaglobulinemia fue 1.5 y 1.8 veces más probable en becerras con THI  $\geq 80$  y  $\geq 82$  en el último trimestre de gestación y al parto, respectivamente, que en becerras que no experimentaron estrés calórico. La agammaglobulinemia fue dos veces más probable de ocurrir en becerros machos que en hembras.

**Palabras clave:** *Agammaglobulinemia, Inmunoglobulinas, Distocia, Duración de la gestación, Estrés calórico.*

## ABSTRACT

Climatic and calf-related risk factors associated with failure of transfer of passive immunity in Holstein calves in a hot environment

Nelly Arroyo Franco

To obtain the degree of Maestro en Ciencias en Producción Agropecuaria  
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Thesis director: Dr. Miguel Ángel Mellado Bosque

The aim of this retrospective observational study was to determine the effect of temperature-humidity index (THI) at parturition and at the end of pregnancy and calve-related factors affecting the achievement of passive transfer of maternal immunoglobulin and the incidence of agammaglobulinemia using Brix refractometry in Holstein calves. Blood samples from 4411 Holstein calves from a large dairy operation in spring 2022 were used. A subset of data comprising 6318 calvings were used to assess the impact of weather conditions on the incidence of agammaglobulinemia. Risk factors prognostic of failure of passive transfer (FPT) were calculated using multiple logistic models. Females were 1.4 times more probable not to have FPT (56%; Brix% > 8 equivalent to  $\geq 10$  g/L IgG) than male calves (47.2%). Calves born as singles augmented the probability of not presenting FPT (52.6%) than calves delivered as twins (42.9%). Calves from cows with eutocyc delivery had a lower risk for FPT (odds ratio = 2.3) than calves from cows suffering dystocia. Agammaglobulinemia was 1.5 and 1.8 times more likely to happen in calves with  $\text{THI} \geq 80$  and  $\geq 82$  in late pregnancy and at calving, respectively, than in calves not suffering thermal stress. Agammaglobulinemia was twice as likely in male than in female calves. Calves with birth weight greater than 37 kg and gestation length greater than 275 kg were less likely to have agammaglobulinemia than calves with lower weight and calves with shorter pregnancy periods.

**Keywords:** *Agammaglobulinemia, immunoglobulins, dystocia, gestation length, heat stress*

## 1. INTRODUCCIÓN

Poco después del nacimiento, los becerros absorben inmunoglobulinas del calostro ingerido a través de sus células de absorción intestinal, pero el cese de la permeabilidad del intestino a las inmunoglobulinas se aumenta espontáneamente cuando la edad del ternero rebasa las 12 horas (Osaka *et al.*, 2014). La ingestión y absorción inadecuadas de calostro dan como resultado la falla de la transferencia pasiva (FTP; Beam *et al.*, 2009). La FTP afecta negativamente las tasas de crecimiento de las becerras (Atkinson *et al.*, 2017) y la producción futura de leche (Armengol y Fraile 2020), pero desafortunadamente, la FTP es común en la mayoría de los sistemas lecheros (Cuttance *et al.*, 2017).

La transmisión de inmunidad pasiva (TIP) es crítica en cualquier programa de salud de becerras (Godden *et al.*, 2019). Los beneficios a corto plazo de la TIP incluyen una disminución del riesgo de enfermedades infecciosas neonatales y mortalidad, así como un mayor crecimiento (Fischer-Tlustos *et al.*, 2021); los beneficios a largo plazo de la TIP incluyen una más producción de leche durante la primera lactancia (Faber *et al.*, 2005). Conseguir una ingestión temprana y completa de calostro de alta calidad constituye un factor de manejo crítico para la supervivencia y salud de las becerras lecheras (Renaud *et al.*, 2018), porque el FTP aumenta la mortalidad y morbilidad antes del destete (Filteau *et al.*, 2003). Por lo tanto, el manejo adecuado del calostro y evitar la FTP es una práctica de manejo crítica de cualquier programa de salud de becerras de lechería (Godden *et al.*, 2019).

La absorción de las inmunoglobulinas G (IgG) del calostro está determinada tanto por la calidad del calostro (López *et al.*, 2023) como por la eficiencia de la absorción (López y Heinrichs 2022). Un factor importante de un programa de monitoreo de becerras es la determinación de la transferencia pasiva exitosa de IgG. Se debe utilizar un método técnicamente simple, práctico y económico en la granja para evaluar la FTP en becerras lecheras, como el refractómetro Brix (Buczinski *et al.*, 2018), que está altamente correlacionado con la IgG sérica (Wilm *et al.*, 2018).

Identificar los factores de riesgo para la FTP en becerras lecheras tiene implicaciones considerables para la industria lechera, sin embargo, hay una falta de datos a gran escala sobre la prevalencia de la FTP en becerras Holstein en granjas lecheras intensivas en ambientes cálidos. También, hay poca información sobre si el estrés térmico materno durante el final de la lactancia tiene un efecto perjudicial sobre la función inmunitaria pasiva de los becerros neonatos. Además, la información sobre los factores de riesgo a nivel de becerras relacionados con la FTP en becerras sometidas a estrés térmico es escasa. Planteamos la hipótesis de que algunos factores relacionados con las becerras y el estrés térmico en el útero comprometen la absorción inmunitaria posnatal en becerras Holstein. Por lo tanto, los objetivos de este estudio fueron: (1) identificar el estrés relacionado con el calor y el estrés en los becerras durante el último trimestre de la preñez como factores de riesgo para FTP, y (2) evaluar la prevalencia y los factores de riesgo relacionados con la ocurrencia de becerros agammaglobulinémicos al día de edad en becerras Holstein en un clima caluroso.

## **1.1 HIPÓTESIS**

El aumento del estrés térmico al parto y durante el último trimestre de gestación aumenta las fallas en la absorción de inmunoglobulinas y la aparición de agammaglobulinemia en becerras Holstein en un ambiente cálido.

Las fallas en la absorción de inmunoglobulinas y la aparición de agammaglobulinemia en becerras Holstein aumenta en aquellas becerras provenientes de partos prematuros y distócicos.

Las fallas en la absorción de inmunoglobulinas y la aparición de agammaglobulinemia aumentan en los becerros machos y en animales más livianos al nacimiento.

## **1.2 OBJETIVOS**

Identificar a nivel de becerro y de estrés calórico durante el último trimestre de gestación como factores de riesgo para FTP.

Evaluar la prevalencia y los factores de riesgo relacionados con la aparición de terneras Holstein agammaglobulinémicas al día de edad en un ambiente cálido.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Importancia de la producción de leche

México es el octavo país en el mundo en cuanto a producción de leche se refiere (SIAP, 2020), cuenta con un inventario de bovino lechero de 2.49 millones de vacas, y alrededor de 300 mil productores de leche medianos y pequeños. La leche de vaca constituye el tercer producto pecuario en jerarquía económica con el 17.2% del valor nacional, y genera más de 200 mil empleos directos, permanentes y remunerados (SAGARPA, 2018). La región Laguna en el 2023 tuvo una producción de 2,895,855,998 litros de leche, de los cuales 1,505,229,530 pertenecen a “La Laguna” de Coahuila y el resto a la Laguna de Durango, que en conjunto representan poco más del 20% de la producción nacional anual de México (SIAP, 2024).

La producción láctea asciende a los 13 mil millones de litros anuales. Los estados de la república con mayor producción de leche son Jalisco, Coahuila, Durango, Chihuahua, Guanajuato y Veracruz (SIAP, 2024).

### 2.2 Importancia del calostro

La primera secreción sintetizada por la glándula mamaria es el calostro, que se produce poco antes y después del parto. El calostro es importante ya que contiene una gran cantidad de inmunoglobulinas (Ig), cuya función principal es proveer inmunidad al ternero, y que es, además, fuente de factores de crecimiento, nutrientes y una gran variedad de hormonas (Salazar, 2007; Lopez y Heinrichs, 2022). Los compuestos del calostro tienen funciones en la vaca como la promoción de crecimiento y funciones de secreción del tejido mamario, y en el becerro, la promoción de crecimiento, maduración del aparato digestivo, la activación y desarrollo del sistema inmunológico y del sistema neuroendocrino. Además, el calostro promueve el desarrollo de los órganos del cuerpo (Grosvenor *et al.*, 1993; Hammon *et al.*, 2020; Playford y Weiser, 2021). Por ello, la ingestión temprana del calostro es significativo para el progreso morfológico y funcional de las becerras, siendo el aparato digestivo el sistema más afectado (Lopez y Heinrichs, 2022).

La generación del calostro, conocida como calostrogénesis inicia varias semanas previas al parto, la primera fase consiste en transportar Ig desde el suero sanguíneo hasta la glándula mamaria. Este proceso se prolonga hasta la etapa tardía de la gestación y se ve interrumpe de manera abrupta al momento del parto. Los receptores epiteliales secretorios de la glándula mamaria son los responsables de la transferencia de Ig desde la circulación materna hacia la glándula mamaria, este proceso es gracias a las hormonas lactogénicas y factores regulatorios locales (McGuirk y Collins, 2004). Actualmente se desconoce el momento preciso en el que el calostro se genera, esta situación pudiera explicar porque existe tanta variación en la calidad del calostro entre las vacas (Kehoe *et al.*, 2007).

### **2.2.1 Componentes del calostro**

El calostro tiene un alto valor nutricional porque contiene carbohidratos, lípidos, minerales, ácidos grasos, oligosacáridos, vitaminas (especialmente betacaroteno, vitaminas A, D y E, además de las vitaminas del grupo B), proteínas, componentes inmunorreactivos, células maternas, hormonas, enzimas, microARN y una comunidad microbiana rica y diversa. También se compone de sustancias no nutritivas como factores de crecimiento, Ig, factor de crecimiento similar a la insulina I y II, citocinas, péptidos, hormonas peptídicas como la prolactina, glucagón, insulina y la hormona del crecimiento, hormonas esteroideas, triyodotironina (T3), tiroxina (T4), nucleótidos, poliaminas, caseína y enzimas (Campana y Baumrucker, 1995; Blum y Hammon, 2000; Blum, 2006; Playford y Weiser (2021). Dichas hormonas y factores de crecimiento son esenciales para el desarrollo del canal gastrointestinal en la becerro recién nacida (Pyo *et al.*, 2020).

El calostro tiene más de 10 millones de anticuerpos maternos por mililitro, entre los que se encuentran, los leucocitos (macrófagos, linfocitos y neutrófilos) y tiene una alta gama de agentes antimicrobianos como los inhibidores de la tripsina, lisozima, lactoferrina, y el sistema lactoperoxidasa (Eker *et al.*, 2024). Muchos compuestos no nutritivos derivan de la sangre de la vaca, como la hormona del crecimiento, insulina, prolactina, glucagón y cortisol, además de la IgG (Le Jan,

1996). Otros compuestos son sintetizados particularmente por los lactocitos en la glándula mamaria, como algunas de las proteínas asociadas al IGF-I (Blum, 2006; Godden *et al.*, 2019).

El calostro contiene múltiples inmunoglobulinas (Ig; IgA, IgM, IgG, etc.), siendo las más abundantes de las Ig en el calostro la IgG. Las diversas moléculas de Ig sirven para diferentes propósitos dentro del recién nacido. La inmunoglobulina M se produce principalmente durante la respuesta inmune primaria y generalmente se encuentra en cantidades mayores que la IgA, que congrega en las superficies epiteliales y se encuentra en un alto contenido en la saliva. Las Ig son proteínas producidas por linfocitos en la circulación sanguínea en respuesta a antígenos exógenos, y desempeñan un papel decisivo en el sistema inmunológico para defender al cuerpo de microorganismos patógenos y proporcionan resistencia a las enfermedades (Elizondo-Salazar, 2007; Costa *et al.*, 2021). Dentro de las Ig del calostro, las de los isotipos IgG, IgA e IgM constituyen aproximadamente el 85-90%, 5% y 7% del total, respectivamente, donde la IgG del subisotipo 1 (IgG1) representa entre el 80 y 90% del total de las IgG del calostro (Tizard, 2013). Salazar (2007) menciona que un adecuado manejo de calostro y alimentación forman el eslabón principal para el crecimiento y desarrollo de becerras sanas en cualquier explotación, ya que es la fuente más importante de nutrientes posterior al nacimiento de las becerras. Contiene mayores cantidades de grasa, proteína, minerales, vitaminas, y una menor concentración de lactosa, aunado a esto, contiene dos veces más de sólidos totales que la leche (Salazar, 2007).

### **2.2.2 Calidad del calostro**

El calostro de bovino se cataloga de buena calidad cuando su contenido de IgG es  $\geq 50$  g/L, el conteo bacteriano es de  $< 10,000$  UFC/mL, y la cantidad de coliformes es de  $< 10,000$  UFC/mL (McGuirk y Collins, 2004; Chigerwe *et al.*, 2008). Las concentraciones de nutrientes y el conteos bacterianos del calostro varían entre vacas, pero Newby *et al.* (1982) indican que el promedio de concentraciones de IgG, IgA e IgM de 75 g/L, 4.4 g/L y 4.9 g/L, respectivamente.

El calostro puede ser una fuente de agentes patógenos como *Escherichia coli*, *Mycoplasma spp.*, *Salmonella spp.* y *Mycobacterium avium ssp.*, entre otros. Por lo anterior, la contaminación bacteriana es otro factor que determina la calidad de éste. Estos patógenos derivan de infecciones en la glándula mamaria, y de una insalubre colección, almacenamiento y manejo del calostro en la alimentación de las beceras, y pueden tener efectos adversos en la salud de los becerros recién nacidos (Lopez y Heinrichs, 2022). Las bacterias pueden unirse a los anticuerpos presentes en el intestino, y así, inhiben la absorción de los anticuerpos por los enterocitos (Gelsing *et al.*, 2014). Además, algunas bacterias suelen alterar la composición química del calostro, particularmente las bacterias productoras de proteasas, lo cual afecta adversamente las proteínas del calostro (Godden *et al.*, 2006).

El método más preciso y confiable para medir la concentración de IgG en el calostro es la inmunodifusión radial (RID), pero tiene poca practicidad en el campo por su largo tiempo de análisis y el elevado costo, por lo que éste no es la mejor opción (Deelen *et al.*, 2014). Por ello, uno de los métodos más práctico y barato, es el uso del refractómetro Brix, el cuáles estima el porcentaje de sólidos totales, expresando en % Brix (Bielmann *et al.*, 2010). El punto de corte que se asocia con una concentración de 50 g/L de IgG es 22% Brix (Godden *et al.*, 2019).

### **2.3 Absorción de inmunidad pasiva**

Los becerros nacen sin una adecuada inmunidad (anticuerpos) debido a la presencia de una placenta cotiledonaria epiteliocorial de los bovinos, compuesta por 3 capas fetales y 3 capas maternas, que actúan como barreras, limitando la transferencia de IgG de la sangre de la madre a la circulación fetal, previo al nacimiento, por lo tanto, dependen del traspaso de inmunidad pasiva a través de la ingestión del calostro (Argüello *et al.*, 2005; Salazar, 2007; Peter, 2013; Hammon *et al.*, 2020).

#### **2.3.1 Inmunoglobulinas**

Las inmunoglobulinas son los anticuerpos que circulan en individuos normales en ausencia de estimulación antigénica exógena y se consideran un componente humoral del sistema inmunológico innato (Baumgarth *et al.*, 2005).

Las inmunoglobulinas brindan protección contra las infecciones y están presentes no sólo en el calostro sino también en la leche bovina (Ahmann *et al.*, 2021). Se han identificado consistentemente tres Ig principales en la leche bovina en función de su estructura de cadena pesada: IgG (que comprende 2 subclases, IgG1 e IgG2), IgM e IgA (Schroeder y Cavacini, 2010). Además, las Ig en las secreciones mamarias de rumiantes desempeñan un papel central en la protección inmune activa de la propia glándula mamaria contra las infecciones (Paape *et al.*, 1988; Petzl *et al.*, 2012).

### **2.3.2 Permeabilidad intestinal**

El calostro debe administrarse inmediatamente después de que un ternero nace y no debe demorarse para brindar protección e inmunidad pasiva (Fischer *et al.*, 2018). Los terneros recién nacidos aún no han desarrollado su sistema inmunológico al nacer (Stelwagen *et al.*, 2009), por lo que es importante alimentar a los recién nacidos con el calostro del primer ordeño, porque las concentraciones en el calostro de IgG, M y A disminuyen a diferentes tiempos según el número de ordeños posparto. La adecuada alimentación es crucial para lograr altas tasas de absorción de IgG. La transferencia de inmunoglobulinas del calostro al torrente sanguíneo del ternero se debe a una capacidad temporal para absorber proteínas en el intestino durante las primeras horas de vida. Aproximadamente 24 h después del nacimiento, las células del intestino ya no pueden absorber ni transportar estas inmunoglobulinas u otras moléculas grandes (Hopkins y Quigley, 1997; Morin *et al.*, 1997; Lopez *et al.*, 2020). Se debe ofrecer a los becerros la cantidad total de calostro dentro de ese lapso, para así proveer a la becerro de suficiente inmunidad pasiva (Salazar, 2007).

Generalmente el porcentaje de anticuerpos totales absorbidos en el torrente sanguíneo, varía desde 20 al 35%, incluso si se proporciona calostro de alta calidad (Jones y Heinrichs, 2006). Sin embargo, la transferencia de inmunoglobulinas varía entre los estudios y algunos informes han mostrado valores fuera de este rango. Por ejemplo, Lago *et al.* (2018) informaron un rango del 32.6 al 76.9% con una media del 35.9% para terneros alimentados con calostro materno con una concentración de IgG de 63.6 g/L. Además, Halleran

et al. (2017) reportaron un rango entre 10 y 50%. Fischer et al. (2018) afirmaron que retrasar la alimentación de calostro en 6 o 12 h afecta la transferencia pasiva de IgG y que retrasar la alimentación de calostro horas después del nacimiento en lugar de alimentarlo al nacer podría afectar el cierre de la permeabilidad intestinal y disminución de la absorción de inmunoglobulinas.

La absorción comienza cuando la Ig se une a la membrana de la microvellosidad del enterocito, y comienza la pinocitosis de la Ig asociada. Luego se forma una vacuola donde ocurrió la pinocitosis y empieza el transporte de la vacuola por el sistema microtubular intracelular a través del enterocito hacia la membrana lateral o basal. Finalmente, ocurre el contacto de la vacuola con la membrana, continuado con la exocitosis de su contenido (Ig) dentro de la lámina propia. La Ig llega al sistema linfático e ingresa a la circulación sanguínea a través del conducto torácico (Davis y Drackley, 2002; Van Soest *et al.*, 2022).

La escasa secreción ácida y reducida actividad proteolítica en el sistema digestivo del becerro recién nacido, aunado a la falta de conservación de las Ig en el coágulo abomasal, ayudan el traslado de las Ig indemnes hacia el intestino (Lopez y Heinrichs, 2022). También, el calostro contiene un inhibidor de la tripsina que evita la hidrólisis proteolítica de las inmunoglobulinas, permitiendo la digestión de otras proteínas de la leche que proveen aminoácidos para los becerros (Gamsjäger *et al.*, 2021).

Cuando las becerras no reciben adecuadas inmunoglobulinas, sufren una falla en la absorción de inmunidad pasiva (FTIP). Esta situación los expone a un mayor riesgo de contraer enfermedades durante la etapa temprana de desarrollo (Lombard *et al.*, 2020), a una mayor mortalidad (Nussbaum *et al.*, 2023), y a una mayor tasa de desecho en la primera lactancia (DeNise *et al.*, 1989), lo que implica pérdidas económicas. Además, las becerras con FTIP tienen una disminución en la ganancia diaria de peso, estimada en 81 g/d (Raboison *et al.*, 2016). Asimismo, becerras con FTIP tienen un mayor riesgo de ocurrencia de infecciones por Rotavirus y *Cryptosporidium* spp., así como diarrea (Lora *et al.*, 2018). Aunque los becerros con FTIP tienen mayores posibilidades de presentar

enfermedades, éstas pueden sobrevivir si se les coloca en un ambiente limpio con baja exposición a patógenos (Weaver *et al.*, 2000).

#### **2.4 Estrés por calor**

En zonas donde las temperaturas ambientales son altas, el estrés por calor puede conducir a tasas de crecimiento reducidas debido a que las crías neonatales no han desarrollado una termorregulación adecuada, lo que puede contribuir de manera importante a la reducida ganancia de peso en las dos primeras semanas de vida (Tao *et al.*, 2013). Además, los becerros nacidos de vacas expuestas al estrés térmico durante la última etapa de gestación (período seco) no solo han comprometido la transferencia inmune pasiva, sino que este estrés térmico tiene efectos secundarios posteriores al destete, afectando negativamente la supervivencia y la producción láctea en la primera lactación (Monteiro *et al.*, 2016). Otros autores han observado que el rendimiento del ternero Holstein en los meses de verano en condiciones climáticas extremas o moderadas mostró una disminución marcada en la tasa de crecimiento en comparación con las condiciones invernales, lo que indica que los becerros no parecen poder disipar calor cuando las altas temperaturas diarias exceden su zona termoneutral para becerras lecheras sanas (Wiedmeier *et al.*, 2005; Tao *et al.*, 2013). Por lo tanto, al aumentar la necesidad de adquisición de animales de remplazo y como consecuencia no adaptados a zonas calientes, se tienen mayores pérdidas económicas debidas a un bajo crecimiento y una pubertad tardía (Pardon, *et al.*, 2013; Windeyer *et al.*, 2014).

Durante el periodo de sequía, el estrés por calor no sólo afecta negativamente a la producción de leche de la vaca, también perturba al desarrollo y producción de leche de su descendencia. Los becerros nacidos de vacas estresadas por calor durante la etapa final de la gestación presentan un menor peso al nacer (Tao *et al.*, 2013). Hay un aumento de la temperatura rectal de los becerros recién nacidos y generalmente provoca una reducción en el consumo de alimento, por lo que las altas temperaturas ambientales disminuyen el crecimiento (Wang *et al.*, 2020).

El principal producto de las vacas lechera es la producción de leche, por ello, se procura proteger a las vacas lecheras contra el estrés térmico. Sin embargo, esta práctica no se toma en cuenta en becerras; la mayoría de los estudios se han enfocado a mitigar el estrés por calor en las vacas lecheras o ganado de engorda. Las enfermedades relacionadas con la mortalidad neonatal y postnatal son un alto factor de riesgo de pérdidas económicas en los sistemas de producción lechera (Mellado *et al.*, 2014). Brouce *et al.* (2009) observó que los becerros nacidos durante los meses con temperaturas más altas tuvieron menores ganancias de peso, bebían más agua hasta el destete, y consumían menos alimento en el periodo predestete.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Inscripción y muestreo de becerras

Todos los procedimientos experimentales siguieron los Códigos de Práctica para el Cuidado y Manejo de Animales de Granja, Consejo Nacional de Cuidado de Animales de Granja (Consejo Canadiense de Cuidado de Animales). El estudio se llevó a cabo desde enero de 2019 hasta diciembre de 2022 en una granja lechera comercial grande (~4000 vacas lecheras) en el norte de México (25° N, elevación 1140 m, precipitación media anual 228 mm, temperatura media anual 23.8 °C). Todos los becerros incluidos en el estudio nacieron de una vaca del hato de estudio. El 5.8% de los becerros eran mellizos y el 9.7% nacieron de madres con distocia (definida como parto con tirón fuerte). El conjunto de datos utilizado para determinar el efecto de los rasgos de los becerros en FTP contenía 4411 partos (1965 machos y 2446 hembras) y un subconjunto de datos que contenía 6318 partos (1907 becerras con condiciones climáticas solo en el útero y al nacer) se utilizó para determinar el efecto de las condiciones climáticas en la aparición de agammaglobulinemia. Los becerros freemartin fueron excluidos de todos los análisis.

Las variables utilizadas en el presente estudio se hipotetizaron como factores de riesgo debido a estudios previos en la literatura (Elsohaby *et al.*, 2019, Staněk *et al.*, 2019, Renaud *et al.*, 2020) o debido a una expectativa sólida basada en lo que es conocido sobre los mecanismos de TIP. El número de eventos por variable varió; sin embargo, se considera que la gran cantidad de observaciones en este estudio asegura la validez de los resultados del modelo logístico. La población de estudio consistió en becerros Holstein nacidos durante todo el año con un peso promedio de ternero al nacer de 39.0 kg (DE = 2.9 kg) y una duración de la preñez de 278 días (DE = 5.6 días).

Las vacas del grupo de maternidad que se acercaban al parto, fueron monitoreadas las 24 horas del día por los trabajadores de la granja. Los empleados recorrieron los establos aproximadamente cada hora en busca de señales visuales de parto. Las vacas con signos inminentes de parto fueron trasladadas a los corrales de maternidad. Después del parto, las terneras se

retiraban inmediatamente de los corrales de maternidad a corrales abiertos individuales para becerras. Después del parto, los empleados de la granja realizaron un examen físico completo y se registró una medición de la altura a la cruz de los becerros. Antes de alimentar a los becerros con calostro, éstos se pesaron con una balanza (Coburn Company, Whitewater, Wisconsin, EE. UU.). Además, los empleados registraron el género, si era proveniente de parto gemelar o distócico.

Dos litros de calostro de calidad controlada (al menos 50 mg/mL de IgG, según la lectura de gravedad específica; calostrómetro bovino JorVet, Jorgensen Laboratories, Loveland, CO) obtenido en la primera ordeña después del parto de las vacas recién paridas se ofreció a becerras dentro de la primera hora de nacidos. Se administró una segunda alimentación de 2 L de calostro dentro de las siguientes 8 horas del nacimiento, después de refrigeración a 2-3 °C. Los miembros del personal del hato lechero administraron calostro a todos los becerros a través de alimentadores esofágicos (Nasco, Fort Atkinson, WI), por lo que cada ternero recibió 4.0 L de calostro dentro de las 10 h posteriores a la separación de sus madres.

### **3.2 Evaluación de la inmunidad pasiva**

Se recolectó una muestra de sangre (6 mL) de la vena yugular utilizando una aguja hipodérmica de 1 pulgada de calibre 20 (BD Vacutainer Precision Glide, Becton Dickinson Co., Franklin Lakes, NJ) de cada ternero en un Vacutainer simple de 10 mL (tubo sin anticoagulante: tapa roja; Becton Dickinson, Franklin Lakes, NJ, EE. UU.). Las muestras se almacenaron a temperatura ambiente o se mantuvieron a temperatura ambiente hasta que se refrigeraron a 4 °C al regresar al laboratorio de la granja. Las muestras se centrifugaron y los sueros sanguíneos se separaron dentro de las 24 h posteriores a la recolección. La concentración de IgG en suero se estimó mediante un refractómetro Brix digital (PA202X-003-105, Misco, Cleveland, OH). Cada ternero se categorizó en tener o no FTP (% Brix sérico  $\geq$  8; equivalente a 10,1 g/L de IgG sérica, punto de corte para un caso positivo de FPI, según ecuaciones de Morrill *et al.*, 2013; Deelen *et al.*, 2014;

Elsohaby *et al.*, 2015), y si tenía o no agammaglobulinemia ( $\text{Brix}\% \leq 6.5$ ; equivalente a casi 0 g/L de IgG sérica).

### 3.3 Datos climáticos

Se registró el índice de temperatura-humedad (ITH), el día del parto, en los meses noveno, octavo y séptimo de gestación. Se calculó el ITH promedio durante los últimos tres meses de gestación y se utilizó para establecer el grado de estrés térmico que sufren las madres y los fetos en el útero. Los datos de temperatura ambiental y humedad relativa se obtuvieron de una estación meteorológica ubicada a 2.3 km de la granja lechera durante la duración del estudio. Los datos registrados incluyeron temperaturas máximas diarias (termómetro de mercurio bajo sombra) y humedad relativa. Para el cálculo del ITH se utilizó la siguiente ecuación (temperatura promedio diaria en grados Celsius; HR se refiere a la humedad relativa máxima; Mader *et al.*, 2006):

$$\text{THI} = [(0.8 \times \text{temperatura}) + (\%HR/100) \times (\text{temperatura} - 14.4)] + 46.4$$

### 3.4 Análisis estadístico

Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando la versión 9.4 de SAS (SAS Institute Inc., Cary, NC). Primero se probó la normalidad de la distribución de los datos utilizando el procedimiento PROC UNIVARIATE (Shapiro-Wilk como criterio). Para analizar los factores que contribuyen a la consecución de una lectura del refractómetro BRIX  $\geq 8$  (IgG sérica  $\geq 10$  g/L) a las 24 h del nacimiento y a la aparición de agammaglobulinemia a las 24 h del nacimiento, se utilizó un modelo de regresión logística multivariable (PROC LOGISTIC de SAS), aplicando un modelo logístico, paso a paso, en forma reversiva, para eliminar todas las variables que no se detectaron como significativas. Las variables se eliminaron continuamente del modelo por el criterio estadístico de Wald cuando  $P < 0.10$ . Para establecer el modelo estadístico final, el modelo completo preliminar incluyó las siguientes variables potencialmente explicativas: ITH al parto, ITH promedio durante los últimos tres meses de gestación, peso al nacer, altura a la cruz al nacer, género, parto gemelar, parto distócico, parto prematuro y todas las interacciones unidireccionales. No se encontraron interacciones significativas; por lo tanto, en el modelo final sólo se incluyeron solo los efectos principales. El

número de lactancia de las madres y el año de nacimiento se incluyeron en el modelo como covariables.

El peso al nacer se clasificó como menor o mayor de 37 kg. La altura a la cruz se definió como menor o mayor a 72 cm. La duración de la gestación se clasificó en menos o más de 275 días (se excluyeron los partos que ocurrieron antes de los 262 días de gestación). Las clases de ITH al parto y el ITH promedio durante el último tercio de la gestación se dividieron en tres clases correspondientes a <70, 70–80 y >80 unidades. El número de lactancia se agrupó en tres categorías: 1, 2-3 y >3. Se preparó un histograma para IgG sérica basado en la lectura del refractómetro BRIX con el software Statgraphics Centurion XV (Statpoint Technologies Inc., Warrenton, VA, EE. UU.). Finalmente, la asociación entre ITH al nacer y la proporción de becerras agammaglobulinémicos se analizó usando el software CurveExpert Professional 2.5.6 (Hyams Development, Madison, AL, EE. UU.). Para todos los análisis, la significación se estableció en  $p < 0.05$ .

#### 4. RESULTADOS

La IgG sérica estimada (a partir de la ecuación de regresión lineal derivada de Morrill *et al.*, 2013; Deelen *et al.*, 2014; Elsohaby *et al.*, 2015) en becerras 24 horas después del parto osciló entre 0.0 y 42.2 g/L. El porcentaje de becerras que no recibieron suficiente inmunidad pasiva (<10 g/L IgG) fue del 38.8 %, mientras que la prevalencia de becerros agammaglobulinémicos al día siguiente del nacimiento fue del 9.6%. El histograma que describe el porcentaje de becerras con diferentes concentraciones séricas de IgG mostró una distribución asimétrica positiva con una media ( $\pm$  DE) de  $12.6 \pm 8.5$  y una mediana de 12.3 (Q1= 6.7, Q3= 18.1; Figura 1).

Un TIP adecuado no se asoció con estrés por calor al parto o hipertermia intrauterina ( $p > 0.05$ ). Además, el peso al nacer y la altura a la cruz no representaron un riesgo para una TIP adecuada. Los factores de riesgo para lograr una lectura del refractómetro BRIX  $\geq 8$  (IgG sérica  $\geq 10$  g/L) 24 h después del nacimiento se indican en el Cuadro 1. Las terneras tuvieron 1.4 veces más probabilidades de alcanzar niveles séricos adecuados de IgG ( $\geq 10$  g/l) que los becerros machos. Las probabilidades de lograr un TIP adecuado fueron 1.4 veces mayores en los becerros nacidos solos en comparación con los becerros nacidos de partos gemelares. Las becerras nacidas de madres que no tuvieron distocia tuvieron mayores probabilidades de TIP adecuado que los becerros nacidos de madres con distocia. Los becerros que tuvieron una duración de la gestación  $>275$  días tuvieron más probabilidades de alcanzar un TIP satisfactorio que los becerros con una duración de la gestación más corta.

Las razones de probabilidad de agammaglobulinemia relacionadas con los becerros y el estrés por calor en el útero se presentan en el Cuadro 2. En comparación con todos los becerros que no fueron sujetos a estrés térmico al final de la gestación, los becerros que sufrieron estrés por calor al final de la gestación tuvieron 1.5 veces más probabilidades de tener agammaglobulinemia. A medida que el ITH aumentó durante el último trimestre de gestación, el porcentaje de becerros agammaglobulémicos tendió a aumentar con un pico en el ITH 80-82 (Figura 2). Asimismo, en comparación con los becerros que no

sufrieron estrés por calor al momento del parto, los becerros que nacieron en un día con estrés por calor severo tuvieron 1.8 veces más riesgos de tener agammaglobulinemia. Los becerros machos tuvieron mayores riesgos ( $p < 0.05$ ) de presentar agammaglobulinemia que las terneras. Los becerros más pesados al momento del parto tuvieron menos de la mitad del riesgo de agammaglobulinemia en comparación con los becerros más livianos al nacer. El parto distócico afectó en gran medida la aparición de becerros agammaglobulinémicos, mientras que los becerros con gestaciones  $> 275$  días tuvieron menos probabilidades de presentar agammaglobulinemia que los becerros con gestaciones  $< 275$  días.

Cuadro 1. Impacto del género, parto gemelar, parto distócico y duración de la gestación en el logro de una lectura del refractómetro BRIX  $\geq 8$  (IgG sérica  $\geq 10$  g/L) 24 h después del nacimiento.

Variables	Incidencia (%)	Razón de probabilidades (OR)	95% IC	Valor de P
Género				$< 0.0001$
Hembra	1369/2446 (56,0)	1.4	1.3 – 1.6	
MAcho	928/1965 (47,2)	Referencia		
Número de becerros				0.0074
1	2185/ 4154 (52,6)	1.4	1.1 – 1.8	
2	112/ 255 (43,9)	Referencia		
Parto distócico				$< 0.0001$
No	2235/4164 (53,7)	2.3	1.9 – 2.8	
Sí	151/449 (33,6)	Referencia		
Duración de la gestación				0.0103
$\geq 275$ días	1522/2554 (59,6)	1.2	1.0 – 1.3	

<275 días	502/892 (56.3)	Referencia
-----------	----------------	------------

IC= intervalo de confianza; la categoría de referencia es uno, y no hay intervalo de confianza para eso.

Cuadro 2. Efecto del nivel de ternero y factores de riesgo climáticos para la aparición de agammaglobulinemia en becerros Holstein en un clima con alta temperatura (lectura del refractómetro BRIX  $\leq$  6,5; IgG sérica casi 0 g/L) 24 h después del nacimiento.

Variables	Incidencia (%)	Razón de probabilidades (OR)	95% IC O	Valor de P
ITH en el útero				
>80 (3)	235/3325 (7.1)	1.5 (1 contra 3)	1.0 – 2.5	0.0037
70-80 (2)	132/2589 (5.1)	1.4 (2 contra 3)	1.1 – 1.8	
$\leq$ 70 (1)	19/403 (4,7)	Referencia		
ITH al nacer				
>82 (3)	203/2331 (7.7)	1.8 (1 contra 3)	1.4 – 2.3	<0.0001
76-82 (2)	91/1664 (5.5)	1.5 (2 contra 3)	1.1 – 1.9	
<76 (1)	92/2022 (4.6)	Referencia		
Género				
Macho	230/1965 (11.7)	2.0	1.6 – 2.5	<0.0001
Hembra	153/2446 (6.3)	Referencia		
Peso de Nacimiento				
>37 kg	65/ 2264 (2.9)	0.3	0.3 – 0.5	<0.0001
<37 kg	321/ 4053 (7.92)	Referencia		
Parto distócico				
Sí	81/449 (18.0)	2.8	2.1 – 3.6	<0.0001
No	305/4164 (7.3)	Referencia		

Duración de la gestación			<0.0001
>275 días	83/2554 (3.2)	0.39	0.3 – 0.5
<275 días	69/892 (7.7)	Referencia	

IC= intervalo de confianza; la categoría de referencia es uno, y no hay intervalo de confianza para eso.

ITH in utero= ITH promedio durante los últimos tres meses de gestación

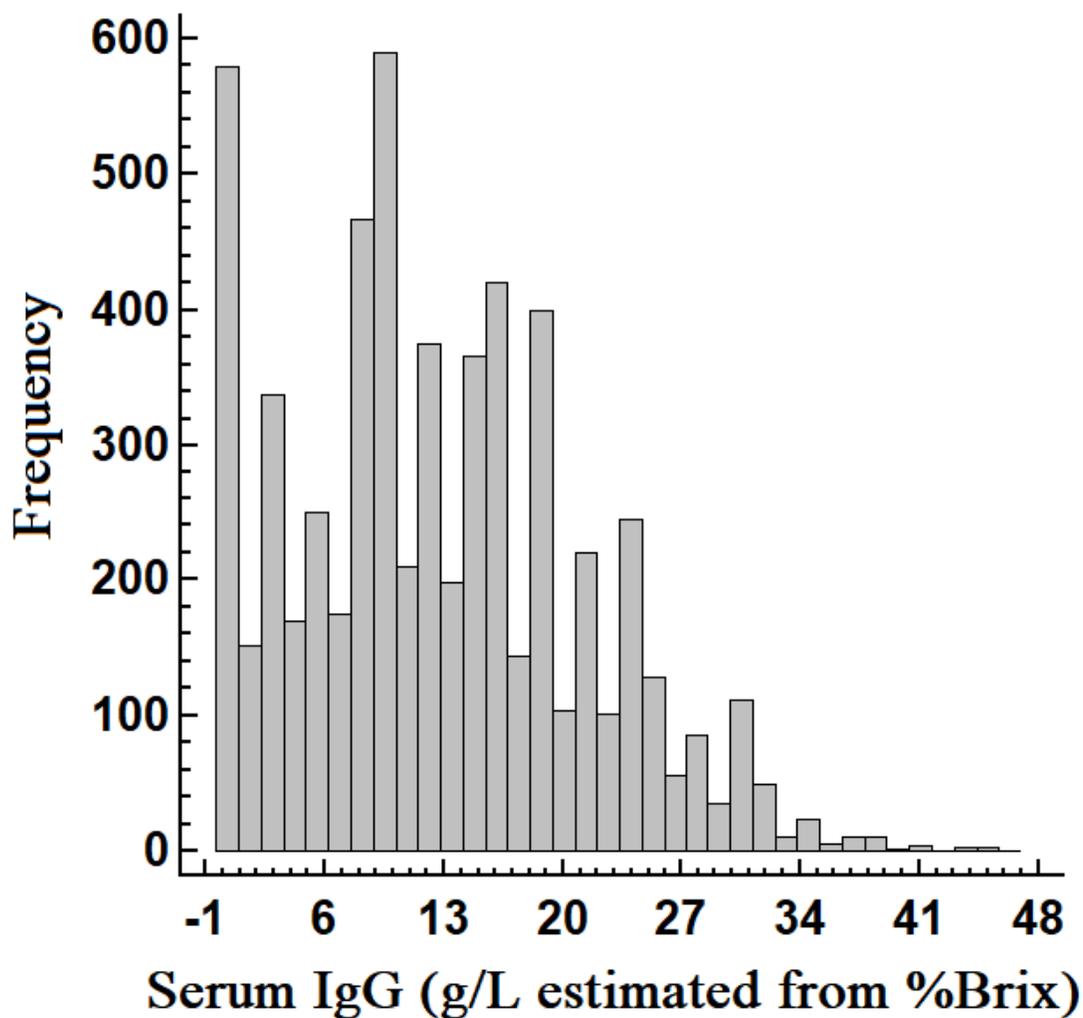


Figura 1. Histograma de la distribución de las concentraciones séricas de IgG 24 horas después del nacimiento para 6318 becerras Holstein, estimados a partir de %Brix.

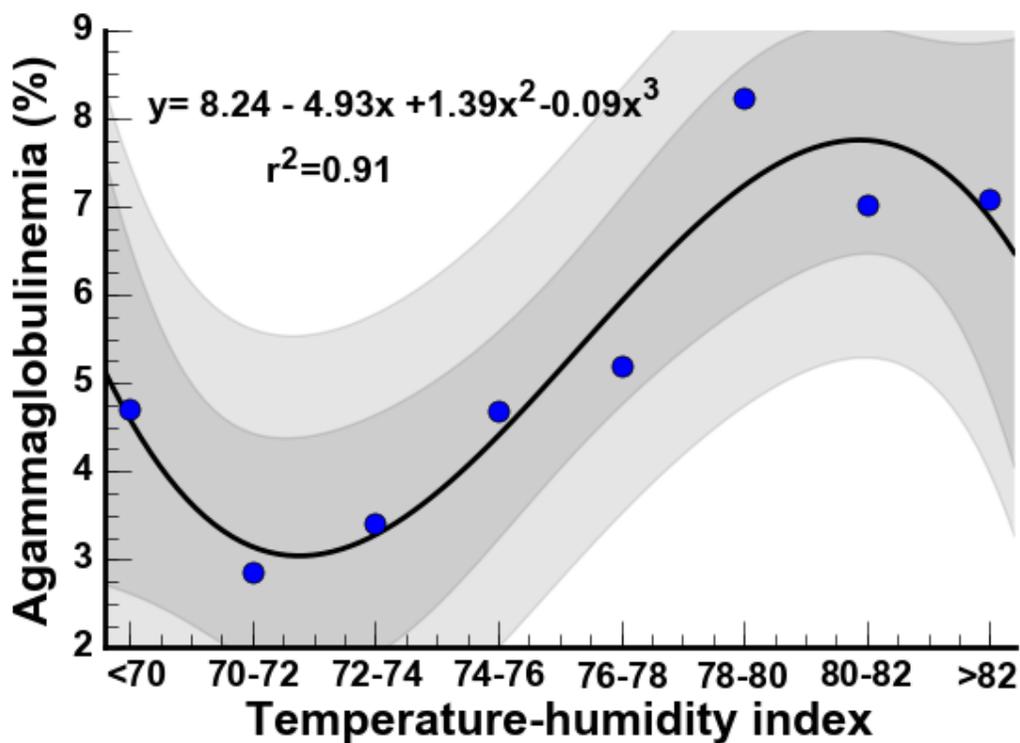


Figura 2. Asociación entre el índice de temperatura-humedad y el porcentaje de agammaglobulinemia a las 24 horas del parto en becerras Holstein en un clima con altas temperaturas. Las bandas de color más claro son intervalos de confianza del 95% para los valores estimados. Las bandas de color más intenso son intervalos de confianza (95%) para valores actuales.

## 5. DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio, al igual que estudios previos (Staněk *et al.*, 2019), mostraron que la transferencia de inmunidad materna pasiva en hatos lecheros intensivos es un problema significativo con FTP alrededor del 35%. Otros estudios en explotaciones lecheras de EUA han informado una prevalencia de FTP del 19.2% (Beam *et al.*, 2009). Sin embargo, las comparaciones de la prevalencia de FTP entre estudios son difíciles debido a las diferencias en el manejo, las condiciones climáticas, el manejo del calostro y la concentración de proteína total sérica utilizada como umbral. En particular, las prácticas de manejo del calostro tienen un impacto importante en FTP, que afecta la cantidad de IgG que absorbe un becerro (Robbers *et al.*, 2021). En el presente estudio, a todos los becerros se les ofreció calostro con  $\geq 50$  mg/mL de IgG; por lo tanto, aparentemente, la calidad del calostro probablemente no fue una causa del fracaso del TIP.

A diferencia de otros estudios en los que el género del ternero no se ha relacionado con los valores de IgG en sangre en becerras de 24 h de edad (Perino *et al.*, 1995; Trotz -Williams *et al.*, 2008), pero de acuerdo con Filteau *et al.* (2003), el FTP fue mayor ( $P < 0.01$ ) en los becerros machos que en las hembras. Asimismo, los becerros machos tuvieron una mayor probabilidad de ser agammaglobulinémicos a las 24 h postparto en comparación con las hembras, lo que concuerda con Bragg *et al.* (2020). Estas discrepancias podrían haberse debido a un efecto indirecto de la distocia, ya que el riesgo de distocia es mayor en vacas/novillas que paren becerros machos que hembras (Atashi *et al.*, 2021) y esta condición aumenta el riesgo de FTP (Filteau *et al.*, 2003). Sin embargo, otros estudios han documentado que las hembras tienen mayores probabilidades de FPI que los machos (Lora *et al.*, 2018) o que el género de los becerros no ha sido un factor significativo para FPI (Staněk *et al.*, 2019). Estas discrepancias podrían deberse a marcadas diferencias en el número de observaciones, sistemas de crianza, momento de la primera alimentación con calostro, uso de sustituto de calostro y momento en el que se han registrado las inmunoglobulinas.

La probabilidad de FTP y agammaglobulinemia fue mayor en becerros gemelos que en becerras de feto único. La probabilidad de distocia ha sido mayor en vacas que parieron gemelos en comparación con becerras de feto único (por un factor de 5.5; Bahrami-Yekdangi *et al.*, 2022). Por lo tanto, dado que los nacimientos gemelares afectaron la puntuación del parto, el efecto de los partos gemelares en FTP y agammaglobulinemia parece estar mediado por un aumento de partos distócicos en becerras gemelos. Además, los gemelos pesan menos que los fetos únicos y tienen duraciones de gestación más cortas (Dhakal *et al.*, 2013), y los becerros prematuros exhiben inmadurez funcional y morfológica del tracto gastrointestinal (Bittrich *et al.*, 2004), lo que podría tener implicaciones para la captación intestinal de IgG (Field *et al.*, 1989).

Los resultados del presente estudio sugieren una relación causal entre el parto distócico y el aumento de la falla de TIP y la agammaglobulinemia. Esta respuesta parece derivar de los efectos fisiológicos de la dificultad del parto, como la acidosis severa, el desequilibrio hidroelectrolítico, la baja vitalidad, el estrés oxidativo (Vannucchi *et al.*, 2019) y las concentraciones elevadas de lactato en la sangre (Murray *et al.*, 2015). Por lo tanto, el potencial de que la distocia afecte negativamente la absorción de inmunoglobulinas ocurre a través de múltiples mecanismos y este trastorno del parto se ha documentado como la causa más importante de mortalidad perinatal (Chassagne *et al.*, 1999). Los hallazgos del presente estudio concuerdan con los resultados de otro estudio que encontró que la distocia afectó negativamente la absorción de inmunoglobulinas calostrales (Besser y Gay, 1994).

En el presente estudio, la hipertermia in útero resultó en una mayor proporción de becerros agammaglobulinémicos, lo cual era de esperarse ya que los efectos agudos y persistentes del estrés por calor in útero reducen el desarrollo fetal (Monteiro *et al.*, 2014) y hay una menor eficiencia de absorción de inmunoglobulina (Dahl *et al.*, 2016). El desarrollo fetal es una progresión biológica multifacética, muy influenciada por factores ambientales. La hipertermia que experimentan las vacas preñadas tiene efectos perjudiciales sobre la salud de la descendencia (McMillen *et al.*, 2008). Además, el estrés por calor in útero

disminuye el peso de órganos inmunes como el timo y el bazo (Ahmed *et al.*, 2021), lo que explica, en parte, la acentuada condición agammaglobulinémica de los becerros que sufren estrés por calor al final de la gestación. Nuestros resultados respaldan hallazgos anteriores que indican que los becerros nacidos de vacas sometidas a estrés térmico presentan una reducción en la absorción de inmunoglobulina G (Monteiro *et al.*, 2014; Laporta *et al.*, 2017), lo que altera la inmunidad innata después del nacimiento en los recién nacidos, debido a la hipertermia materna al final de la gestación (Strong *et al.*, 2015).

No sólo los becerros nacidos de vacas sometidas a estrés térmico durante el último trimestre de gestación, sino también los becerros nacidos de vacas que no sufrieron estrés térmico al final de la gestación, pero que nacieron en días muy calurosos presentaron mayores probabilidades de ser agammaglobulinémicos. El estrés térmico al final de la gestación no afecta el contenido de IgG del calostro, lo que sugiere que la absorción deficiente de IgG en becerros nacidos en días calurosos se debe presumiblemente a la deficiencia de la transferencia pasiva (Monteiro *et al.*, 2014).

Los resultados del presente estudio sugieren que el peso reducido al nacer perjudica la capacidad de los becerros para adquirir transferencia inmune pasiva a las 24 h postparto, aun cuando los becerros más livianos recibieron una mayor cantidad de calostro como proporción de la masa corporal. Esto puede explicarse por la inmadurez funcional y morfológica del tracto gastrointestinal de los becerros prematuros (Bittrich *et al.*, 2004). La debilidad de los becerros de bajo peso al nacer sugiere que la capacidad intestinal para absorber macromoléculas puede verse comprometida. La evidencia disponible sugiere un mayor riesgo de bajo vigor y mortalidad pre-destete en becerros con bajo peso al nacer (Schmidek *et al.*, 2013). Sin embargo, estos resultados son contrarios a estudios previos en becerros productoras de carne (Gaspers *et al.*, 2014) y lecheras (Turini *et al.*, 2020) donde los becerros más pesados al nacer mostraron menor concentración de IgG que los becerros más livianos. Esta aparente contradicción se debe probablemente a que en estudios previos se han muestreado pocos becerros, particularmente becerros <37 kg, lo que resulta en un poder insuficiente para

identificar tales relaciones. Además, los resultados de estudios previos podrían deberse a mayores dificultades de parto con becerras de mayor peso al nacer, lo que conduce a una absorción deficiente de IgG (Barrier *et al.*, 2013). De hecho, en el presente estudio, los becerros nacidos de vacas con parto difícil aumentaron las probabilidades de agammaglobulinemia, lo que está en línea con la opinión de que los becerros lecheros nacidos después de una distocia experimentan una menor transferencia de inmunidad pasiva (Barrier *et al.*, 2013).

Este trabajo destaca los riesgos potenciales de agammaglobulinemia en becerros prematuros. Los niveles de corticosteroides neonatales deben ser altos para aumentar la absorción del calostro (Sangild, 2003) y el nacimiento prematuro inhibe la liberación de cortisol neonatal, lo que disminuye la absorción de calostro. Además, la absorción de inmunoglobulina en becerras prematuros puede verse alterada por la inmadurez morfológica y funcional del intestino delgado (Bittrich *et al.*, 2004).

Una de las fortalezas del presente estudio fue un tamaño de la muestra muy alto, que aumentó la potencia que se puede atribuir a los hallazgos del estudio. Sin embargo, una limitación de este estudio retrospectivo fue que se utilizó solo un hato lechero comercial, lo que limita la generalización de los hallazgos. Estudios adicionales que incluyan varios hatos lecheros incorporarían variaciones en la salud del hato, las instalaciones, la nutrición y las prácticas de manejo, lo que generaría evidencia más sólida sobre cómo el estrés por calor y los factores relacionados con los becerros afectan negativamente al FTP.

## 6. CONCLUSIÓN

Estos resultados mostraron que el estrés calórico al momento del parto en becerros Holstein recién nacidos no influyó en la absorción pasiva de IgG cuando se monitoreó la transferencia de inmunidad pasiva con un refractómetro de grados Brix. Sin embargo, la probabilidad de agammaglobulinemia fue más alta en becerras que sufrieron estrés calórico en el útero y al momento del parto. Los factores de riesgo clave para no alcanzar IgG sérica  $\geq 10$  g/L 24 h después del nacimiento en estos becerros Holstein fueron el género, el parto distócico, el parto gemelar y la duración de la gestación. Además, en el presente estudio, se proporciona evidencia de que los machos, los becerros más livianos al nacer, los becerros nacidos de madres con distocia y los becerros prematuros están relacionados con la agammaglobulinemia. Por lo tanto, las prácticas de manejo de becerros Holstein en un ambiente cálido con las condiciones mencionadas anteriormente requieren una atención adicional para asegurar una transferencia pasiva adecuada de inmunoglobulinas del calostro.

## 7. REFERENCIAS

- Ahmann, J., Steinhoff-Wagner, J., y Büscher, W. 2021. Determining immunoglobulin content of bovine colostrum and factors affecting the outcome: A review. *Animals*. 11(12):3587.
- Ahmed, B., Younas, U., Asar, T., Monteiro, A., Hayen, M., Tao, S., y Dahl, G. 2021. Maternal heat stress reduces body and organ growth in calves: Relationship to immune status. *Journal of Dairy Science Communications*. 2:295-299.
- Argüello, A., Castro, N., y Capote, J. 2005. Short communication: evaluation of a color method for testing immunoglobulin G concentration in goat colostrum. *J. Dairy Science*. 1752-1754.
- Armengol, R., y Fraile, L. 2020. Feeding calves with pasteurized colostrum and milk has a positive long-term effect on their productive performance. *Animals*. 10:1494.
- Atashi, H., Asaadi, A., Hostens, M. 2021. Association between age at first calving and lactation performance, lactation curve, calving interval, calf birth weight, and dystocia in Holstein dairy cows. *PLOS ONE*. 16:e0244825.
- Atkinson, D., Von Keyserlingk, M., y Weary, D. 2017. Benchmarking passive transfer of immunity and growth in dairy calves. *Journal of Dairy Science*. 100:3773-3782.
- Bahrami-Yekdangi, M., Ghorbani, G., Sadeghi-Sefidmazgi, A., Mahnani, A., Drackley, J., y Ghaffari, M. 2022. Identification of cow-level risk factors and associations of selected blood macro-minerals at parturition with dystocia and stillbirth in Holstein dairy cows. *Scientific Reports*. 12:5929.
- Barrier, A., Haskell, M., Birch, S., Bagnall, A., Bell, D., Dickinson, J., Macrae, A., y Dwyer, C.M. 2013. The impact of dystocia on dairy calf health, welfare, performance and survival. *The Veterinary Journal*. 195:86-90.
- Baumgarth, N., Tung, A., y Herzenberg, L. 2005. Inherent specificities in natural antibodies: a key to immune defense against pathogen invasion. *Springer Seminar Immunopathology* 26:347–362.

- Besser, T., y Gay, C. 1994. The importance of colostrum to the health of the neonatal calf. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. 10:107-117.
- Beam, A., Lombard, J., Kopral, C., Garber, L., Winter, A., Hicks, J., y Schlater, J. 2009. Prevalence of failure of passive transfer of immunity in newborn heifer calves and associated management practices on US dairy operations. *Journal of Dairy Science*. 92:3973-3980.
- Bielmann, V., Gillan, J., Perkins, N., Skidmore, A., Godden, S., y Leslie, K. 2010. An evaluation of Brix refractometry instruments for measurement of colostrum quality in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. 93(8):3713-3721.
- Bittrich, S., Philipona, C., Hammon, H., Romé, V., Guilloteau, P., y Blum, J. 2004. Preterm as compared with full-term neonatal calves are characterized by morphological and functional immaturity of the small intestine. *Journal of Dairy Science*. 87:1786-1795.
- Blum, J. 2006. Nutritional physiology of neonatal calves. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 90(1-2):1-11.
- Blum, J., y Hammon, H. 2000. Colostrum effects on the gastrointestinal tract, and on nutritional, endocrine and metabolic parameters in neonatal calves. *Livestock Production Science*. 66(2):151-159.
- Bragg, R., Macrae, A., Lycett, S., Burrough, E., Russell, G., y Corbishley, A. 2020. Prevalence and risk factors associated with failure of transfer of passive immunity in spring-born beef suckler calves in Great Britain. *Preventive Veterinary Medicine*. 181:105059.
- Brouce, J., Kiask, P., y Uhrincat M. 2009. Effect of hot temperatures on the hematological parameters, health and performance of calves. *International Journal of Biometeorology* 53:201-208.
- Buczinski, S., Gicquel, E., Fecteau, G., Takwoingi, Y., Chigerwe, M., y Vandeweerd, J. 2018. Systematic review and meta-analysis of diagnostic accuracy of serum refractometry and Brix refractometry for the diagnosis

- of inadequate transfer of passive immunity in calves. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 32:474–483.
- Campana, W., y Baumrucker, C. 1995. Hormones and growth factors in bovine milk. En R. Jensen (Ed.), *Food science and technology Handbook of milk composition* (pp. 476-494). New York: Academic Press.
- Chassagne, M., Barnouin, J., y Chacornac, J. 1999. Risk factors for stillbirth in Holstein heifers under field conditions in France: A prospective survey. *Theriogenology*. 51:1466–1477.
- Chigerwe, M., Tyler, J., Schultz, L., Middleton, J., Steevens, B., y Spain, J. 2008. Effect of colostrum administration by use of oroesophageal intubation on serum IgG concentrations in Holstein bull calves. *American Journal of Veterinary Research*. 69(9):1158-1163.
- Costa, A., Goi, A., Penasa, M., Nardino, G., Posenato, L., y De Marchi, M. 2021. Variation of immunoglobulins G, A, and M and bovine serum albumin concentration in Holstein cow colostrum. *Animal*. 15(7):100299.
- Cuttance, E., Mason, W., Laven, R., McDermott, J., y Phyn, C. 2017. Prevalence and calf-level risk factors for failure of passive transfer in dairy calves in New Zealand. *New Zealand Veterinary Journal*. 65:297-304.
- Dahl, G., Tao, S., y Monteiro, A. 2016. Effects of late-gestation heat stress on immunity and performance of calves. *Journal of Dairy Science*. 99:3193-3198.
- Davis, C., y Drackley, J. 1998. The development, nutrition and management of the young calf.
- Deelen, S., Ollivett, T., Haines, D., y Leslie, K. 2014. Evaluación de un refractómetro Brix para estimar la concentración de inmunoglobulina G sérica en becerros lecheros recién nacidos. *Revista de Ciencias Lácteas*. 97:3838-3844.
- Dhakal, K., Maltecca, C., Cassady, J., Baloché, G., Williams, C., y Washburn, S. 2013. Calf birth weight, gestation length, calving ease, and neonatal calf mortality in Holstein, Jersey, and crossbred cows in a pasture system. *Journal of Dairy Science*. 96:690-698.

- Eker, F., Akdaşçi, E., Duman, H., Yalçintaş, Y.M., Canbolat, A.A., Kalkan, A.E., Karav, S., y Šamec, D. 2024. Antimicrobial properties of colostrum and milk. *Antibiotics*. 13(3):251.
- Elizondo-Salazar, J. 2007. Alimentación y manejo del calostro en el ganado de leche. *Agronomía Mesoamericana*. 18(2):271-281.
- Elsohaby, I., McClure, J., y Keefe, G. 2015. Evaluación de refractómetros digitales y ópticos para evaluar fallas en la transferencia de inmunidad pasiva en becerras lecheras. *Revista de Medicina Interna Veterinaria*. 29:721–726.
- Faber, S., Faber, N., Mccauley, T., y Ax, R. 2005. Case study: Effects of colostrum ingestion on lactational performance<sup>1</sup>. *The Professional Animal Scientist*. 21:420-425.
- Field, R., Bretzlaff, K., Elmore, R., y Rupp, G. 1989. Effect of induction of parturition on immunoglobulin content of colostrum and calf serum. *Theriogenology*. 32:501-506.
- Filteau, V., Bouchard, E., Fecteau, G., Dutil, L. y DuTremblay, D. 2003. Health status and risk factors associated with failure of passive transfer of immunity in newborn beef calves in Québec. *Canadian Veterinary Journal*. 44:907-913.
- Fischer, A.J., Song, Y., He, Z., Haines, D.M., Guan, L.L., y Steele, M.A. 2018. Effect of delaying colostrum feeding on passive transfer and intestinal bacterial colonization in neonatal male Holstein calves. *Journal of Dairy Science*. 101(4):3099-3109.
- Fischer-Tlustos, A., Lopez, A., Hare, K., Wood, K., y Steele, M. 2021. Effects of colostrum management on transfer of passive immunity and the potential role of colostrum bioactive components on neonatal calf development and metabolism. *Canadian Journal of Animal Science*. 101: 405-426.
- Gamsjäger, L., Haines, D.M., Pajor, E.A., Lévy, M., y Windeyer, M.C. 2021. Impact of volume, immunoglobulin G concentration, and feeding method of colostrum product on neonatal nursing behavior and transfer of passive immunity in beef calves. *Animal*. 15(9):100345.

- Gaspers, J., Stokka, G., Neville, B., y Dahlen, C. 2014. Relationship between birth weight and calving ease with passive transfer of immunoglobulins in neonatal beef calves. *North Dakota Beef Report AS1736*. 37–39.
- Gelsinger, S., Gray, S., Jones, C., y Heinrichs, A. 2014. Heat treatment of colostrum increases immunoglobulin G absorption efficiency in high-, medium-, and low-quality colostrum. *Journal of Dairy Science*. 97(4):2355-2360.
- Godden, S., Lombard, J., y Woolums, A. 2019. Colostrum management for dairy calves. *The Veterinary Clinics of North America. Food Animal Practice*. 35(3):535-556.
- Grosvenor, C., Picciano, M., y Baumrucker, C. 1993. Hormones and growth factors in milk. *Endocrine Reviews*. 14(6):710-728.
- Halleran, J., Sylvester, H.J., y Foster, D.M. 2017. Short communication: Apparent efficiency of colostral immunoglobulin G absorption in Holstein heifers. *Journal of Dairy Science*. 100(4):3282-3286.
- Hammon, H. M., Liermann, W., Frieten, D., y Koch, C. 2020. Review: Importance of colostrum supply and milk feeding intensity on gastrointestinal and systemic development in calves. *Animal: An International Journal of Animal Bioscience*. 14:133-143.
- Jones, C.M., y Heinrichs, A.J. 2006. *Calf Care*. W.D. Hoard y Sons Company.
- Kehoe, S., Jayarao, B. y Heinrichs, A. 2007. A survey of bovine colostrum composition and colostrum management practices on Pennsylvania dairy farms. *Journal of Dairy Science*. 90(9):4108-4116.
- Lago, A., Socha, M., Geiger, A., Cook, D., Silva-del-Río, N., Blanc, C., Quesnell, R., y Leonardi, C. 2018. Efficacy of colostrum replacer versus maternal colostrum on immunological status, health, and growth of preweaned dairy calves. *Journal of Dairy Science*. 101(2):1344-1354.
- Laporta, J., Fabris, T., Skibieli, A., Powell, J., Hayen, M., Horvath, K., Miller-Cushon, E., y Dahl, G. 2017. In-utero exposure to heat stress during late gestation has prolonged effects on the activity patterns and growth of dairy calves. *Journal of Dairy Science*. 100:2976-2984.

- Le Jan, C. 1996. Cellular components of mammary. *Veterinary Research*. 23:403-417.
- Lopez, A., y Heinrichs, A.J. 2022. Invited review: The importance of colostrum in the newborn dairy calf. *Journal of Dairy Science*. 105(4):2733-2749.
- Lopez, A., Echeverry-Munera, J., McCarthy, H., Welboren, A., Pineda, A., Nagorske, M., Renaud, D., y Steele, M. 2023. Effects of enriching IgG concentration in low- and medium-quality colostrum with colostrum replacer on IgG absorption in newborn Holstein calves. *Journal of Dairy Science*. 106:3680-3691.
- Lopez, A.J., Jones, C.M., Geiger, A.J., y Heinrichs, A.J. 2020. Comparison of immunoglobulin G absorption in calves fed maternal colostrum, a commercial whey-based colostrum replacer, or supplemented maternal colostrum. *Journal of Dairy Science*. 103(5):4838-4845.
- Lora, I., Barberio, A., Contiero, B., Paparella, P., Bonfanti, L., Brscic, M., Stefani, A.L. y Gottardo, F. 2018. Factors associated with passive immunity transfer in dairy calves: Combined effect of delivery time, amount and quality of the first colostrum meal. *Animal*. 125:1041-1049.
- Newby, T., Stokes, C., y Bourne, F.J. 1982. Immunological activities of milk. *Veterinary Immunology and Immunopathology*. 3(1-2):67-94.
- Mader, T., Davis, M., y Brown-Brandl, T. 2006. Factores ambientales que influyen en el estrés por calor en el ganado de engorde. *Revista de Ciencia Animal*. 84:712-719.
- McGuirk, S., y Collins, M. 2004. Managing the production, storage, and delivery of colostrum. *Veterinary Clinics: Food Animal Practice*. 20(3):593-603.
- McMillen, I, MacLaughlin, S., Muhlhausler, B., Gentili, S., Duffield, J., y Morrison, J. 2008. Developmental origins of adult health and disease: The role of periconceptional and foetal nutrition: early programming of adult health. *Basic Clinical Pharmacology Toxicology*. 102:82-89.
- Mellado, M., Lopez, E., Veliz, F., De Santiago, M., Macias-Cruz, U., Avendaño-Reyes, L., y García, J. 2014. *Livestock Science*. 159:149-155.

- Monteiro, A., Tao, S., Thompson, I., y Dahl, G. 2014. Effect of heat stress during late gestation on immune function and growth performance of calves: Isolation of altered colostrum and calf factors. *Journal of Dairy Science*. 97:6426-6439.
- Monteiro, A., Tao, S., Thompson, I., y Dahl, G. 2016. In utero heat stress decreases calf survival and performance through the first lactation. *Journal of Dairy Science*. 99:8443-8450
- Morin, D., McCoy, G., y Hurley, W. 1997. Effects of quality, quantity, and timing of colostrum feeding and addition of dried colostrum supplement on immunoglobulin G1 absorption in Holstein bull calves. *Journal of Dairy Science*. 80:747-753.
- Morrill, K., Polo, J., Lago, A., Campbell, J., Quigley, J., y Tyler, H. 2013. Estimación de la concentración de inmunoglobulina G sérica mediante refractometría con o sin fraccionamiento de ácido caprílico. *Revista de Ciencia Láctea*. 96:4535–4541.
- Murray, C., Veira, D., Nadalin, A., Haines, D., Jackson, M., Pearl, D., y Leslie, K. 2015. The effect of dystocia on physiological and behavioral characteristics related to vitality and passive transfer of immunoglobulins in newborn Holstein calves. *Canadian Journal of Veterinary Research*. 79:109-119.
- Nussbaum, O., Gross, J.J., Bruckmaier, R.M., y Eicher, R. 2023. Efficacy of oral administration of specific immunoglobulins in preventing neonatal calf diarrhoea in dairy herds. *Veterinary Record*. 193(12):e3559.
- Osaka, I., Matsui, Y., y Terada, F. 2014. Effect of the mass of immunoglobulin IgG intake and age at first colostrum feeding on serum IgG concentration in Holstein calves. *Journal of Dairy Science*. 97:6608-6612.
- Paape, M., Schultze W., Corlett N., y Weinland B. 1988. Effect of abraded intramammary device on outcome in lactating cows after challenge exposure with *Streptococcus uberis*. *American Journal of Veterinary Research*. 49:790–792.

- Pardon, B., De Bleecker, K., Hostens, M., Callens J., Dewulf, J., y Deprez, P. 2012. DEPRez. Longitudinal study on morbidity and mortality in white veal calves in Belgium. *BMC Veterinary Research*. 1:8-26.
- Peter, A. 2013. Bovine placenta: A review on morphology, components, and defects from terminology and clinical perspectives. *Theriogenology*. 80(7):693-705.
- Perino, L.J., Wittum, T.E., y Ross, G.S. 1995. Effects of various risk factors on plasma protein and serum immunoglobulin concentrations of calves at postpartum hours 10 and 24. *American Journal of Veterinary Research*. 56:1144-1148.
- Petzl, W., Gunther J., Pfister T., Sauter-Louis C., Goetze L., von Aulock S., Hafner-Marx A., Schuberth H.J., Seyfert H.M., y Zerbe, H. 2012. Lipopolysaccharide pretreatment of the udder protects against experimental *Escherichia coli* mastitis. *Innate Immunology*. 18:467–477
- Playford, R.J., y Weiser, M.J. 2021. Bovine colostrum: Its constituents and uses. *Nutrients*. 13(1): 265.
- Pyo, J., Hare, K., Pletts, S., Inabu, Y., Haines, D., Sugino, T., Guan, L.L., y Steele, M. 2020. Feeding colostrum or a 1:1 colostrum:milk mixture for 3 days postnatal increases small intestinal development and minimally influences plasma glucagon-like peptide-2 and serum insulin-like growth factor-1 concentrations in Holstein bull calves. *Journal of Dairy Science*. 103(5):4236-4251.
- Quigley, J., Drewry, J., y Martin, K. 1998. Estimation of plasma volume in Holstein and Jersey calves. *Journal of Dairy Science*. 81:1308-1312.
- Robbers, L., Jorritsma, R., Nielen, M., y Koets, A. 2021. A scoping review of on-farm colostrum management practices for optimal transfer of immunity in dairy calves. *Frontiers in Veterinary Science*. 8:668639.
- Renaud, D., Kelton, D., LeBlanc, S., Haley, D., y Duffield, T. 2018. Calf management risk factors on dairy farms associated with male calf mortality on veal farms. *Journal of Dairy Science*. 101:1785–1794.

- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2018. Crece la producción de leche en México: SAGARPA. Recuperado de: <https://www.gob.mx/agricultura/colima/articulos/crece-la-produccion-de-leche-en-mexico-sagarpa-158944>
- Salazar, J. 2007. Alimentación y manejo del calostro en el ganado de leche. *AGRONOMÍA MESOAMERICANA*. 271-281.
- Sangild, P. 2003. Uptake of colostral immunoglobulins by the compromised newborn farm animal. *Acta Veterinaria Scandinavica*. 98:105–122.
- Schmidek, A. Rodrigues Paranhos da Costa, M., Zerlotti Mercadante, M., Macedo de Toledo, M., dos Santos Gonçalves Cyrillo, J., y Branco, R.H. 2013. Genetic and non-genetic effects on calf vigor at birth and preweaning mortality in Nellore calves. *Revista Brasileira De Zootecnia*. 42:421-427.
- Schroeder, H. Jr., y Cavacini L. 2010. Structure and function of immunoglobulins. *Journal of Allergy Clinical and Immunology*. 125:S41–S52.
- Schultze, W., y Paape M. 1984. Effect on outcome of intramammary challenge exposure with *Staphylococcus aureus* of somatic cell concentration and presence of an intramammary device. *American Journal of Veterinary Research*. 45:420–423.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2020. Panorama de la lechería en México. Recuperado de: <http://infosiap.siap.gob.mx/opt/boletlech/Brochure%20Cuarto%20Trimestre%202019.pdf>.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2024. Estadística de Producción Ganadera De 2023. Recuperado de: [http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos/Estadist\\_Produccion\\_Pecuaria/cierre\\_2023.csv](http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos/Estadist_Produccion_Pecuaria/cierre_2023.csv).
- Staněk, S., Nejedlá, E., Fleischer, P., Pechová, A., y Šlosárková S. 2019. Prevalence of failure of passive transfer of immunity in dairy calves in the Czech Republic. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 67:163-172.

- Stelwagen, K., Carpenter, E., Haigh, B., Hodgkinson, A., y Wheeler, T.T. 2009. Immune components of bovine colostrum and milk. *Journal of Animal Science* 87(suppl. 13):3–9.
- Stott, G., y Fellah, A. 1983. Colostral immunoglobulin absorption linearly related to concentration for calves. *Journal of Dairy Science*. 66:1319-1328.
- Strong, R., Silva, E., Cheng, H., y Eicher, S. 2015. Acute brief heat stress in late gestation alters neonatal calf innate immune functions. *Journal of Dairy Science*. 98:7771–7783.
- Tao, S. y Dahl, G. 2013. Invited review: heat stress effects during late gestation on dry cows and their calves. *Journal of Dairy Science*. 96:4079-4093.
- Tizard, I.R. 2013. *Veterinary immunology*. 9th ed. St. Louis (MO). Elsevier, Inc
- Trotz-Williams, L., Leslie, K., y Peregrine, A. 2008. Passive immunity in Ontario dairy calves and investigation of its association with calf management practices. *Journal of Dairy Science*. 91:3840-3849.
- Turini, L., Conte, G., Bonelli, F., Sgorbini, M., Madrigali, A., y Mele, M. 2020. The relationship between colostrum quality, passive transfer of immunity and birth and weaning weight in neonatal calves. *Livestock Science*. 238:104033.
- Van Soest, B., Weber Nielsen, M., Moeser, A.J., Abuelo, A., y VandeHaar, M.J. 2022. Transition milk stimulates intestinal development of neonatal Holstein calves. *Journal of Dairy Science*. 105(8):7011-7022.
- Vannucchi, C., Silva, L., Lúcio, C., y Veiga, G. 2019. Oxidative stress and acid–base balance during the transition period of neonatal Holstein calves submitted to different calving times and obstetric assistance. *Journal of Dairy Science*. 102:1542-1550.
- Wang, J., Li, J., Wang, F., Xiao, J., Wang, Y., Yang, H., Li, S., y Cao, Z. 2020. Heat stress on calves and heifers: A review. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 11(1):79.
- Wiedmeier, R., Young, A., y Hammon, D. 2005. Frequent changing and rinsing of drinking water buckets improved performance of hutch-reared Holstein calves. *Bovine Practitioner*. 40:1-8.

- Wilm, J., Costa, J., Neave, H., Weary, D., y von Keyserlingk, M. 2018. Technical note: serum total protein and immunoglobulin G concentrations in neonatal dairy calves over the first 10 days of age. *Journal of Dairy Science*. 101:6430–6436.
- Windeyer, M., Leslie, K., Godden, S., Hodgins, G., Lissemore, K., y Leblanc, S. 2012. LEBLANC. The effects of viral vaccination of dairy heifer calves on the incidence of respiratory disease, mortality, and growth. *Journal of Dairy Science*. 95:6731-6739.