

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE VETERINARIA**

**EFFECTO DEL NIVEL DE INGESTA DE INMUNOGLOBULINA G AL NACER
SOBRE LA TRANSFERENCIA DE INMUNIDAD PASIVA EN TERNEROS
HOLSTEIN DE DISTINTO ORIGEN GENÉTICO**

por

Paula JANAVEL MARTÍNEZ

TESIS DE GRADO presentada como uno de
los requisitos para obtener el título de Doctor
en Ciencias Veterinarias

Orientación: Producción Animal

MODALIDAD: Ensayo experimental

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2023**

PÁGINA DE APROBACIÓN

Tesis de grado aprobada por:

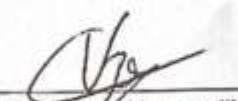
Presidente de mesa:


Dra. Stephanie Lara

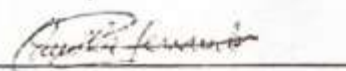
Segundo miembro (Tutor):


Ing. Agr. Alejandro Mendoza

Tercer miembro:


Dr. Kevin Yaneselli

Cuarto miembro:



Ing. Agr. Camila Ferrando

Quinto miembro:


Dr. Maximiliano Pastorini

Fecha: 11 de octubre de 2023

Autor:


Br. Paula Janavel

AGRADECIMIENTOS

A mi familia y amigos, por la motivación y el apoyo incondicional durante todos estos años.

A mis tutores, Alejandro, Camila y Maximiliano, por su tiempo, compromiso y dedicación.

Al equipo de trabajo de INIA La Estanzuela, por su colaboración en el desarrollo del ensayo experimental.

TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN.....	2
AGRADECIMIENTOS.....	3
LISTA DE CUADROS Y FIGURAS.....	6
RESUMEN.....	7
SUMMARY.....	8
1. INTRODUCCIÓN.....	9
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	10
2.1. Sector lechero en Uruguay.....	10
2.2. Características de la crianza de terneros en Uruguay.....	10
2.2.1. Registros.....	10
2.2.2. Alojamiento e instalaciones.....	11
2.2.3. Higiene y desinfección.....	11
2.2.4. Manejo de la alimentación.....	11
2.2.5. Factores asociados a la mortalidad.....	12
2.3. Transferencia de inmunidad pasiva (TIP).....	12
2.3.1. El calostro.....	13
2.3.2. Factores que afectan la transferencia de inmunidad pasiva.....	15
2.3.2.1. Momento de calostrado.....	15
2.3.2.2. Cantidad de calostro.....	15
2.3.2.3. Calidad del calostro.....	16
2.3.3. Evaluación de la transferencia de inmunidad pasiva.....	16
2.4. Estrategias para el manejo del calostrado.....	17
2.4.1. Calostrado natural y artificial.....	17
2.4.2. Sustitutos de calostro y suplementos de calostro.....	18
2.5. Salud en terneros.....	18
2.6. Genotipos Holstein Norteamericano y Holstein Neozelandés.....	19
3. HIPÓTESIS.....	20
4. OBJETIVOS.....	20
4.1. Objetivo general.....	20
4.2. Objetivos específicos.....	20
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
5.1. Localización del experimento.....	21

5.2. Diseño experimental.....	21
5.3. Manejo de los animales.....	22
5.4. Mediciones.....	23
5.4.1. Análisis de los alimentos.....	23
5.4.2. Concentración de IgG del sustituto de calostro.....	24
5.4.3. Transferencia de inmunidad pasiva.....	24
5.4.4. Eficiencia aparente de absorción.....	24
5.5 Indicadores de salud.....	24
5.6 Análisis estadístico.....	25
6. RESULTADOS.....	26
6.1. Parámetros de la TIP 24 horas post calostrado.....	26
6.2. Incidencia acumulada de falla en la transferencia de inmunidad pasiva (FTIP) y de TIP buena a excelente.....	28
6.3. Indicadores de salud.....	28
7. DISCUSIÓN.....	30
8. CONCLUSIONES.....	33
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	34
ANEXOS.....	40

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

Tablas:

Tabla 1. Composición química del calostro, leche de transición y leche entera de vacas Holstein.....	14
Tabla 2. Composición química del sustituto de calostro, sustituto lácteo y concentrado en base seca.....	23
Tabla 3. Medias marginales estimadas para el efecto de la dosis de IgG y el origen genético sobre los parámetros de la TIP 24 h post calostrado, con el error estándar de la media (EEM) entre paréntesis.....	27
Tabla 4. Medias marginales estimadas para el efecto de la dosis de IgG y el origen genético sobre la incidencia acumulada (IA) de FTIP (IgG sérica < 10 g/L), y de transferencia de inmunidad pasiva buena a excelente (TIP: IgG sérica ≥ 18 g/L), con el número de terneros entre paréntesis.....	28
Tabla 5. Medias marginales estimadas para el efecto de la dosis de IgG y el origen genético sobre los indicadores de salud, con el EEM entre paréntesis.....	29

Figuras:

Figura 1. Efecto del tiempo desde el nacimiento hasta la primera ingesta de calostro en la EAA de IgG.....	15
--	----

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue analizar el efecto de dos niveles contrastantes de suministro de inmunoglobulina G (IgG) sobre la transferencia de inmunidad pasiva (TIP) y aspectos de salud en terneros Holstein de distinto origen genético: Holstein Norteamericano (HNA) y Holstein Neozelandés (HNZ). Se utilizaron 80 terneros (40 HNA y 40 HNZ), los cuales dentro de cada origen genético se asignaron aleatoriamente a una de las siguientes dosis de IgG antes de las 2 horas de vida: 3 g IgG/kg PV al nacer (D3), o 6 g IgG/kg PV al nacer (D6). Como resultado, se evaluaron 4 tratamientos (n=20/tratamiento): HNAD3= terneros HNA a los que se suministró 3 g IgG/kg PV al nacer, HNAD6= terneros HNA a los que se suministró 6 g IgG/kg PV al nacer, HNZD3= terneros HNZ a los que se suministró 3 g IgG/kg PV al nacer, y HNZD6= terneros HNZ a los que se suministró 6 g IgG/kg PV al nacer. A cada ternero se le extrajo sangre por venopunción yugular pre calostro y a las 24 horas post calostro, y se determinó la concentración sérica de IgG por inmunodifusión radial, proteínas totales (PT) mediante espectrofotómetro automatizado y % Brix mediante refractómetro digital. Además, se determinó la eficiencia aparente de absorción (EAA) y se observó diariamente a los terneros en cuanto a indicadores de salud. No se observó efecto significativo de la interacción dosis x origen genético (OG) para las variables de IgG, PT, Brix y EAA. Se observó un efecto de la dosis sobre la concentración de IgG, donde fue mayor en los terneros D6 que los D3 (21,7 g/L vs 12,1 g/L; $p < 0,001$). Para esta misma variable, se detectó un efecto significativo del OG, donde los terneros HNZ tuvieron mayores concentraciones que los HNA (17,9 g/L vs 15,9 g/L; $p = 0,031$). Para las variables PT y % Brix sólo hubo efecto de la dosis, siendo mayor para los terneros D6 (5,7 g/dL vs 5,1 g/dL; $p < 0,001$, y 8,6 % Brix vs 7,9 % Brix; $p < 0,001$, respectivamente). En cuanto a la EAA, fue mayor en los terneros HNZ respecto a los HNA (36,0 % vs 31,5 %; $p = 0,015$), y mayor en los terneros D3 respecto a los D6 (35,5 % vs 32,0 %; $p = 0,044$). Se observó una interacción dosis x OG para la variable incidencia de falla en la transferencia de inmunidad pasiva (FTIP), ya que dentro de los terneros D3, los HNZ tuvieron menor FTIP que los terneros HNA (10,0 % vs 45,0 %; $p = 0,048$); sin embargo, en D6, no hubo diferencias entre orígenes genéticos. A excepción de los días con hipertermia, donde los terneros D3 tuvieron mayores valores que los D6, no se detectó efecto de la dosis o del OG sobre ninguna de las otras variables indicadoras de salud. Se concluyó que los terneros que recibieron la dosis de 6 g IgG/kg PV al nacer obtuvieron mayores niveles de IgG sérica, pero menores porcentajes de EAA que los terneros que recibieron 3 g IgG/kg PV. Además, los terneros de origen genético HNZ lograron mayores niveles en parámetros de TIP y EAA que los terneros HNA, independientemente de la dosis de IgG suministrada. Sin embargo, a pesar de que se generaron diferentes grados de TIP debido a la dosis de IgG y el OG, ello no resultó en diferencias relevantes en los indicadores de salud.

SUMMARY

The objective of this work was to analyze the effect of two contrasting levels of immunoglobulin G (IgG) on transfer of passive immunity (TPI) and health aspects in Holstein calves of different genetic strains: North American Holstein (HNA) and New Zealand Holstein (HNZ). Eighty calves (40 HNA and 40 HNZ) were used, which within each genetic strain were randomly assigned to one of the following IgG doses within 2 hours of life: 3 g IgG/kg BW at birth (D3), or 6 g IgG/kg BW at birth (D6). As a result, 4 treatments were evaluated (n=20/treatment): HNAD3= HNA calves that were given 3 g IgG/kg BW at birth, HNAD6= HNA calves that were given 6 g IgG/kg BW at birth, HNAD3= HNZ calves given 3 g IgG/kg BW at birth, and HNAD6= HNZ calves given 6 g IgG/kg BW at birth. Blood was extracted from each calf by jugular venipuncture prior to colostrum intake and 24 hours after colostrum intake, and the concentration of IgG was determined by radial immunodiffusion, total proteins (TP) by automated spectrophotometer and % Brix by digital refractometer. In addition, apparent efficiency of absorption (AEA) was determined, and calves were observed daily for health aspects. No significant dose x genetic strain (GS) interaction was observed for IgG, TP, % Brix or AEA variables. A dose effect on IgG concentration was observed, where D6 calves had higher concentrations than D3 (21.7 g/L vs 12.1 g/L; $p < 0.001$). For this same variable, a significant effect of GS was detected, where HNZ calves had higher concentrations than HNA (17.9 g/L vs 15.9 g/L; $p = 0.031$). For the variables TP and % Brix only a dose effect was observed, with higher values for D6 calves (5.7 g/dL vs 5.1 g/dL; $p < 0.001$, and 8.6% Brix vs 7.9% Brix, $p < 0.001$, respectively). Regarding AEA, it was higher in HNZ calves compared to HNA calves (36.0% vs 31.5%; $p = 0.015$), and higher in D3 calves compared to D6 (35.5% vs 32.0%; $p = 0.044$). An interaction between dose and GS was observed for the variable incidence of failure of transfer of passive immunity (FTPI), as within the D3 calves, the HNZ calves had lower FTPI than the HNA calves (10.0 % vs 45.0 %, $p = 0.048$); however, at D6, there were no differences between GS. Except for days with hyperthermia, where D3 calves had higher values than D6, no effect of dose or GS was detected on any of the other health indicator variables. It was concluded that the calves that received the dose of 6 g IgG/kg BW at birth obtained higher levels of serum IgG, but lower percentages of AEA than the calves that received 3 g IgG/kg BW. In addition, HNZ calves achieved higher levels in TPI and AEA parameters than HNA calves, regardless of the dose of IgG supplied. However, even though different degrees of TPI were generated due to the IgG dose and the GS, this did not result in relevant differences in health indicators.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años ha habido un aumento en la producción lechera en Uruguay, sin embargo, no ha crecido el stock lechero nacional, en parte debido a una insuficiente reposición causada por una alta mortalidad de terneros (DIEA, 2021). Según Schild et al. (2020) la mortalidad anual en terneros desde el nacimiento hasta el desleche es de 15,2%. Este alto porcentaje de mortalidad representa una pérdida económica para el productor, ya que, como afirma McGuirk (2008), el costo de criar las vaquillonas para reemplazo en el propio predio es menor al de comprar una vaquillona preñada, por lo que la muerte de terneras tiene un impacto económico significativo. Por eso es importante ser eficientes en la cría de terneros, para mantener un rodeo basado en reposición propia (Schild, 2017). El período de cría es un momento crítico, y comprender la relación entre los factores de manejo y la salud de los terneros es fundamental para la producción lechera (Wells, Dargatz y Ott, 1996).

Es posible obtener una cría eficiente y reducir las tasas de mortalidad mejorando las prácticas de manejo, considerando que la ingesta temprana y adecuada de calostro de alta calidad es la que determina la salud del ternero (Godden, Lombard, y Woolums, 2019; Schild, 2017). Si bien existen varios factores que afectan el bienestar de los terneros, Wells et al. (1996) resaltan la importancia del manejo del calostrado y afirman que, realizando cambios en el método, momento y volumen del mismo, se podría prevenir hasta un 31% de la mortalidad en terneros hasta los 21 días de edad.

La placenta bovina impide que haya una transmisión de inmunoglobulinas (Ig) de la madre hacia el feto dentro del útero, por lo tanto, los terneros nacen con agammaglobulinemia, y dependen de la ingesta de calostro para la absorción de Ig (Godden, 2008; Weaver, Tyler, VanMetre, Hostetler y Barrington, 2000). Este proceso de absorción de Ig maternas en el intestino delgado dentro de las 24 horas post nacimiento, se denomina transferencia de inmunidad pasiva (TIP) (Godden et al., 2019). Para lograr una adecuada TIP, las recomendaciones en cuanto a cantidades de calostro se encuentran en unidades de litros o en gramos de inmunoglobulina G (IgG) que se deben suministrar al ternero (Chigerwe et al., 2008). Sin embargo, Turini et al. (2020) observaron que el peso al nacer del ternero también influye en los requerimientos y Conneely et al. (2014) estudiaron diferentes volúmenes de calostro expresados como porcentaje de peso vivo (PV) al nacer. Por lo tanto, en esta tesis se decidió expresar la cantidad de calostro a suministrar en términos de g de IgG/kg PV al nacer, facilitando de esta manera la recomendación para terneros de diferente origen genético, cuyos pesos al nacer son diferentes.

Según INALE (2019), en el rodeo lechero uruguayo, el 91% corresponde a la raza Holstein Friesian, dentro de la cual, el 78% corresponde a Holstein Norteamericano (HNA) y el 13% a Holstein Neozelandés (HNZ). A pesar de la gran proporción de esta raza en Uruguay y de las diferencias entre ambos orígenes genéticos, así como de la importancia de la ingesta de calostro en terneros, no existen antecedentes a nivel nacional o internacional de cómo varía la respuesta a nivel de la TIP en terneros de diferentes genotipos ante cambios en el nivel de ingesta de IgG.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Sector lechero en Uruguay

El rubro lechero es uno de los más importantes del sector agropecuario en Uruguay. La producción lechera es la que obtiene mayores ingresos en exportaciones por hectárea, ya que exporta un 70% de la leche producida a más de 60 mercados, ubicándose en séptimo lugar a nivel mundial (INALE, 2022; INIA, 2022). Si bien ocupa un 5% del territorio del país, en ese pequeño porcentaje, anualmente se produce leche para más de 20 millones de personas (INALE, 2022). Por lo tanto, el sector trabaja siempre en busca de una mejora continua, ya que está condicionado por las exigencias del mercado internacional (INALE, 2022). La lechería es importante a nivel económico, pero también desde el punto de vista sociocultural; el consumo anual de leche per cápita es de 230 litros, más del doble del consumo mundial promedio (INALE, 2022). También, genera una gran cantidad de puestos de trabajo; según INALE (2022), actualmente en el país hay 3300 productores de leche y se producen 2.200 millones de litros de leche por año.

Según DIEA (2021), en el período 2014/15 - 2019/20 hubo una leve caída en la cantidad de productores, en cabezas de ganado y en superficie total ocupada por el rubro lechero, pero debido a que hubo un aumento en la producción total, y en el procesamiento predial de leche, se observó un incremento en la productividad y eficiencia total. El aumento que se ha dado en la producción de leche nacional ha sido acompañado de un proceso de concentración de los sistemas de producción, lo que genera la necesidad de adaptar nuevas tecnologías para mantener una sostenibilidad económica, social y ambiental, así como para enfrentar las nuevas problemáticas que van surgiendo (INIA, 2022).

A pesar de que ha habido un aumento en la producción, el stock lechero nacional no ha crecido significativamente en los últimos años (DIEA, 2021). Según Schild (2017) esto puede ser en parte debido a una baja eficiencia reproductiva, una alta tasa de refugo, y a una alta mortalidad de terneras que genera una insuficiente reposición. Es imprescindible mantener la salud de los terneros ya que es la base de un sistema de producción exitoso, desde el punto de vista económico y de bienestar animal (Gulliksen, Lie y Østerås, 2009). Por lo tanto, para prevenir enfermedades y reducir dichas pérdidas de terneras, es necesario conocer los sistemas de crianza, las prácticas de manejo y los factores de riesgo relacionados (Schild, 2017).

2.2 Características de la crianza de terneros en Uruguay

2.2.1 Registros

De acuerdo a los resultados obtenidos por Schild et al. (2020), en los sistemas de crianza de terneros lecheros en los establecimientos de Uruguay, un 16,6% de los productores llevaban un buen registro, con datos completos de los animales que incluían: fecha de nacimiento, sexo, signos clínicos de enfermedad, tipo de tratamiento, y edad de muerte o salida de las instalaciones de la cría. Por otro lado, un 63,4% de los productores llevaban algún registro, quiere decir que los datos eran incompletos o discontinuos; mientras que un 20% no llevaba registros. Esto reafirma la importancia de alentar a los productores a llevar registros de salud de los terneros,

los cuales son necesarios para la prevención de enfermedades, mejoramiento genético, y trabajos de investigación (Gulliksen et al., 2009).

2.2.2 Alojamiento e instalaciones

En cuanto a los sistemas de alojamiento utilizados para la crianza de terneros, existen sistemas individuales como estacas, correderas, jaulas techadas o bretes estabulados, pero también existen sistemas grupales como corrales o boxes comunitarios (Schild, 2017). El bienestar de los terneros está influenciado por el confort térmico, físico, psicológico y conductual, por lo tanto, cualquier alteración puede ser una fuente de estrés, entonces hay que proveer de alojamientos que cumplan con ese objetivo de protección del ternero (Stull y Reynolds, 2008). En un 31,8% de los tambos de Uruguay, según los resultados de Schild et al. (2020), se utilizaba alojamiento individual para los terneros, en un 11,7% corrales grupales, y en un 56,6% se utilizan los sistemas mixtos, ya que primero permanecían un período de manera individual y luego eran transferidos a corrales grupales.

Los diseños de las instalaciones donde se alojan los terneros están asociados con factores de riesgo de enfermedades infecciosas (Marcé, Guatteo, Bareille y Fourichonet, 2010). Tanto los alojamientos grupales como los individuales deben tener la capacidad de satisfacer las necesidades térmicas y físicas de los animales, y el individual puntualmente tiene la característica de minimizar la propagación de enfermedades, pero la desventaja es que puede afectar el comportamiento ya que no permite que los terneros interactúen (Stull y Reynolds, 2008). Según un relevamiento nacional (Schild, 2017), la mayoría de los sistemas de alojamiento se encontraban al aire libre, con sombra y reparo, y no permanecían encharcados luego de períodos de lluvias, siendo estos factores importantes para el confort de los terneros, y que luego pueden influir en las tasas de mortalidad.

2.2.3 Higiene y desinfección

Un adecuado manejo de la higiene es crucial para reducir la morbilidad y asegurar la sobrevivencia de los terneros durante el período de cría, particularmente el período neonatal temprano, que es cuando los terneros son más susceptibles a patógenos (McGuirk, 2008; Stull y Reynolds, 2008). En un relevamiento realizado por Schild et al. (2020) se reportó que sólo un 27,6% realizaba la rotación del área destinada a la cría; la separación de los terneros enfermos se realizaba en un 38,9% y la desinfección de comederos en un 59,1%. Cada lugar por donde pasa el ternero hasta el desleche, es considerado una potencial fuente de infección, así como los comederos y utensilios utilizados, los cuales deben limpiarse y desinfectarse para no facilitar la transmisión de patógenos entéricos entre terneros (McGuirk, 2008).

2.2.4 Manejo de la alimentación

Un adecuado manejo de la alimentación durante la crianza es imprescindible para lograr los objetivos de duplicar el peso al nacimiento al momento del desleche y haber tratado menos de 30% de los animales en los primeros 30 días de vida. Para ello, es necesario proveer dietas líquidas de alta calidad suministradas en cantidad suficiente para estimular el crecimiento y la inmunidad biológicamente normales. Durante este período, y en particular durante el primer mes de vida, el ternero debe ser alimentado

con fuentes de proteínas y energía muy parecidas a las contenidas en los productos lácteos, que proporcionarán los aminoácidos y la energía necesarios a partir de la grasa y la lactosa. Sin embargo, tempranamente se debe proveer cantidades adecuadas de agua de alta calidad y concentrado iniciador para estimular un adecuado desarrollo del epitelio ruminal (James, 2011).

De acuerdo con Schild et al. (2020), en un relevamiento de 225 tambos, los terneros eran alimentados mayormente (68,2%) con leche de descarte, pero también con sustituto lácteo en un 37,2%, y leche entera de tanque en un 26,9% de los casos (Schild et al., 2020). La leche entera no pasteurizada puede ser un factor de riesgo para las enfermedades entéricas; en cambio, el sustituto lácteo y la leche pasteurizada tienen un bajo riesgo de contaminación bacteriana (McGuirk, 2008). Además, según Schild et al. (2020) en promedio se les administraba 4,5 litros de leche o sustituto lácteo por día, y la mayoría lo ofrecían en 2 tomas diarias (Schild, 2017). En nuestro país, la edad promedio al desleche fue de 75 días, predominando el método de desleche gradual con un 74,1% contra un desleche abrupto en un 25,9% (Schild et al., 2020). En cuanto a la dieta sólida de los terneros, se les suministraba, en la mayoría de los casos, alimentos balanceados iniciadores y alimentos fibrosos en base a fardo (Schild, 2017). El agua debe ser siempre parte de la dieta líquida, administrada *ad libitum* desde el nacimiento o a los pocos días de nacido (Stull y Reynolds, 2008). Se reporta que un 11,1% de los establecimientos no ofrecían agua a los terneros (Schild et al., 2020).

2.2.5 Factores asociados a la mortalidad

La mortalidad anual desde el nacimiento hasta el desleche, según los datos obtenidos por Schild et al. (2020), fue de 15,2%, lo que indica un bajo bienestar de los terneros. Es importante estudiar las tasas de morbilidad y mortalidad porque permite identificar cuáles son las mejores prácticas de manejo que se pueden adoptar, y así, implementar protocolos y estrategias correctas que logren un control eficiente y efectivo del neonato (Mee, 2008; Perez, Noordhuizen, van Wuijkhuise y Stassenet, 1990). Hay diversos factores de riesgo asociados a mortalidad durante la crianza, como el alojamiento de los terneros, protocolos de alimentación, así como las prácticas de calostro defectuosas que concluyen en una inadecuada TIP (McGuirk 2008; Svensson, Linder y Olsson, 2006). Es fundamental realizar buenas prácticas de manejo las primeras tres semanas de vida de los terneros, para obtener una buena salud de los mismos (Wells et al., 1996).

Mejorando prácticas de manejo como el calostro, alimentación e higiene, es posible obtener una cría eficiente, y de esa manera reducir las altas tasas de mortalidad (Schild, 2017). El manejo más importante que determina la salud y supervivencia del ternero es una ingesta temprana y adecuada de calostro de alta calidad (Godden et al., 2019).

2.3 Transferencia de inmunidad pasiva

La placenta bovina es del tipo sindesmocorial, la cual no permite que haya contacto entre la sangre materna y fetal, impidiendo la transferencia de Ig desde la madre hacia el feto, y por lo tanto los terneros nacen agammaglobulinémicos, siendo necesario que consuman calostro para que se produzca la TIP (Godden et al., 2019; Weaver et al.,

2000). Hasta que se active su sistema inmunológico, el neonato va a depender de las Ig contenidas en el calostro (Cuttance, Mason, Laven y Phyn, 2018).

La TIP corresponde a la absorción de Ig calostrales maternas a través del intestino delgado dentro de las primeras 24 horas de vida del ternero, esto lo protege hasta que su sistema inmune madure (Godden et al., 2019). Este proceso se debe a que el enterocito neonatal tiene la capacidad de absorber macromoléculas intactas, provocando una permeabilidad intestinal que va disminuyendo progresivamente con el tiempo, hasta cerrarse por completo a las 24 horas (Godden et al., 2019; Weaver et al., 2000). Una falla en la TIP se relaciona con un mayor riesgo de contraer enfermedades en el período de crianza y aumenta el riesgo de mortalidad (Cuttance et al., 2018). Además, a largo plazo, una adecuada TIP influye en mayores ganancias de peso, menor edad al primer parto y mayor producción de leche en la primera y segunda lactancia (Godden et al., 2019).

2.3.1 El calostro

El calostro es la primera secreción de la glándula mamaria luego del parto, fundamental para la salud del ternero neonato; consiste en una mezcla de secreciones lácteas y componentes del suero sanguíneo, como Ig y otras proteínas (Godden, 2008; Mendoza, Caffarena, Fariña, Morales y Giannitti, 2017). El transporte de Ig desde el suero hacia la glándula mamaria comienza unas semanas previas al parto, y alcanza su pico máximo de 1 a 3 días preparto (Godden, 2008; Sasaki, Davis y Larson, 1976).

Dentro de los componentes más importantes del calostro se encuentran inmunoglobulinas, leucocitos, hormonas, factores de crecimiento y nutrientes, los cuales se pueden apreciar en la Tabla 1. Dichos componentes se encuentran en mayor concentración en las primeras secreciones y van disminuyendo con los ordeños posteriores, hasta alcanzar las concentraciones que se encuentran en la leche entera (Godden et al., 2019). El contenido de sólidos totales en el calostro del primer ordeño es mayor que en la leche, debido al aumento de proteínas totales (PT), sobre todo de Ig (Godden et al., 2019).

Tabla 1. Composición química del calostro, leche de transición y leche entera de vacas Holstein.

	Calostro	Leche de transición		Leche entera
	1° ordeño	2° ordeño	3° ordeño	6° ordeño
Densidad relativa	1,056	1,040	1,035	1,032
Sólidos totales, %	23,9	17,9	14,1	12,9
Grasa, %	6,7	5,4	3,9	4,0
Proteína total, %	14,0	8,4	5,1	3,1
Caseínas, %	4,8	4,3	3,8	2,5
Inmunoglobulinas, %	6,0	4,2	2,4	0,09
IgG, g/dL	3,2	2,5	1,5	0,06
Lactosa, %	2,7	3,9	4,4	5,0
IGF-I, µg/L	341	242	144	15
Insulina, µg/L	65,9	34,8	15,8	1,1
Minerales, %	1,11	0,95	0,87	0,74
Calcio, %	0,26	0,15	0,15	0,13
Magnesio, %	0,04	0,01	0,01	0,01
Zinc, mg/100 mL	1,22	-	0,62	0,30
Manganeso, mg/100 mL	0,02	-	0,01	0,004
Hierro, mg/100g	0,20	-	-	0,05
Cobalto, µg/100 g	0,50	-	-	0,10
Vitamina A, µg/ 100 mL	295	190	113	34
Vitamina E, µg/g de grasa	84	76	56	15
Riboflavina, µg/mL	4,83	2,71	1,85	1,47
Vitamina B12, µg/100mL	4,9	-	2,5	0,6
Ácido fólico, µg/100 mL	0,8	-	-	0,2
Colina, mg/mL	0,70	0,34	0,23	0,13

Fuente: Adaptado de Godden et al. (2019)

Las Ig son proteínas producidas por los linfocitos, y representan la tercera línea de defensa del organismo frente a sustancias extrañas (Elizondo-Salazar, 2007). La principal Ig aportada por el calostro es la IgG, la cual proviene del suero materno y se une a receptores de las células epiteliales alveolares que se encuentran en la glándula mamaria (Barrington et al., 1997; Larson, Heary y Devery, 1980). La IgG es el principal tipo de anticuerpo presente en la circulación sanguínea y su función es fundamental en la salud ya que se une directamente a los microorganismos patógenos, ayudando a combatir las infecciones (Mendoza et al., 2017).

Además de su valor inmunológico, el calostro es una excelente fuente de nutrientes, al aportar energía, vitaminas y minerales, que apoyan al neonato en los primeros días de vida (Quigley y Drewry, 1998). Los nutrientes y factores no nutritivos, como son las hormonas y factores de crecimiento, son importantes para el crecimiento y desarrollo del intestino, ayudando a mejorar la absorción del tracto gastrointestinal; además, por su alto contenido de sales, el calostro tiene función laxante, lo cual ayuda a expulsar el meconio (Hammon, Steinhoff-Wagner, Flor, Schönhusen y Metgeset, 2013). Los terneros nacen con hipoglucemia y la ingesta de calostro estimula la producción endógena de glucosa y la gluconeogénesis, mejorando el estado metabólico y el desarrollo posnatal (Hammon et al., 2013). La energía que aporta el calostro es importante para el neonato, ya que nace con bajas reservas de energía y de protección

aislante, y en particular si nace expuesto a bajas temperaturas ambientales, su capacidad de mantener la homeotermia es aún más limitada (Mendoza et al., 2017; Quigley y Drewry, 1998).

2.3.2 Factores que afectan la transferencia de inmunidad pasiva

Los factores que influyen en que la TIP sea exitosa comprenden el momento del calostrado, la cantidad de calostro suministrada y la calidad del mismo (Weaver et al., 2000).

2.3.2.1 Momento de calostrado

La absorción de las Ig a través del intestino delgado es óptima en las primeras 4 horas y comienza a disminuir 12 horas posparto (Stott, Marx, Menefee y Nightengale, 1979). Por lo tanto, lo ideal es que el ternero ingiera calostro dentro de las primeras 6 horas de vida, y no más allá de las 12 horas posteriores al nacimiento (Roche et al., 2015). De esta manera, se obtiene una mejor eficiencia aparente de absorción (EAA), la cual mide la eficiencia con la cual se absorbieron las Ig, y se calcula de la siguiente manera: $\text{IgG sérica (g)} / \text{ingesta IgG (g)} \times 100$ (Quigley y Drewry, 1998).

Por lo tanto, el momento de ingestión del calostro está directamente relacionado con la EAA, la cual es poco eficiente porque generalmente no supera el 27% (Roche et al., 2015; Figura 1). En un estudio realizado por Osaka, Matsui y Terada (2014) se muestra la relación entre la edad al momento de ingesta de calostro y la EAA. Se observó que la EAA empieza a declinar lentamente a medida que aumenta la edad de ingestión, hasta que llega a un punto de inflexión a las 12 horas donde comienza a declinar más rápidamente.

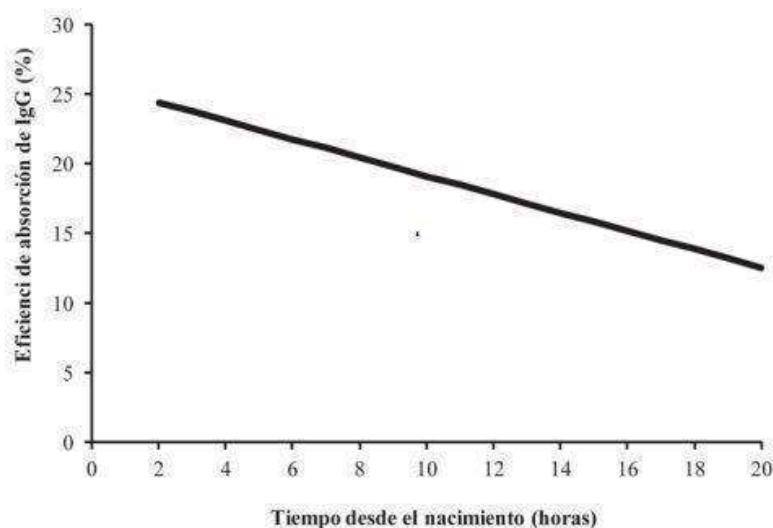


Figura 1. Efecto del tiempo desde el nacimiento hasta la primera ingesta de calostro en la eficiencia aparente de absorción de IgG. Fuente: Adaptado de Roche et al. (2015)

2.3.2.2 Cantidad de calostro

Chigerwe et al. (2008) demostraron que se requiere una ingesta mínima de 150 a 200 g de IgG para lograr una adecuada TIP, y recomienda la administración de 3 L de calostro con sonda bucoesofágica dentro de las primeras 2 horas de vida. Según

Furman-Fratczak, Rzasa y Stefaniak (2011), una de las principales causas de falla en la transferencia de inmunidad pasiva (FTIP) es la ingestión de bajo volumen de calostro.

En un estudio realizado por Turini et al. (2020) se observó que el peso del ternero al nacer influye en los requerimientos de cantidad de calostro, ya que los terneros más pesados requieren ser alimentados con mayor cantidad para obtener una adecuada TIP. Al existir diferencias en el peso al nacer de cada ternero, Conneely et al. (2014) estudiaron la comparación de diferentes volúmenes de calostro expresado como porcentaje (7; 8,5 y 10%) del peso al nacer. Midieron la concentración de IgG en el suero de los terneros, determinaron la EAA, y demostraron que se obtiene una mayor concentración sérica de IgG cuando se administra calostro a los terneros dentro de 2 horas luego de su nacimiento al 8,5% del peso vivo (PV), seguido por los terneros alimentados con 10 % del PV, y por último los que se les administró 7% del PV. Asimismo, Besser, Garmedia, McGuire y Gay (1985) estudiaron la EAA en terneros, y establecieron una correlación negativa entre ésta y la masa de IgG, sugiriendo que es debido a una limitación fisiológica en la capacidad de absorción de Ig.

2.3.2.3 Calidad del calostro

Se considera que el calostro es de alta calidad cuando tiene una concentración de IgG mayor a 50 g/L, y es capaz de generar una adecuada TIP (Godden et al., 2019). Existen métodos indirectos de evaluación de la calidad del calostro, los cuales incluyen la apreciación visual, la densidad relativa, utilizando un calostrómetro o densímetro, y con el uso de un refractómetro (Mendoza et al., 2017).

Hay muchos factores que son capaces de afectar la calidad y producción del calostro (Godden et al., 2019). Uno de los factores es la raza, el calostro de vacas de la raza Holstein es el que tiene menor concentración de IgG en comparación con razas como Jersey y Guernsey (Muller y Ellinger, 1981). Otro factor es la edad de la vaca; en un estudio realizado por Shivley et al. (2018) no se observaron diferencias en la calidad del calostro de vacas de primera y segunda lactancia, pero sí hubo diferencias con las vacas de tercera lactancia, las cuales produjeron un calostro de mayor calidad. Esto es debido a que las vacas de mayor edad, al haber estado más tiempo expuestas a patógenos, producen un calostro con mayor concentración de IgG (Godden et al., 2019). Además, Kehoe, Heinrichs, Moody, Jones, y Long (2011) mencionan que el volumen del calostro se correlaciona negativamente con la calidad, ya que a medida que este aumenta, disminuye la concentración de IgG. Otros factores a tener en cuenta son la vacunación preparto de la madre, que aumenta la concentración de anticuerpos calostrales específicos (Hodgins y Shewen, 1996); o la disminución de la duración del período seco, ya que disminuye la concentración de IgG en el calostro (Rastani et al., 2005).

2.3.3 Evaluación de la transferencia de inmunidad pasiva

Para evaluar el éxito de la TIP se mide la concentración sérica de IgG entre las 24 y 72 horas de vida del ternero (Mendoza et al., 2017). La concentración mínima recomendada es 10 g/L, y se considera falla de TIP si se encuentra por debajo de ese valor, aumentando el riesgo de mortalidad neonatal (Godden et al., 2019; Quigley y Drewry, 1998).

Existen métodos directos para evaluar las concentraciones séricas de IgG, dentro de los cuales se encuentran la inmunodifusión radial (RID) y el ensayo de inmunoabsorción ligado a enzimas (ELISA) (Godden, 2008; Weaver et al., 2000). La RID es considerada la técnica estándar, pero requiere de técnicos capacitados, de envíos rutinarios de muestras serológicas a laboratorios, es un método costoso, y a su vez se demora 18-24 horas en obtener el resultado (Deelen, Ollivett, Haines y Leslie, 2014; Godden, 2008). Por esto, se desarrollaron métodos alternativos como el uso del refractómetro, el cual es considerado un método indirecto de evaluación de TIP (Deelen et al., 2014). Este método mide la concentración de sólidos totales en una escala expresada en grados Brix o PT, los cuales se han relacionado con la concentración de IgG en suero (Deelen et al., 2014). La concentración de PT tiene una buena correlación con la concentración de IgG sérica, ya que las inmunoglobulinas representan una gran proporción de las PT en el neonato (Calloway, Tyler, Tessman, Hostetler y Holleet, 2002).

2.4 Estrategias para el manejo del calostrado

2.4.1 Calostrado natural y artificial

En el manejo denominado “calostrado natural”, donde los terneros pasan los primeros días al pie de la madre y maman calostro directamente de la ubre de su madre, puede lograrse una adecuada TIP, pero no es posible controlar volumen, calidad ni momento de la ingesta (Schild, 2017). Cuando el ternero permanece con su madre, las probabilidades de FTIP son altas, y generalmente se debe al consumo de un volumen insuficiente de calostro o a un retraso en el momento de consumo (Brignole y Stott, 1980). Por lo tanto, el calostrado artificial se desarrolló para controlar los factores que no permiten el calostrado natural, y de esa manera poder corregir los errores si fuera necesario (Mendoza et al., 2017). En un relevamiento realizado por Schild et al. (2020), se reportó que en el 95,2% de los casos se realizaba calostrado natural, y en el 4,8% calostrado artificial. Dentro de los que llevaban a cabo el calostrado artificial, el 80,5% realizaba evaluación de calidad de calostro y el 31,6% realizaba evaluación de FTIP.

Según Franklin, Amaral-Phillips, Jackson y Campbell (2003), para lograr una adecuada TIP lo más conveniente es retirar el ternero de su madre y suministrar el calostro de manera artificial. Por su parte, McGuirk y Collins (2004) reportaron que los terneros deben ser retirados 30 minutos después del nacimiento, para evitar fallas de TIP. Asimismo, Godden (2008) recomienda retirar al ternero 1 a 2 horas luego de su nacimiento para calostrear artificialmente.

El calostrado artificial puede realizarse mediante mamadera o sonda bucoesofágica. Adams, Bush, Horner y Staley (1985) realizaron un estudio y comprobaron que el método utilizado no influye sobre la absorción de IgG. También, Chigerwe, Coons y Hagey (2012) reportaron que no hay diferencias significativas en la TIP ni EAA en terneros alimentados con mamadera o sonda, y los resultados demuestran que la única variable que puede determinar una diferencia significativa entre ambos métodos es el volumen de calostro administrado. Godden, Haines, Konkol y Peterson (2009) recomiendan que si el productor va a suministrar un pequeño volumen (1,5 L) de calostro, lo realice mediante mamadera, ya que se logra una mejor EAA debido a la

activación del reflejo del surco esofágico; sin embargo, si va a administrar un gran volumen (3 L) de calostro, se logra una alta TIP indistintamente del método utilizado.

Las diferencias entre los métodos son más bien prácticas, ya que la administración con mamadera implica más tiempo por cada ternero, pero el uso de una sonda bucoesofágica requiere de personal entrenado para realizar esa tarea (Chigerwe et al., 2009). Por lo tanto, si bien existe una clara ventaja de rapidez al suministrar el calostro con sonda, los productores pueden elegir una manera u otra según su preferencia personal (Chigerwe et al., 2012; Godden, 2008).

2.4.2 Sustitutos de calostro y suplementos de calostro

Los sustitutos y suplementos de calostro fueron elaborados para reemplazar o complementar el calostro, respectivamente, asegurando así que el ternero ingiera la cantidad de IgG que necesita (Cabral, Chapman y Erickson, 2013). Los suplementos se desarrollaron debido a la falta de calostro de calidad o fallas en la absorción de IgG, y tienen el propósito de complementar el calostro y no de reemplazarlo, ya que una dosis de suplemento aporta <100 g IgG exógena, obtenida de secreciones lácteas o suero bovino (Quigley, Kost y Wolfe, 2002). Por lo tanto, sólo debería administrarse en casos que la calidad del calostro sea baja, con el objetivo de adicionar Ig, para evitar tener que administrar una gran cantidad de calostro (Hopkins y Quigley, 1997).

Si bien el calostro tiene beneficios inmunológicos y nutritivos, la ingesta de este también representa la primera exposición del ternero a patógenos, y esto provoca problemas de salud y económicos en el futuro (Swan et al., 2007). Para prevenir la transmisión de enfermedades, se elaboraron sustitutos de calostro, los cuales lo reemplazan totalmente y contienen Ig bovina derivada de la leche o del plasma (Swan et al., 2007). Además de generar menor exposición a los patógenos en los primeros días de vida del ternero, los sustitutos de calostro también son utilizados cuando no hay calostro materno, por conveniencia, o para garantizar calidad (Lago et al., 2018). Los sustitutos de calostro aportan más de 100 g de IgG, pero también debe aportar al ternero los nutrientes que necesita, en forma de carbohidratos, fuentes de proteínas, vitaminas y minerales (Quigley et al., 2002). Según Cabral et al. (2013), los sustitutos son efectivos cuando se suministra un gran volumen enseguida después del nacimiento, pero consideran conveniente administrar siempre en primer lugar calostro materno de alta calidad.

2.5 Salud en terneros

Las enfermedades son la principal causa de muerte en terneros, siendo las más prevalentes las diarreas neonatales en menores de 30 días de edad, y las enfermedades respiratorias, principalmente neumonías, en terneros mayores de 30 días (McGuirk, 2008; Svensson et al., 2006). Según Virtala, Mechor, Gröhn y Erb (1996) las enfermedades de los primeros meses de vida se asocian con una reducción en la ganancia diaria de peso en los terneros.

Las diarreas generalmente son causadas por infecciones mixtas, y conocer los patógenos involucrados es importante para saber sobre la fuente de infección y los tratamientos que son efectivos (McGuirk, 2008). Los principales agentes involucrados en la diarrea neonatal de terneros son *Escherichia coli*, *Cryptosporidium parvum*,

rotavirus y coronavirus (Lorenz, Fagan, y Morel, 2011). La reposición de líquidos y electrolitos mediante una terapia rehidratante oral, y continuar con la alimentación del ternero, es la base del tratamiento de las diarreas cuando no presentan signos sistémicos (fiebre, depresión); de lo contrario se debe aplicar tratamiento con antibióticos, y también suero endovenoso por deshidratación (Lorenz, Fagan et al., 2011; McGuirk, 2008).

En cuanto a enfermedades respiratorias, las neumonías infecciosas están causadas por distintos virus: herpesvirus bovino 1, virus respiratorio sincitial bovino, virus de la parainfluenza 3, y bacterias: *Mycoplasma bovis*, *Pasteurella multocida*, *Mannheimia haemolytica*, *Histophilus somni* (Lorenz, Earley et al., 2011). Lo importante en estos casos, es la detección temprana de signos (temperatura corporal, depresión, descargas oculares y nasales) en el ternero, para que el tratamiento con antibióticos sea efectivo (McGuirk, 2008; Lorenz, Earley et al., 2011).

Finalmente, otra enfermedad que puede ocurrir en terneros durante la crianza es la enfermedad del ombligo, y en particular la onfalitis, la cual puede causar retraso en el crecimiento y enfermedades articulares (Mee, 2008). La prevención de la onfalitis está basada en mantener la higiene del área de parto, reducir el tiempo de permanencia de los terneros en dicha área, asegurar el calostro y realizar la antisepsia del ombligo (Mee, 2008). En Uruguay, Schild et al. (2020) reportaron que 15,7% de los tambos indicaron que este era un importante problema de salud durante la crianza, y que los autores asociaron a un bajo uso de antisepsia del ombligo.

2.6 Genotipos Holstein Norteamericano y Holstein Neozelandés

El rodeo lechero de Uruguay está compuesto por un 91% de la raza Holstein Friesian, del cual el 78% corresponde a HNA y el 13% a HNZ (INALE, 2019). Existen diferencias productivas y reproductivas entre HNZ y HNA, siendo estas últimas vacas más pesadas, que producen más cantidad de leche, pero con menor contenido de grasa y proteína, mientras que las vacas HNZ tienen mejor fertilidad y supervivencia (Harris y Kolver, 2001; Laborde, 2012).

No están claras las diferencias entre razas en cuanto a la absorción de Ig, pero Roy (1980) establece que terneros de la raza Holstein tendrían mayor eficiencia de absorción de Ig que los terneros de la raza Ayrshire, sin diferenciar específicamente entre clases de Ig. Por otra parte, Jones, James, Quigley y McGilliard (2004) encontraron diferencias, donde la raza Holstein tendría una menor eficiencia de absorción de IgG que la raza Jersey.

En cuanto a diferencias entre genotipos, no hay antecedentes de cómo varía la respuesta a nivel de la TIP ante cambios en el nivel de ingesta de IgG. McGee y Earley (2018) estudiaron los factores que afectan la TIP en terneros lactantes de raza de carne, y reportaron que, dentro de los genotipos de vacas de carne, la inmunidad pasiva en los terneros es similar, pero es menor que en las razas carniceras cruzas con lecheras, debido a que estas producen calostro con mayor masa de Ig (volumen de calostro x concentración de Ig), considerando al genotipo como uno de los factores que genera diferencias en la TIP.

3. HIPÓTESIS

Terneros neonatos Holstein que ingieren una mayor cantidad de IgG respecto a su peso vivo al nacimiento logran una mayor TIP independientemente del origen genético.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general:

Analizar el efecto de dos niveles contrastantes de ingesta de IgG sobre la transferencia de inmunidad pasiva y aspectos de salud en terneros Holstein de diferente origen genético (norteamericano y neozelandés).

4.2 Objetivos específicos:

Determinar cómo la dosis de IgG suministrada luego del nacimiento afecta el grado de TIP y diversos indicadores de salud en los terneros.

Evaluar si hay diferencias en el grado de TIP y diversos indicadores de salud según el origen genético del ternero.

Estudiar si la respuesta en la TIP y en indicadores de salud de los terneros ante un cambio en la dosis de IgG varía según el origen genético del animal.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Localización del experimento

El ensayo experimental se llevó a cabo en la Unidad de Lechería de INIA “La Estanzuela” (LE), Estación Experimental “Dr. Alberto Boerger”, ubicado en el Departamento de Colonia (ruta 50, km 11). El experimento fue realizado en el marco de un proyecto de experimentación más amplio. El protocolo experimental fue aprobado por la Comisión de Ética en el Uso de Animales de INIA, inscrita ante la Comisión Nacional de Experimentación Animal con el número de Registro 0009/11.

5.2 Diseño experimental

Para este trabajo se utilizaron 80 terneros Holstein, de los cuales 40 fueron de origen genético norteamericano, y 40 de origen neozelandés. Estos terneros fueron nacidos de partos únicos y normales, en el período que comprende del día 19 de marzo al 15 de junio del año 2021. Dentro de las 2 horas de vida, en cada grupo del mismo origen genético, cada ternero recibió al azar un tratamiento, correspondiente a un nivel de ingesta de IgG: 3 o 6 g IgG/kg PV. La asignación de los terneros se realizó de forma alternada de acuerdo al orden de nacimiento y al genotipo de cada ternero, alcanzando un total de 20 terneros o terneras en cada tratamiento.

- **Tratamiento HNAD3:** terneros HNA a los que se suministró 3 g IgG/kg PV al nacer (n=20)
- **Tratamiento HNAD6:** terneros HNA a los que se suministró 6 g IgG/kg PV al nacer (n=20)
- **Tratamiento HNZD3:** terneros HNZ a los que se suministró 3 g IgG/kg PV al nacer (n=20)
- **Tratamiento HNZD6:** terneros HNZ a los que se suministró 6 g IgG/kg PV al nacer (n=20)

Como se describió en la revisión bibliográfica, las recomendaciones de cantidad de calostro a suministrar a terneros generalmente se realizan en términos de litros, asumiendo que la calidad del mismo es adecuada (> 50 g de IgG/L; Godden, et al., 2019). Por otra parte, eventualmente estas recomendaciones se dan en términos de g de IgG, pero también existe un rango muy amplio en las cantidades recomendadas. En ambos casos pocas veces se tiene en cuenta el peso al nacimiento del ternero, lo que puede complicar más las recomendaciones cuando se trabaja con terneros que por su origen genético pueden tener distinto peso al parto. Por lo anterior, es que en el presente experimento se optó por expresar los niveles de suministro de calostro en términos de g de IgG/kg PV al nacer.

Asumiendo que 8,9% del peso del ternero al nacer es suero (Quigley y Drewry, 1998) y que la EAA de IgG promedio bajo distintos niveles de calostrado es 31% (Conneely et al., 2014), resulta que se deben suministrar 2,9 g IgG/kg de peso al nacer para alcanzar una TIP aceptable (> 10 g IgG/L de suero), lo que se redondeó en 3 g IgG/kg. Por lo tanto, para generar un contraste en los niveles de ingesta de IgG, se decidió que la segunda dosis fuera equivalente al doble de la anterior, es decir, 6 g de IgG/kg de peso al nacer, lo que equivaldría a un calostrado "bueno" según Lombard et al. (2020).

5.3 Manejo de los animales

Se realizó un monitoreo de partos, separando al ternero de la madre antes de una hora de nacido. Para esto, el parto fue localizado cerca de las instalaciones del tambo, y de esa manera se lograba monitorear adecuadamente los partos, para evitar introducir al experimento terneros nacidos de partos distócicos, mellizos o que hayan ingerido calostro. Inmediatamente luego de nacidos, los terneros fueron llevados al galpón experimental de crianza, que contaba con cortinas laterales de nylon térmico, donde había corrales individuales de 1 metro de ancho por 1,5 metros de largo. Allí fueron pesados en una balanza digital ubicada en la entrada del mismo. Luego, se les asignó un corral por sorteo, para que no hubiera influencia de factores ambientales según la ubicación de cada uno de ellos.

Posteriormente ubicados en su corral correspondiente, se identificó a cada uno con una caravana y se hizo el registro correspondiente: número del ternero, genotipo, categoría (vaca o vaquillona) y número de la madre. Después de que cada ternero se ubicaba en su corral se procedía a la aplicación del tratamiento correspondiente. Para la administración de las distintas dosis de IgG se utilizó un sustituto de calostro materno comercial “Calostro Bovino Completo” (The Saskatoon Colostrum Company Ltd., Saskatoon, Canadá; Tabla 2) que se preparó según lo indicado por el fabricante. Brevemente, teniendo en cuenta el peso al nacer, y el tratamiento que le correspondía al ternero, se mezcló la correspondiente cantidad de sustituto de calostro junto con los litros necesarios de agua a temperatura entre 43 y 49°C, y se administró con mamadera. En algunos casos en los que el ternero presentó dificultad o rechazo al mamar, debió administrarse con sonda bucoesofágica. El sustituto de calostro siempre se suministró dentro de las primeras 2 horas de vida y por única vez.

Luego de administrado el tratamiento, los animales permanecieron en cada brete asignado 56 días en total, momento en que se hizo el desleche. Durante todo el período mencionado, el manejo alimenticio fue igual para todos los tratamientos. Los terneros comenzaron consumiendo sustituto lácteo de alta calidad (Nutramilk Platinum, Agrifirm, Joanicó, Uruguay; Tabla 2) la primera vez a las 24 horas de vida (luego de la segunda extracción de sangre), administrado con mamadera, y luego en baldes con tetina. La cantidad suministrada fue de 10% PV al nacer la primera semana, 15% PV de la segunda a la séptima semana, y 7,5% PV la última semana. El sustituto fue administrado 2 veces al día, a las 0800 h y 1700 h a una temperatura de 38 °C. También, desde el segundo día se les ofreció concentrado iniciador (Nutriternera, Barraca ERRO, Dolores, Uruguay; Tabla 2) de forma peleteada, y tuvieron a disposición agua *ad libitum*. Cada ternero tenía sus propios baldes dentro de su corral correspondiente, uno para el alimento sólido y otro para el agua.

Periódicamente se aplicó una higienización de las instalaciones de los terneros para disminuir la carga de patógenos en el ambiente, se removieron restos orgánicos y se aplicaron desinfectantes en superficies y objetos que se utilizaban y estaban en contacto con los terneros. Además, en caso de presentación de enfermedades, los animales fueron tratados según procedimientos determinados del establecimiento, los cuales resumidamente constaban del uso de antimicrobianos, antiinflamatorios y sales rehidratantes según el caso.

5.4 Mediciones

5.4.1 Análisis de los alimentos

Semanalmente se tomó una muestra de cada alimento para hacer un pool mensual y analizar posteriormente su composición química. El concentrado se analizó en el Laboratorio de Nutrición Animal de INIA LE para determinar los contenidos de materia seca (MS), proteína cruda (PC), cenizas (CEN) y extracto al éter (EE) (AOAC, 1990), fibra detergente ácido (FDA), fibra detergente neutro (FDN; usando α -amilasa y sulfato de sodio) y lignina detergente ácido (LDA) (Van Soest, Robertson, y Lewis, 1991), expresadas libres de CEN; PC insoluble en detergente ácido (ADICP) y PC insoluble en detergente neutro (NDICP) (Licitra, Hernandez, y Van Soest, 1996). El sustituto lácteo y el sustituto de calostro se analizaron en el Laboratorio Colaveco para determinar los contenidos de PC según el método DUMAS y grasa según el método Rose Gottlieb (Van Gulik; ISO 1211:1999); y se analizaron en el Laboratorio de Nutrición Animal de INIA LE para determinar los contenidos de MS y CEN (AOAC, 1990). Tanto para el sustituto lácteo como para el concentrado se calculó la concentración de energía metabolizable (EM) utilizando las ecuaciones propuestas por el NRC (2001). En el caso del sustituto lácteo se calcula como: $EM \text{ (Mcal/kg MS)} = (0,057 \times \% \text{ PC} + 0,092 \times \% \text{ grasa} + 0,0395 \times \% \text{ lactosa}) \times 0,9312$, donde el % de lactosa se calcula como $100 - \% \text{ PC} - \% \text{ grasa} - \% \text{ CEN}$. En el caso del concentrado se calcula como: $EM \text{ (Mcal/kg MS)} = (1,01 \times ED - 0,45) + 0,0046 \times (\text{grasa} - 3)$, donde ED es la energía digestible (Mcal/kg MS) que se calcula como la suma de los productos de las fracciones digestibles de PC, grasa y carbohidratos multiplicados por su respectivo calor de combustión.

Tabla 2. Composición química del sustituto de calostro, sustituto lácteo y concentrado en base seca.

	Sustituto de calostro ¹	Sustituto lácteo ²	Concentrado ³
MS (%)	95,0	93,43	87,81
PC (%)	40,0	28,04	18,56
Grasa (%)	18,1	20,31	3,35
Lactosa (%)	-	44,24	-
FDN (%)	1,0	-	23,2
FDA (%)	-	-	8,4
CEN (%)	5,1	7,4	8,18
LDA (%)	-	-	2,17
ADICP (%)	-	-	0,33
NDICP (%)	-	-	1,05
EM (Mcal/Kg)	-	4,86	3,00

¹ Calostro Bovino Completo (Calf's Choice Total, The Saskatoon Colostrum Co. Ltd., Canadá).

² Nutramilk Platinum (Agrifirm, Canelones, Uruguay).

³ Nutritrñera (ERRO, Dolores, Uruguay).

MS= Materia seca; PC: Proteína cruda; FDN= Fibra detergente neutro; FDA= Fibra detergente ácido; CEN= Cenizas totales; LDA= Lignina detergente ácido; ADICP= PC insoluble en detergente ácido; NDICP= PC insoluble en detergente neutro; EM= Energía metabolizable

5.4.2 Concentración de IgG del sustituto de calostro

Se decidió utilizar sustituto de calostro por facilidad para trabajar con g de IgG. En el producto diluido y pronto para suministrar (según las recomendaciones del fabricante) se midió la concentración de IgG mediante RID utilizando un kit comercial (Triple J Farms, Bellingham, WA, USA), con una dilución 4:1 con agua destilada (Quigley et al., 2019); y se obtuvo como resultado 67,9 g IgG/L. Por lo tanto, con la dilución recomendada, con un paquete se aporta 101,9 g de IgG, cercano a los 100 g que indica el fabricante.

5.4.3 Transferencia de inmunidad pasiva

A cada ternero se le extrajeron 2 muestras de sangre por venopunción yugular, en tubos secos de 10 ml para suero con activador de la coagulación (BD Vacutainer; BD, Franklin Lakes, NJ, USA), en 2 momentos: previo a la ingesta del calostro y a las 24 h post calostrado. Todas las muestras fueron centrifugadas a las 2 horas de ser extraídas, a 3000 g durante 15 minutos a 20°C (centrifugadora KN-70, Kubota, Tokio, Japón) para obtener el suero.

Parte del suero resultante de este proceso de centrifugación, se utilizó para determinar la concentración de sólidos totales expresada en % Brix usando un refractómetro digital (ATAGO, PAL-1, Tokio, Japón). También se determinaron las concentraciones en suero de PT (espectrofotómetro automatizado BA200, Biosystems S.A; método Biuret). El resto del suero obtenido se congeló a -20 °C para determinar la concentración de IgG sérica por RID usando kits comerciales (Triple J Farms, Bellingham, WA, USA). Se consideró una TIP adecuada cuando se obtuvo un valor de IgG >10 g/L en la muestra post-calostrado, TIP buena a excelente cuando fue IgG ≥ 18 g/L, y por el contrario cuando fue <10 g/L IgG se determinó como FTIP (Lombard et al., 2020).

5.4.4 Eficiencia aparente de absorción

Se determinó la EAA de IgG usando la ecuación propuesta por Quigley y Drewry (1998):

$$\text{EAA (\%)} = \text{IgG sérica (g)} / \text{ingesta de IgG (g)} \times 100$$

Donde IgG sérica (g) = concentración de IgG sérica (g/L) × volumen de suero sanguíneo (L); y se asumió que el volumen de suero equivale a 8,9% del peso vivo al nacer (Quigley y Drewry, 1998).

5.5 Indicadores de salud

Se evaluó diariamente a los terneros en cuanto a su salud, utilizando un protocolo preestablecido del establecimiento que consistía en la observación y medición de temperatura rectal cuando era necesario, para la posterior aplicación de tratamientos (Anexo 1). Se evaluó la temperatura corporal con el uso de un termómetro digital, considerando hipertermia cuando la temperatura rectal era mayor a 39,5°C, e hipotermia cuando era menor a 37,5°C. Con respecto a la relevancia de esta variable, Villalobos (2015) indicó que sólo la temperatura rectal resultó tener valor útil para

predecir futuros casos de complejo respiratorio bovino ($Se=92\%$ y $Es=20\%$). Además, mediante observación de cada brete individual, se evaluó la puntuación de materia fecal utilizando la escala de 0 a 3 propuesta por Renaud, Buss, Wilms y Steele (2020).

Semanalmente, a hora fija, durante todo el período experimental, se registraron diferentes variables y se calcularon los siguientes datos. Uno de ellos fue el total de días con algún indicador de enfermedad alterado (puntuación de diarrea o hipertermia) en terneros que lo presentaron. Por otro lado, se calculó el número de días con tratamiento de antibióticos en terneros que los recibieron.

A partir de los datos anteriores, se estimaron los siguientes valores. El porcentaje de mortalidad, es decir, el número de terneros muertos sobre el total. También, la incidencia acumulada de enfermedad, que es la proporción de terneros que contraen enfermedad en el total de terneros expuestos al riesgo de contraerla, la cual se calcula como el número de terneros enfermos sobre el total de terneros expuestos al riesgo, multiplicado por 100. Además, la incidencia acumulada de diarrea, lo que implica la proporción de terneros que tienen diarrea en el total de terneros expuestos al riesgo de tenerla, la misma se calcula como el número de terneros con diarrea sobre el total de terneros expuestos al riesgo de presentarla, multiplicado por 100. Por último, el porcentaje de uso de antibióticos, es decir, la proporción de terneros a los que se les administró antibióticos en el total.

5.6 Análisis estadístico

Los datos fueron analizados con un modelo lineal mixto (variables relacionadas con la TIP) o generalizado (variables de salud) que incluyó como efectos fijos a la dosis de IgG, el origen genético del ternero, y su interacción. Se incluyeron como covariables el sexo del ternero, la fecha de nacimiento, y el peso al nacer. Las medias se compararon con el test de Tukey.

6. RESULTADOS

6.1 Parámetros de la TIP 24 horas post calostrado

En la Tabla 3 se presentan los resultados de las concentraciones de IgG, PT, Brix y EAA. Para ninguna de estas variables mencionadas, se observó un efecto significativo de la interacción dosis (D) x origen genético (OG). Por lo tanto, los efectos principales se discutirán por separado.

Con respecto a la variable IgG, se observó un efecto de la dosis, donde los terneros que recibieron la dosis D6 tuvieron mayores concentraciones de IgG que los que recibieron el D3 (21,7 g/L vs 12,1 g/L; $p < 0,001$). Por otra parte, y para esta misma variable, se detectó un efecto significativo del OG, donde los terneros HNZ en promedio tuvieron mayores concentraciones que los HNA (17,9 g/L vs 15,9 g/L; $p = 0,031$). Para las variables PT y %Brix también hubo efecto de la dosis, siendo mayor para el tratamiento D6 (5,7 g/dL vs 5,1 g/dL; $p < 0,001$, y 8,6 % Brix vs 7,9 % Brix; $p < 0,001$, respectivamente), pero no hubo efecto del OG sobre estas variables.

En cuanto a la variable EAA, fue afectada por el OG, siendo mayor en los terneros HNZ respecto a los HNA (36,0 % vs 31,5 %; $p = 0,015$). También, para la misma variable, la dosis generó un efecto significativo, donde D3 tuvo un mayor valor promedio respecto a D6 (35,5 % vs 32,0 %; $p = 0,044$).

Tabla 3. Medias marginales estimadas para el efecto de la dosis de IgG y el origen genético sobre los parámetros de la TIP 24 h post calostrado, con el error estándar de la media (EEM) entre paréntesis.

	HNZ ¹		HNA ²		D ⁵	P-valor	
	D3 ³	D6 ⁴	D3	D6		OG ⁶	D x OG
IgG, g/L	13,5 (0,47)	22,4 (0,99)	10,8 (0,91)	21,0 (1,18)	<0,001	0,031	0,52
⁷ PT, g/dL	5,1 (0,08)	5,8 (0,12)	5,1 (0,06)	5,7 (0,09)	<0,001	0,42	0,68
Brix, %	7,9 (0,07)	8,7 (0,12)	7,9 (0,07)	8,5 (0,11)	<0,001	0,19	0,34
⁸ EAA, %	39 (1,4)	33 (1,5)	32 (2,7)	31 (1,7)	0,044	0,015	0,16

¹HNZ= Holstein neozelandés; ²HNA= Holstein norteamericano; ³D3 = 3 g de IgG/kg PV; ⁴D6 = 6 g de IgG/kg PV; ⁵D = dosis; ⁶OG = origen genético.
⁷PT = proteínas totales; ⁸EAA= eficiencia de absorción aparente.

6.2 Incidencia acumulada de FTIP y de TIP buena a excelente

En la Tabla 4 se observa que para la variable incidencia de FTIP, se observó una interacción D x OG. Los terneros HNZD3 tuvieron menor FTIP que los terneros HNAD3 (10,0 % vs 45,0 %; $p=0,048$). Sin embargo, en D6, no hubo diferencias entre orígenes genéticos.

Por otra parte, para la variable incidencia TIP ≥ 18 , no hubo interacción D x OG, y sólo se observó un efecto de la dosis, donde la misma fue mayor en terneros D6 respecto a terneros D3 (78,5 % vs 5 %; $p<0,001$).

Tabla 4. Medias marginales estimadas para el efecto de la dosis de IgG y el origen genético sobre la incidencia acumulada (IA) de falla en la transferencia de inmunidad pasiva (FTIP: IgG sérica < 10 g/L), y de transferencia de inmunidad pasiva buena a excelente (TIP: IgG sérica ≥ 18 g/L), con el número de terneros entre paréntesis.

	HNZ ¹		HNA ²		p – valor		
	D3 ³	D6 ⁴	D3	D6	D ⁵	OG ⁶	D x OG
IA FTIP, %	10,0 (2)	0,0 (0)	45,0 (9)	9,5 (2)	<0,001	0,005	0,048
IA TIP≥ 18, %	10,0 (2)	85,7 (18)	0,0 (0)	71,4 (15)	<0,001	0,361	0,776

¹HNZ= Holstein neozelandés; ²HNA= Holstein norteamericano;

³D3 = 3 g de IgG/kg PV; ⁴D6 = 6 g de IgG/kg PV; ⁵D = dosis; ⁶OG = origen genético.

6.3 Indicadores de salud

En la Tabla 5 se presentan los resultados de indicadores de salud. Para ninguna de las variables estimadas se detectó interacción D x OG, y excepto para días con hipertermia, tampoco se detectó efecto de la D o del OG. Para el indicador días con hipertermia, se observó un efecto de la D, donde los D3 tuvieron, en promedio, más días con hipertermia que los D6 (2,1 vs 1,1; $p= 0,003$).

Tabla 5. Medias marginales estimadas para el efecto de la dosis de IgG y el origen genético sobre los indicadores de salud, con el EEM entre paréntesis.

	HNZ ¹		HNA ²		D ⁵	P-valor	
	D3 ³	D6 ⁴	D3	D6		OG ⁶	D x OG
Mortalidad, %	8,9 (6,8)	3,6 (3,7)	0,0 (0,0)	2,8 (3,0)	0,77	0,24	0,33
IA de enfermedad ⁷ , %	95,9 (4,2)	94,3 (5,7)	92,8 (5,2)	95,5 (4,7)	0,92	0,85	0,67
Días con enfermedad	6,6 (1,4)	6,8 (1,3)	9,8 (1,8)	8,6 (1,7)	0,73	0,12	0,65
IA de diarrea, %	95,9 (4,2)	89,6 (7,2)	88,3 (6,7)	95,5 (4,7)	0,94	0,89	0,25
Días con diarrea ⁸	6,4 (1,2)	5,7 (0,7)	7,6 (1,4)	6,9 (0,8)	0,52	0,26	0,97
IA de hipertermia, %	8,9 (6,3)	18,9 (9,2)	29,1 (10,8)	28,3 (11,8)	0,64	0,13	0,58
Días con hipertermia ⁸	2,5 (0,4)	1,0 (0,0)	1,7 (0,5)	1,3 (0,3)	0,003	0,41	0,09
Uso de antibióticos, %	57,8 (12,8)	70,2 (11,8)	83,4 (8,2)	66,7 (13,3)	0,56	0,62	0,28

¹HNZ= Holstein neozelandés; ²HNA= Holstein norteamericano; ³D3 = 3 g de IgG/kg PV; ⁴D6 = 6 g de IgG/kg PV, ⁵D = dosis; ⁶OG = origen genético.

⁷Incidencia acumulada de al menos un evento de enfermedad. ⁸En animales con dicha enfermedad.

7. DISCUSIÓN

En el presente trabajo se observó que el hecho de administrar a los terneros dos niveles contrastantes de IgG tuvo un efecto significativo sobre la TIP, ya que el suministro de 6 g de IgG/kg PV al nacer se reflejó en una mayor concentración de IgG en sangre, en comparación con la dosis de 3 g IgG/kg PV. Como afirma Weaver et al. (2000), dentro de los factores que más influyen en la concentración sérica de IgG en el ternero, se encuentran el volumen y la masa de IgG a administrar. Diferentes autores recomiendan cantidades de calostro que deben ingerir los terneros para lograr una adecuada TIP. Chigerwe et al. (2008) sugieren la administración de 150 a 200 g de IgG, mientras que Osaka et al. (2014) demostraron que los terneros necesitan ingerir un mínimo de 120 g de IgG. A los terneros que integraron el tratamiento D3 se les administró en promedio 123 g IgG, y en promedio tuvieron una concentración sérica de IgG de 12,1 g/L, lo que corresponde a una TIP considerada aceptable (Lombard et al., 2020). Sin embargo, como se verá más adelante, este dato promedio enmascara el hecho de que un porcentaje elevado de terneros HNAD3 tuvieron FTIP. En cuanto a los terneros del tratamiento D6, recibieron en promedio 244 g IgG, y como resultado en promedio tuvieron 21,7 g/L de IgG sérica, obteniendo una mayor TIP que los terneros D3, y ubicándose dentro de la categoría de TIP definida como “buena” según Lombard et al. (2020). Esto está explicado por Hopkins y Quigley (1997), quienes establecieron que la concentración de IgG en suero aumentaba linealmente con el aumento de la ingesta de IgG. También Osaka et al. (2014) establecieron una relación lineal positiva entre la masa de IgG y la concentración sérica de IgG a las 24 horas después de la ingesta de calostro.

En cuanto a la variable de incidencia acumulada de FTIP, se observó una interacción de D x OG, donde los resultados reflejan que dentro de los terneros D3 hay una mayor incidencia de FTIP en los terneros HNA que en los HNZ. A pesar de que ambos tratamientos recibieron la misma dosis, fueron menos los terneros HNZD3 que tuvieron FTIP, y al suministrarles el doble de dosis, todos estos terneros alcanzaron un nivel de TIP adecuada. En cuanto a los HNA, el hecho de duplicar la dosis tiene mayor impacto ya que hay un alto número de terneros (45%) que no logran una TIP adecuada en D3, pero en D6 se observa sólo un 9,5% con FTIP. Si bien existen diversos estudios (Harris y Kolver, 2001; Laborde, 2012) sobre distintos aspectos del desempeño del ganado Holstein adulto de distinto origen genético, estos son los primeros resultados referidos a diferencias en absorción de Ig por parte de terneros.

Por otro lado, la dosis tuvo efecto sobre la variable incidencia de TIP buena a excelente (concentración sérica de IgG ≥ 18 g/L; Lombard et al., 2020), donde la misma fue mayor en terneros que recibieron una mayor dosis de IgG respecto a los que recibieron menor dosis. Shivley et al. (2018) concluyeron que al aumentar la masa total de IgG que se suministra al ternero, ocurre un aumento en la IgG sérica, y por lo tanto una mayor TIP. Por esto para asegurar un buen calostrado hay que evaluar el hecho de administrar más cantidad de IgG y no correr el riesgo de generar FTIP.

Lo más común en la práctica es evaluar la concentración sérica de PT y % Brix por conveniencia y practicidad. Según Godden et al. (2019) el valor de TIP aceptable es de 10 g/L IgG, el cual se corresponde con 5,2 g/dL PT (Cuttance et al., 2018). Sin embargo, según Quigley et al. (2002), cuando se suministra sustituto de calostro, como ocurrió en el presente experimento, la medición de PT para determinar una FTIP

puede no ser apropiada, ya que, si se utiliza el valor de corte de 5,2 g/dL como indicador de TIP exitosa, la estimación sería errónea. Por ejemplo, López, Steele, Nagorske, Sargent y Renaud (2021) encontraron una baja correlación entre concentración de IgG sérica y PT en terneros alimentados con sustituto de calostro, determinando un punto de corte para PT de 4,9 g/dL por debajo del cual se considera que hubo FTIP. Sin embargo, Lago et al. (2018) reportaron puntos de corte para PT en terneros alimentados con sustituto de calostro (promedio 5,2 g/dL) que son similares a los reportados cuando se usa calostro materno. En el presente trabajo se observó un efecto de la dosis sobre estos valores, siendo mayores para el tratamiento D6 respecto a D3 (5,7 g/dL vs 5,1 g/dL). Si se considera el punto de corte propuesto por López et al. (2021) para terneros a los que se les suministró sustituto de calostro, ambos tratamientos se encuentran sobre el punto de corte y, por lo tanto, en promedio, habrían logrado un TIP adecuada.

Según Deelen et al. (2014), los valores de Brix están altamente correlacionados con la concentración de IgG sérica. López, Jones, Geiger y Heinrichs (2020) determinaron un punto de corte para el valor de Brix, al administrar sustituto de calostro, el cual fue de 7,4% para estimar una concentración de 10 g/L de IgG. Si bien los valores de Brix para el tratamiento D6 fueron mayores que para el D3, ambos tratamientos se encuentran sobre el valor de corte propuesto por López et al. (2020).

Con respecto a los resultados de EAA, se observó que los terneros D3 presentaron un mayor porcentaje que los terneros D6. Esto coincide con los resultados obtenidos por Besser et al. (1985), donde encontraron una correlación negativa entre la cantidad de IgG en el calostro y la EAA, donde al aumentar la concentración de Ig en el calostro, resultaba en una disminución de la absorción de esta. Hopkins y Quigley (1997) observaron no solo una disminución de la EAA después de las 24 horas luego del nacimiento del ternero, sino también al suministrar una mayor cantidad de IgG. Por su parte, Conneely et al. (2014) obtuvieron resultados similares, al administrar tres tratamientos con diferentes niveles de calostrado (7, 8,5 y 10% del PV al nacer), donde la EAA de los terneros alimentados con 8,5% fue mayor (38%) que la de los terneros alimentados con 7% y 10% de su peso al nacer (26 y 29% respectivamente). Esto estaría explicado según Besser et al. (1985) por una limitación fisiológica a la absorción de Ig, posiblemente debido a la saturación de los mecanismos de transporte en el epitelio intestinal, o sugiere además que puede estar causado por una regulación de las concentraciones de Ig al llegar a un nivel umbral en suero. Cabe destacar que, de todas maneras, los valores de EAA en la presente tesis coinciden con los reportados en otros trabajos, como Conneely et al. (2014), cuyo promedio de EAA bajo distintos niveles de calostrado fue de 31% Quigley et al. (2002) y Lago et al. (2018), quienes administraron sustituto de calostro a los terneros y obtuvieron una EAA promedio de 30% y 34%, respectivamente.

Los terneros HNZ tuvieron mayores niveles de IgG sérica y también mayores porcentajes de EAA que los terneros HNA. Aunque existen reportes de diferencias entre razas, tales como Holstein y Ayrshire (Roy, 1980) o Holstein y Jersey (Jones et al., 2004) en cuanto a absorción de Ig, no hay mucha información generada en cuanto a las diferencias entre orígenes genéticos. McGee y Earley (2018) comparan la TIP entre terneros de razas carniceras y lecheras, y sugieren que, si bien los mecanismos biológicos en cuanto a inmunidad pasiva ocurren de la misma manera, es posible que las diferencias genéticas generen un estado inmunológico diferente, y esto se podría

aplicar para orígenes genéticos diferentes. Quigley y Drewry (1998) mencionan que en algunos estudios el efecto racial podría estar influenciado por factores como sexo, volumen de sangre o el estado metabólico del ternero, cuando estos factores no son controlados, pero es un área que aún debería ser investigada. En este trabajo experimental no se realizaron las mediciones necesarias como para poder exponer una explicación, y podría haber razones anatómicas (por ejemplo, a nivel del epitelio intestinal) que expliquen la forma en que terneros de origen genético neozelandés generan mayores niveles de IgG y una mayor EAA.

En lo que refiere a indicadores de salud, a pesar de las diferencias en TIP generadas por los efectos de la dosis de IgG, se observaron diferencias únicamente en la variable hipertermia, siendo más afectados los terneros que recibieron la menor dosis. Es de señalar que en este estudio no se realizaron los registros de forma que permitieran adjudicar este signo clínico a una enfermedad en particular. El porcentaje de mortalidad se encontró dentro de lo esperado, sabiendo que el riesgo anual de mortalidad en nuestro país es alto (15,2%, Schild et al., 2020), y teniendo en cuenta que hubo un control sobre los factores que pueden afectar la misma, además del estado inmunológico de los terneros, como la higiene y presencia de patógenos (McGuirk, 2008). En total murieron 4 terneros, todos durante las primeras 3 semanas de vida, luego de experimentar episodios de diarrea (grado 2 y 3), además, uno presentó hipertermia, con una temperatura de 41,1°C. Uno de los terneros presentó infección por rotavirus grupo A, una coinfección entre rotavirus grupo A y *Cryptosporidium parvum*, una coinfección entre rotavirus grupo A, *Cryptosporidium parvum* y *Salmonella entérica*, mientras que uno resultó negativo para los 3 patógenos (datos no mostrados).

Por otro lado, si bien Cuttance et al. (2018) mencionan que los terneros con mayor inmunidad tienen menos probabilidad de desarrollar enfermedades, estas diferencias en el presente trabajo no se reflejaron en menor morbilidad. Además, según Furman-Fratczak et al. (2011), la morbilidad e intensidad de las enfermedades son menores cuando los terneros logran una concentración de Ig mayor a 10 g/L; sin embargo, en el presente trabajo en promedio en todos los tratamientos se logró una concentración sérica de IgG >10 g/L, pero además los porcentajes de morbilidad en los distintos indicadores fueron altos. La morbilidad está influenciada por los niveles de inmunidad que generan los terneros, pero también por otra cantidad de factores, como es la carga de patógenos en el ambiente (McGuirk, 2008). Por lo tanto, en este experimento, al estar los terneros alojados en corrales en el mismo galpón experimental, la alta carga de patógenos en el mismo pudo ser uno de los factores que después generó una alta morbilidad.

8. CONCLUSIONES

Los terneros que recibieron la dosis de 6 g IgG/kg PV al nacer obtuvieron mayores niveles de IgG sérica, pero menores porcentajes de EAA que los terneros que recibieron 3 g IgG/kg PV.

Los terneros de origen genético HNZ lograron mayores niveles en parámetros de TIP y EAA que los terneros HNA, independientemente de la dosis de IgG suministrada.

Frente a la administración de dosis contrastantes de IgG y a las diferencias según el origen genético de los terneros, a pesar de que se generaron diferentes grados de TIP, no se obtuvieron diferencias relevantes en los indicadores de salud.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams, G. D., Bush, L. J., Horner, J. L., y Staley, T. E. (1985). Two methods for administering colostrum to newborn calves. *Journal of Dairy Science*, 68(3), 773–775.
- Barrington, G. M., Besser, T. E., Davis, W. C., Gay, C. C., Reeves, J. J., y McFadden, T. B. (1997). Expression of immunoglobulin G1 receptors by bovine mammary epithelial cells and mammary leukocytes. *Journal of Dairy Science*, 80(1), 86–93.
- Besser, T. E., Garmedia, A. E., McGuire, T. C., y Gay, C. C. (1985). Effect of colostrum immunoglobulin G1 and immunoglobulin M concentrations on immunoglobulin absorption in calves. *Journal of Dairy Science*, 68(8), 2033–2037.
- Brignole, T. J., y Stott, G. H. (1980). Effect of suckling followed by bottle feeding colostrum on immunoglobulin absorption and calf survival. *Journal of Dairy Science*, 63(3), 451–456.
- Cabral, R. G., Chapman, C. E., y Erickson, P. S. (2013). Review: Colostrum supplements and replacers for dairy calves. *The Professional Animal Scientist*, 29(5), 449–456.
- Calloway, C. D., Tyler, J. W., Tessman, R. K., Hostetler, D., y Holle, J. (2002). Comparison of refractometers and test endpoints in the measurement of serum protein concentration to assess passive transfer status in calves. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 221(11), 1605–1608.
- Chigerwe, M., Coons, D. M., y Hagey, J. V. (2012). Comparison of colostrum feeding by nipple bottle versus oroesophageal tubing in Holstein dairy bull calves. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 241(1), 104–109.
- Chigerwe, M., Tyler, J. W., Schultz, L. G., Middleton, J. R., Steevens, B. J., y Spain, J. N. (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.
- Chigerwe, M., Tyler, J. W., Summers, M. K., Middleton, J. R., Schultz, L. G., y Nagy, D. W. (2009). Evaluation of factors affecting serum IgG concentrations in bottle-fed calves. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 234(6), 785–789.
- Conneely, M., Berry, D. P., Murphy, J. P., Lorenz, I., Doherty, M. L., y Kennedy, E. (2014). Effect of feeding colostrum at different volumes and subsequent number of transition milk feeds on the serum immunoglobulin G concentration and health status of dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 97(11), 6991–7000.
- Cuttance, E. L., Mason, W. A., Laven, R. A., y Phyn, C. V. C. (2018). The relationship between failure of passive transfer and mortality, farmer-recorded animal health events and body weights of calves from birth until 12 months of age on pasture-based, seasonal calving dairy farms in New Zealand. *The Veterinary Journal*, 236, 4–11.

- Deelen, S.M., Ollivett, T.L., Haines, D.M., y Leslie, K.E. (2014). Evaluation of a Brix refractometer to estimate serum immunoglobulin G concentration in neonatal dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 97, 3838–3844.
- Elizondo-Salazar, J. A., (2007). Alimentación y manejo del calostro en el ganado de leche. *Agronomía Mesoamericana*, 18(2), 271–281.
- Franklin, S. T., Amaral-Phillips, D. M., Jackson, J. A., y Campbell, A. A. (2003). Health and performance of Holstein calves that suckled or were hand-fed colostrum and were fed one of three physical forms of starter. *Journal of Dairy Science*, 86(6), 2145–2153.
- Furman-Fratczak, K., Rzasa, A., y Stefaniak, T. (2011). The influence of colostrum immunoglobulin concentration in heifer calves' serum on their health and growth. *Journal of Dairy Science*, 94(11), 5536–5543.
- Godden, SM. (2008). Colostrum management for dairy calves. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 24,19-39.
- Godden, S. M., Haines, D. M., Konkol, K., y Peterson, J. (2009). Improving passive transfer of immunoglobulins in calves. II: Interaction between feeding method and volume of colostrum fed. *Journal of Dairy Science*, 92(4), 1758–1764.
- Godden, S.M., Lombard, J.E., y Woolums, A.R. (2019). Colostrum management for dairy calves. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 35, 535-556.
- Gulliksen, S.M., Lie, K.I., y Østerås, O. (2009). Calf health monitoring in Norwegian dairy herds. *Journal of Dairy Science*, 92(4), 1660-1669.
- Hammon, H. M., Steinhoff-Wagner, J., Flor, J., Schönhusen, U., y Metges, C. C. (2013). Lactation biology symposium: Role of colostrum and colostrum components on glucose metabolism in neonatal calves. *Journal of Animal Science*, 91(2), 685–695.
- Harris, B.L., y Kolver, E.S. (2001). Review of Holsteinization on intensive pastoral dairy farming in New Zealand. *Journal of Dairy Science*, 84, 56–61.
- Hodgins, D. C., y Shewen, P. E. (1996). Preparturient vaccination to enhance passive immunity to the capsular polysaccharide of *Pasteurella haemolytica* A1. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 50(1-2), 67–77.
- Hopkins, B. A., y Quigley, J. D. (1997). Effects of method of colostrum feeding and colostrum supplementation on concentrations of Immunoglobulin G in the serum of neonatal calves. *Journal of Dairy Science*, 80(5), 979–983.
- Instituto Nacional de la Leche. (2019). *Encuesta Lechera 2019: resultados definitivos*. INALE. Recuperado de <https://www.inale.org/estadisticas/encuesta-lechera-2019-resultados-definitivos/>
- Instituto Nacional de la Leche. (2022). INALE. Portal Web. Recuperado de <https://www.inale.org/uruguay-lechero/>

- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. (2022). INIA. Portal Web. Recuperado de <http://www.inia.uy/investigaci%C3%B3n-e-innovaci%C3%B3n/programas-nacionales-de-investigaci%C3%B3n/Programa-Nacional-de-Investigaci%C3%B3n-en-Producci%C3%B3n-de-Leche/Antecedentes>
- James, R. E. (2011). Replacement management in cattle | Pre-ruminant diets and weaning practices. En J. W. Fuquay, P. F. Fox, & P. L. H. McSweeney (Eds.), *Encyclopedia of Dairy Sciences* (2nd ed., Vol. 4, pp. 396-402). Londres: Elsevier.
- Jones, C. M., James, R. E., Quigley, J. D., y McGilliard, M. L. (2004). Influence of pooled colostrum or colostrum replacement on IgG and evaluation of animal plasma in milk replacer. *Journal of Dairy Science*, 87(6), 1806–1814.
- Kehoe, S. I., Heinrichs, A. J., Moody, M. L., Jones, C. M., y Long, M. R. (2011). Comparison of immunoglobulin G concentrations in primiparous and multiparous bovine colostrums. *The Professional Animal Scientist*, 27(3), 176–180.
- Laborde, D. (2012). ¿Qué resultados productivos y reproductivos podemos esperar de distintas estrategias de cruzamiento en ganado lechero? La experiencia en un establecimiento lechero comercial en Uruguay. En Centro Médico Veterinario de Paysandú (Ed.), *Jornadas Uruguayas de Buiatría* (Vol. XL, pp. 43-55). Paysandú: Centro Médico Veterinario de Paysandú.
- Lago, A., Socha, M., Geiger, A., Cook, D., Silva-del-Río, N., Blanc, C., ... 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.
- Larson, B. L., Heary, H. L., y Devery, J. E. (1980). Immunoglobulin production and transport by the mammary gland. *Journal of Dairy Science*, 63(4), 665–671.
- Licitra, G., Hernandez, T. M., y Van Soest, P. J. (1996). Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. *Animal Feed Science and Technology*, 57(4), 347–358.
- Lombard, J., Urie, N., Garry, F., Godden, S., Quigley, J., Earleywine, T., ... Sterner, K. (2020). Consensus recommendations on calf- and herd-level passive immunity in dairy calves in the United States. *Journal of Dairy Science*, 103(8), 7611-7624.
- López, 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.
- López, A. J., Steele, M. A., Nagorske, M., Sargent, R., y Renaud, D. L. (2021). Hot topic: Accuracy of refractometry as an indirect method to measure failed transfer of passive immunity in dairy calves fed colostrum replacer and maternal colostrum. *Journal of Dairy Science*, 104(2), 2032–2039.

- Lorenz, I., Fagan, J., y More, S. J. (2011). Calf health from birth to weaning. II. Management of diarrhea in pre-weaned calves. *Irish Veterinary Journal*, 64(1), 9.
- Lorenz, I., Earley, B., Gilmore, J., Hogan, I., Kennedy, E., y More, S. J. (2011). Calf health from birth to weaning. III. Housing and management of calf pneumonia. *Irish Veterinary Journal*, 64(1), 14.
- Marcé, C., Guatteo, R., Bareille, N., y Fourichon, C. (2010). Dairy calf housing systems across Europe and risk for calf infectious diseases. *Animal*, 4(09), 1588–1596.
- McGee, M., y Earley, B. (2018). Review: passive immunity in beef-suckler calves. *Animal*, 13(4)1–16.
- McGuirk, S.M. (2008). Disease management of dairy calves and heifers. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 24(1), 139-153.
- Mee, J. F. (2008). Newborn Dairy Calf Management. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 24(1), 1–17.
- Mendoza, A., Caffarena, D., Fariña, S., Morales, T., y Giannitti, F. (2017). Manejo del calostrado en el ternero neonato: herramientas para una crianza más saludable y eficiente. *INIA Boletín de Divulgación*, (114). Recuperado de <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/7415/1/SAD-767.2016.p.1-14-Mendoza-et-al..pdf>
- Muller, L.D., y Ellinger, D.K. (1981). Colostral immunoglobulin concentrations among breeds of dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 64, 1727–1730.
- DIEA, Oficina de Estadísticas Agropecuarias del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. (2021). *Estadísticas del sector lácteo 2020*. Recuperado de <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/datos-y-estadisticas/estadisticas/estadisticas-del-sector-lacteo-2020>
- Osaka, I., Matsui, Y., y Terada, F. (2014). Effect of the mass of immunoglobulin (Ig)G intake and age at first colostrum feeding on serum IgG concentration in Holstein calves. *Journal of Dairy Science*, 97(10), 6608–6612.
- Perez, E., Noordhuizen, J.P.T., van Wuijkhuise, L., y Stassen, E. (1990). Management factors related to calf morbidity and mortality rates. *Livestock Production Science*, 25(1-2), 79–93.
- Quigley, J. D., Deikun, L., Hill, T. M., Suarez-Mena, F. X., Dennis, T. S., y Hu, W. (2019). Effects of colostrum and milk replacer feeding rates on intake, growth, and digestibility in calves. *Journal of Dairy Science*, 102(12), 11016–11025.
- Quigley, J. D., Kost, C. J., y Wolfe, T. M. (2002). Absorption of protein and IgG in calves fed a colostrum supplement or replacer. *Journal of Dairy Science*, 85(5), 1243–1248.
- Quigley, J.D., y Drewry, J.J. (1998). Nutrient and immunity transfer from cow to calf pre- and postcalving. *Journal of Dairy Science*, 81(10), 2779–2790.

- Rastani, R. R., Grummer, R. R., Bertics, S. J., Gümen, A., Wiltbank, M. C., Mashek, D. G., y Schwab, M. C. (2005). Reducing dry period length to simplify feeding transition cows: milk production, energy balance, and metabolic profiles. *Journal of Dairy Science*, 88(3), 1004–1014.
- Renaud, D.L., Buss, L., Wilms, J.N., Steele M.A. (2020). Technical note: Is fecal consistency scoring an accurate measure of fecal dry matter in dairy calves? *Journal of Dairy Science*, 103(11), 10709-10714.
- Roche, J. R., Dennis, N. A., Macdonald, K. A., Phyn, C. V. C., Amer, P. R., White, R. R., y Drackley, J. K. (2015). Growth targets and rearing strategies for replacement heifers in pasture-based systems: a review. *Animal Production Science*, 55(7), 902-915.
- Roy, J. H. (1980). Symposium: disease prevention in calves. Factors affecting susceptibility of calves to disease. *Journal of Dairy Science*, 63(4), 650–664.
- Sasaki, M., Davis, C. L., y Larson, B. L. (1976). Production and turnover of IgG1 and IgG2 immunoglobulins in the bovine around parturition. *Journal of Dairy Science*, 59(12), 2046–2055.
- Schild, C. (2017). Caracterización de los sistemas de crianza y parto y estimación de las tasas de mortalidad de terneros y abortos vistos en establecimientos lecheros de Uruguay (Tesis de Maestría). Facultad de Veterinaria, UDELAR, Montevideo.
- Schild, C.O., Caffarena, R.D., Gil, A., Sánchez, J., Riet-Correa, F., y Giannitti, F. (2020). A survey of management practices that influence calf welfare and an estimation of the annual calf mortality risk in pastured dairy herds in Uruguay. *Journal of Dairy Science*, 103(10), 9418-9429.
- Shivley, C. B., Lombard, J. E., Urie, N. J., Haines, D. M., Sargent, R., Koprak, C. A., ... Garry, F. B. (2018). Preweaned heifer management on US dairy operations: Part II. Factors associated with colostrum quality and passive transfer status of dairy heifer calves. *Journal of Dairy Science*, 101, 1-14.
- Stott, G. H., Marx, D. B., Menefee, B. E., y Nightengale, G. T. (1979). Colostral immunoglobulin transfer in calves II. The rate of absorption. *Journal of Dairy Science*, 62(11), 1766–1773.
- Stull, C., y Reynolds, J. (2008). Calf welfare. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 24, 191–203.
- Svensson C., Linder A., y Olsson S.O. (2006). Mortality in Swedish dairy calves and replacement heifers. *Journal of Dairy Science*, 89, 4769–4777.
- Swan, H., Godden, S., Bey, R., Wells, S., Fetrow, J., y Chester-Jones, H. (2007). Passive transfer of immunoglobulin g and preweaning health in Holstein calves fed a commercial colostrum replacer. *Journal of Dairy Science*, 90(8), 3857–3866.

- 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, P. J., Robertson, J. B., y Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10), 3583–3597.
- Villalobos, N. (2015). Herramientas innovadoras en el diagnóstico del síndrome respiratorio bovino (SRB) (Tesis Doctorado). Facultad de Veterinaria, Universidad Complutense de Madrid.
- Virtala, A.-M. K., Mechor, G. D., Gröhn, Y. T., y Erb, H. N. (1996). The effect of calfhood diseases on growth of female dairy calves during the first 3 months of life in New York State. *Journal of Dairy Science*, 79(6), 1040–1049.
- Weaver, D., Tyler, J., VanMetre, D., Hostetler D., y Barrington, G. (2000). Passive transfer of colostrum immunoglobulins in calves. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 14, 549-577.
- Wells, S. J., Dargatz, D. A., y Ott, S. L. (1996). Factors associated with mortality to 21 days of life in dairy heifers in the United States. *Preventive Veterinary Medicine*, 29(1), 9–19.

ANEXOS

Anexo 1. Protocolo de tratamientos para enfermedades

OBSERVAR ACTITUD DEL TERNERO: ¿Se acercó a tomar la leche? ¿Tiene sucio alrededor de la cola y los garrones? ¿No tomó todo el sustituto lácteo? ¿Se lo ve raro o enfermo? ¿El sensorio es normal?

- **RESPUESTA: SÍ**

- ¿Tiene diarrea? Sí → Revisar temperatura rectal, ombligo, articulaciones:

Normales → Dar 2 L sales rehidratantes al día hasta que corte la diarrea, con al menos 2 h de separación con el sustituto lácteo.

Anormales ($T^{\circ} < 37,8^{\circ}\text{C}$ o $> 39,5^{\circ}\text{C}$, ombligo con dolor/supuración, articulaciones hinchadas y/o calientes) → Dar 4 L de sales rehidratantes al día, dividido en 2 tomas, hasta que corte la diarrea, con al menos 2 h de separación con el sustituto lácteo + Tratamiento 1. Al día 3 evaluar al animal y si no mejora evaluar cambiar al Tratamiento 2 (solamente seguir con antibiótico, sin flunixin meglumina).

- **RESPUESTA: NO**

- ¿Tiene diarrea? Sí. → Dar 4 L de sales rehidratantes al día, dividido en 2 tomas, hasta que corte la diarrea, con al menos 2 h de separación con el sustituto lácteo + Tratamiento 1. Al día 3 evaluar al animal y si no mejora evaluar cambiar al Tratamiento 2 (solamente seguir con antibiótico, sin flunixin meglumina).

- ¿Tiene ombligo inflamado/supurando/con dolor? Sí. → Tratamiento 2.

- ¿Tiene poliartritis? Sí. → Tratamiento 3, pero dar antibiótico hasta que baje la inflamación durante 14 días y si continúa, dar hasta 21 días.

- ¿Tiene síntomas respiratorios? Sí. → Tratamiento 3.

● **Tratamiento 1 de diarrea:**

Día 1-3: 2,5 mL Sulfaprim (intramuscular) + 2 mL flunixin meglumina (intramuscular).

Día 4-5: 2,5 mL Sulfaprim (intramuscular).

● **Tratamiento 2 de diarrea/ tratamiento onfalitis:**

Día 1-3: 4 mL Ceftiofur (intramuscular) + 2 mL flunixin meglumina (intramuscular).

Día 4-5: 4 mL Ceftiofur (intramuscular).

● **Tratamiento 3 de infección respiratoria/ poliartritis:**

Día 1-3: 1 mL/20 kg Florfenicol (intramuscular) + 2 mL flunixin meglumina (intramuscular).

Día 4-5: 1 mL/20 kg Florfenicol (intramuscular).