

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE VETERINARIA

**INCLUSIÓN DE PROTEÍNA VEGETAL EN SUSTITUTOS LÁCTEOS PARA
TERNEROS EN UN SISTEMA DE CRÍA INTENSIVA Y SU EFECTO SOBRE EL
CONSUMO Y LA DIGESTIBILIDAD DE LOS NUTRIENTES**

por

Sebastián ARGUELLO TORREIRO
Costanza BOSCA SAGAIK

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

Orientación: Medicina Veterinaria e Higiene,
Inspección-Control y Tecnología de los
Alimentos de origen animal

MODALIDAD: Ensayo Experimental

MONTEVIDEO
URUGUAY
2021

PÁGINA DE APROBACIÓN

PÁGINA DE APROBACIÓN

Tesis de grado aprobada por:



Presidente de mesa:

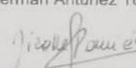
Alejandro Britos

Segundo miembro (Tutor):



Germán Antúnez Tort

Tercer miembro:



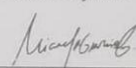
Nicollé Pomies

Cuarto miembro (co-tutora):



Cecilia Cajarville

Quinto miembro (co-tutora):

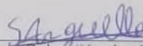


Micaela García Cuchma

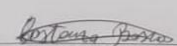
Fecha:

Lunes 20 de diciembre de 2021

Autores:



Sebastián José Argüello Torreiro



María Costanza Bosca Sagaidak

AGRADECIMIENTOS

Primero que nada, agradecemos a la Facultad de Veterinaria (Udelar) y a todos los docentes que fueron parte de nuestra formación.

También agradecer a los compañeros que nos dejó la Facultad, por brindarnos su apoyo y compartir gratos momentos que quedarán en nuestro recuerdo.

Al Campo Experimental N°2 de Facultad de Veterinaria y a sus funcionarios por brindarnos las instalaciones para la realización de nuestro trabajo experimental.

Agradecemos a la Dra. Micaela García por su apoyo y dedicación para guiarnos en el desarrollo de nuestra tesis.

Por último, un agradecimiento especial a familia y amigos por el apoyo incondicional brindado durante todo el transcurso de la carrera.

TABLA DE CONTENIDO

Página

PÁGINA DE APROBACIÓN.....	2
AGRADECIMIENTOS.....	3
TABLA DE CONTENIDO.....	4
LISTA DE CUADROS Y FIGURAS.....	5
1.RESUMEN.....	6
2.SUMMARY.....	7
3.INTRODUCCIÓN.....	8
4.REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	10
4.1. Cría de terneros.....	10
4.2. Sistemas de alimentación de terneros.....	10
4.3. Requerimientos nutritivos de los terneros y su relación con formulación, consumo y digestibilidad de los SL.....	11
5. HIPÓTESIS.....	19
6. OBJETIVOS.....	19
6.1 Objetivo general.....	19
6.2 Objetivos específicos.....	19
7. MATERIALES Y MÉTODOS.....	20
7.1 Diseño experimental y tratamientos.....	20
7.2. Animales, alimentos y manejo.....	20
7.3. Mediciones.....	21
7.3.1. Composición química de los alimentos.....	21
7.3.2. Consumo de alimentos, consumo de nutrientes y digestibilidad	22
7.3.3. Medición de peso vivo, ganancia de peso y eficiencia de alimentación..	22
7.3.4. Digestibilidad real total de la MS y PB de los SL.....	22
7.3.5. Análisis estadístico.....	23
8. RESULTADOS.....	24
9. DISCUSIÓN.....	26
10. CONCLUSIONES	29
11. BIBLIOGRAFÍA.....	30

LISTA DE CUADROS Y FIGURAS

Tabla 1. Clasificación práctica de las diferentes materias primas usadas en la fabricación de SL (Adaptado de Bacha y Villamide, 2015).....	12
Tabla 2. Comparación de los perfiles de aminoácidos esenciales (AAE) expresados en relación al contenido de lisina (Lys) entre necesidades estimadas, la leche de vaca, un SL 100% lácteo, SL 50% soja y el tejido muscular (Adaptado de Bach, Fernandez y Terré, 2010).....	14
Tabla 3. Composición química de los cuatro sustitutos lácteos y el concentrado.....	22
Tabla 4. Consumo de alimentos, consumo de nutrientes (EM y PB), crecimiento corporal y eficiencia de alimentación en terneros alimentados con SL de diferente composición.....	24
Tabla 5. Digestibilidad de la MS, de la PB y consumo de PB digestible en terneros alimentados con SL de diferente composición.....	25

FIGURAS

Figura 1. Fuentes de proteína comúnmente utilizadas en la formulación de SL. (Adaptado de FAO, 2011).....	13
Figura 2. Esquema del experimento, dónde la semana -1 corresponde a la adaptación y la semana 8 al desleche gradual.....	21

1. RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar los efectos de la inclusión de proteína vegetal en sustitutos lácteos (SL), sobre el consumo de materia seca, ganancia diaria de peso (GD), eficiencia de alimentación (EA) y digestibilidad de la materia seca (DMS) y proteína bruta (DPB), en terneros jóvenes. El experimento se llevó a cabo en el Instituto de Producción Animal (IPAV), Facultad de Veterinaria, Libertad, San José, Uruguay. Cuarenta y ocho terneros machos Holstein con 41 ± 8 kg de peso vivo y 3-5 días de vida fueron bloqueados por peso vivo y fecha de nacimiento, y asignados al azar a 4 tratamientos: 1) sustituto lácteo con 100% proteína láctea (PL), 2) sustituto lácteo con 65% PL + 35% micronizado de harina de soja (MHS), 3) sustituto lácteo con 65% PL + 35% gluten de trigo (GT) y 4) sustituto lácteo con 65% PL + 35% mezcla 50:50 de micronizado de harina de soja + gluten de trigo (MHSGT). El sustituto lácteo fue ofrecido a razón del 20% del peso vivo inicial de cada ternero, preparado a razón de 12,5% de sólidos totales, en dos tomas diarias (0700 y 1600 hs.). El período de cría tuvo una duración de 60 días, con 7 días de adaptación y 7 días de desleche. El agua y el concentrado iniciador (21% PB, a partir del día 21) fueron ofrecidos *ad libitum*. El consumo de sustituto lácteo y concentrado iniciador se midieron diariamente. El peso vivo se midió semanalmente. A los 14-18 días de vida de los terneros se colectó el total de la materia fecal excretada en 24 horas durante 5 días mediante bolsas plásticas adheridas a cada ternero a través de un fieltro, se secó en estufa y se calculó DMS y DPB mediante el análisis de composición de los sustitutos lácteos y de la materia fecal. Todas las variables fueron analizadas mediante PROC MIXED de SAS. Consumo, PV, GD y EC fueron analizadas como medidas repetidas por semana. No se encontró efecto del tratamiento sobre el consumo de sustituto lácteo ($937 \pm 10,9$ g MS/d; $P = 0,40$), concentrado iniciador ($390 \pm 31,0$ g MS/d; $P = 0,28$), GD ($738 \pm 30,0$ g/d; $P = 0,95$), PV final ($85,9 \pm 1,8$ kg/d; $P = 0,95$), y EC ($635 \pm 24,0$ g/d; $P = 0,54$). Reemplazar el 35% de la proteína del SL por MHS o GT disminuyó la digestibilidad de la materia seca y proteína bruta, pero esto no se observó cuando se reemplazó con una mezcla 50:50 de MHS y GT.

2. SUMMARY

The aim of this study was to evaluate the effects of the inclusion of vegetable proteins in milk replacers (MR), on the dry matter intake (DMI), average daily weight gain (ADG), feed efficiency (FE) and digestibility of dry matter (DMD) and crude protein (CPD), in young calves. The experiment was carried out at the Institute of Animal Production (IPAV), Veterinary Faculty, Libertad, San José, Uruguay. Forty-eight male Holstein calves with 41 ± 8 kg of body weight (BW) and 3-5 days of life were blocked by BW and date of birth, and randomly assigned to 4 treatments: 1) milk replacer with 100% milk protein (MP), 2) milk replacer with 65% MP + 35% micronized soybean meal (MS), 3) milk replacer with 65% MP + 35% wheat gluten (WG) and 4) milk replacer with 65% MP + 35% 50:50 mixture of micronized soybean meal + wheat gluten (MSWG). Milk replacer was offered at 20% of the initial BW of each calf, prepared at 12.5% of total solids, offered twice daily (0700 and 1600 hrs.). The rearing period lasted 60 days, with 7 days of adaptation and 7 days of weaning. Water and starter feed (21% CP, from day 21) were offered *ad libitum*. MR and starter feed intake were measured daily. BW was measured weekly. At 14-18 days of life of the calves, total feces excreted in 24 hours for 5 days was collected using plastic bags attached to each calf through a felt, it was dried and DMD and CPD was calculated analyzing the composition of MR and feces. All variables were analyzed using PROC MIXED from SAS. Intake BW, ADG and CE were analyzed as repeated measures over week. No treatment effect was found on MR intake ($937 \pm 10,9$ g DM / d; $P = 0,40$), starter intake ($390 \pm 31,0$ g DM / d; $P = 0,28$), ADG ($738 \pm 30,0$ g / d; $P = 0,95$), final BW ($85,9 \pm 1,8$ kg / d; $P = 0,95$), and CE ($635 \pm 24,0$ g / d; $P = 0,54$). Replacing 35% of the milk replacer protein with MS or WG decreased digestibility of dry matter and crude protein, but this was not observed when it was replaced with a 50:50 mixture of MS and WG.

3. INTRODUCCIÓN

En Uruguay la cría de terneros en los establecimientos lecheros se realiza de manera artificial, donde en el 97,7% de las guacheras los terneros se encuentran al aire libre y el restante 2,3% están bajo techo (Schild, 2017).

La práctica de alimentación más común es el suministro de leche de descarte y/o sustituto lácteo (**SL**) a razón del 10% del peso vivo (**PV**) inicial del ternero, conocido como cría tradicional, siendo el promedio de consumo de 4,5 litros por día por ternero. Este bajo plano de alimentación durante la cría, no sólo limita la ganancia diaria de peso (**GD**) a 300- 400 gr por día (Soberon y Van Amburgh, 2013), sino que además puede ser un factor directo que influye en la alta mortalidad durante la cría (10,8% en el período 2013-2014) (Schild, 2017).

A medida que aumenta el tamaño del rebaño lechero y, con él, la intensidad de la producción, se imponen nuevas exigencias al ternero y a los sistemas de crianza. La cría intensiva o acelerada surge como una alternativa a la cría convencional e implica el suministro del 20 % de PV del animal de leche o SL en simultáneo con la administración de alimento balanceado iniciador hasta el desleche (Lagger, 2010). Este aumento en el aporte de proteínas y energía mejora el status nutricional del ternero en las etapas críticas, que se corresponden con las primeras dos semanas de vida (Stamey, Wallace, Grinstead, Bremmer y Drackley, 2006).

Pero no sólo es importante la cantidad de alimento suministrado a los terneros en esta etapa, sino que la calidad juega un papel esencial en la supervivencia de los terneros y el cumplimiento de los objetivos de la cría en el largo plazo. En este sentido los SL, siempre que sean de buena calidad, son un alimento inocuo, libres de patógenos y antibióticos y su administración es independiente a los horarios de ordeño (Bacha, 1999).

Los esfuerzos de investigación se siguen centrando en las formas de reducir el costo de los SL y la cría de terneros, mejorando aún más la calidad de composición en función de los requerimientos de nutrientes del ternero, el procesamiento y uso de fuentes de proteínas no lácteas, los niveles de reemplazo de la proteína de la leche y programas de alimentación y manejo (Tomkins, Sowinski y Drackley, 1994).

Los factores más importantes que afectan el costo del SL son el nivel y la fuente de proteína y, por lo tanto, gran parte de la investigación durante las últimas tres décadas se ha centrado en estas dos áreas. Se han investigado muchas fuentes de proteínas de origen animal y vegetal como reemplazos de la proteína de la leche en SL, pero hoy en día los principales productos de importancia económica son el suero de queso, los derivados de la soja y el trigo.

En 1994, Tomkins et al., realizaron un estudio con 240 terneros divididos en 8 grupos de tratamientos que incluían 4 niveles de proteína vegetal como porcentaje de la proteína bruta (**PB**) (0%, 50%, 60% y 70%). El crecimiento de los terneros, medido como GD durante los días 1-14, fue de 218, 150, 136 y 88 g/d para 0% proteína vegetal, 50%, 60% y 70%, respectivamente. Además, la

mortalidad y morbilidad de los terneros fue cero para el tratamiento con 100% de proteína láctea, pero 16% para el 70% de reemplazo con proteína vegetal.

En otro trabajo, Lallès, Toullec, y Bouchez (1995) compararon la digestibilidad de los SL al reemplazar un 72% de la PB por concentrado de harina de soja vs un tratamiento control, 100% lácteo. Los autores no reportaron diferencias en digestibilidad de la materia seca (**DMS**) entre los tratamientos. Sin embargo, la inclusión de concentrado de harina de soja llevó a una disminución de la digestibilidad de la PB (**DPB**) respecto al control (68 vs 94%, respectivamente).

Trabajos más recientes, donde se estudiaron inclusiones de concentrado de proteína de soja (**CPS**) de 25 a 70% de la PB total (Drackley, Blome, Bartlett y Bailey, 2006; Huang et al., 2015; Nabté-Solís, 2009) han reportado resultados variables en cuanto a GD y eficiencia de conversión del alimento (**EC**), en terneros cuya edad varía entre 3 y 21 días. Sin embargo, la disminución de la digestibilidad de la MS y PB es un hallazgo constante incluso en terneros con más de 50 días de vida (Guilloteau et al., 2011).

En cuanto al uso de proteína de trigo como reemplazo parcial de la proteína láctea en SL, se han ensayado niveles de sustitución de 4 hasta 76% de la PB total, en terneros cuya edad oscila entre los primeros días de vida y los 84 días. La inclusión de gluten de trigo o proteína de trigo hidrolizada, a un nivel de 50% de la PB, no mostró diferencias en GD en terneros de 3 y 30 días, respectivamente (Ortigue-Marty et al., 2003; Terui, Morrill y Higgins, 1996). Sin embargo, otros trabajos, con inclusiones de gluten de trigo de 4, 6, 12, 30 y 50% de la PB, reportaron una reducción de la GD y EC en terneros de una semana de vida (Hill, Bateman, Aldrich y Schlotterbeck, 2008; Raeth et al., 2016).

Son muy escasos los estudios que han evaluado la digestibilidad de SL con inclusión de proteína de trigo, y aquellos que lo han hecho, han utilizado terneros de más de 50 días de vida; terneros de carne blanca; cuyo nivel de alimentación y fisiología digestiva difieren de la de un ternero con pocos días de vida (Toullec y Formal, 1998). Además, en la bibliografía solo se reporta un ensayo, en el que se alimentó terneros con un SL al que se sustituyó el 50% de la PB por una mezcla en partes iguales de gluten de trigo y CPS, en el que los autores reportaron una menor GD y EC (Raeth et al., 2016).

4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

4.1. Cría de terneros

Según Berra (2005), la cría de terneros se puede definir como un conjunto de pautas de manejo, que tienen como objetivo el desleche de los terneros entre los 45 y 60 días de vida, acelerando el paso de lactante a rumiante, en un sistema económicamente rentable. Existen varias opciones de cría de terneros, que van desde la crianza natural con el ternero al pie de la vaca, hasta la crianza artificial en donde el mismo se separa inmediatamente de su madre luego del parto. De este modo, la alimentación del ternero va a depender del sistema de crianza que se utilice.

Los sistemas tradicionales de cría de terneros, consisten en el suministro de leche de forma restringida a razón del 10% del PV al nacimiento y tienen como principal objetivo el rápido pasaje de los terneros de lactantes a rumiantes (Khan, Weary y Von Keyserlingk, 2011). Este aporte de nutrientes permite lograr ganancias diarias moderadas a bajas (300 - 500 g/d) (NRC, 2001).

Sin embargo, al suministrar leche o SL a razón del 20% del PV al nacimiento; sistema conocido como cría intensiva o acelerada; se logran mejoras tanto en la GD como en la eficiencia alimenticia respecto a la cría tradicional. A esto se le suma una menor incidencia de enfermedades y una mayor oportunidad de expresar comportamientos naturales, que en combinación sugieren un mayor bienestar animal (Khan et al., 2011). En este sentido, se ha estudiado que cuando se permite mamar libremente a los terneros, estos consumen entre 16 a 24% de su PV, por lo tanto, un ternero de 40 kg consume entre 6,4 a 9,6 kg de leche, lo cual equivale a 0,8 a 1,2 kg de materia seca (**MS**) de leche por día, representando más del doble de lo que consume un ternero en un sistema de cría tradicional (Laggar, 2010).

4.2. Sistemas de alimentación de terneros

La alimentación y nutrición del ternero lactante es crítica durante los primeros 30 a 60 días de vida dado que nace con un rumen subdesarrollado, con muy baja capacidad de digerir alimentos fibrosos (Khan et al., 2011). Desde el punto de vista nutricional, esta es la etapa más crucial y crítica del ternero joven debido a las necesidades relativamente altas de nutrientes, las limitadas reservas corporales y la naturaleza restringida de los nutrientes que pueden digerir, lo cual está directamente relacionado con la presencia o ausencia y la actividad de las enzimas digestivas en los primeros estadios de desarrollo del sistema gastrointestinal (Davis y Drackley, 2002).

Entre el nacimiento y las tres semanas de vida, el animal es lactante, siendo el abomaso el compartimento predominante. Este constituye el estómago verdadero debido a su capacidad de realizar la digestión gástrica de las proteínas al igual que ocurre en los no rumiantes (Davis y Drackley, 2002). Por lo que en

esta etapa el ternero se comporta como un monogástrico, siendo el abomaso el único compartimento gástrico que participa activamente en la digestión de los nutrientes que provienen de la leche o el SL (Heinrichs y Jones, 2006).

En lo que respecta a la dieta líquida, existen diferentes alternativas para la alimentación de los terneros, como lo son la leche entera, leche de descarte o SL. Según mencionan Guadalupe de la Barrera y Prieto (2019), la leche entera proporciona un mejor crecimiento del ternero, ya que posee alta digestibilidad de los nutrientes, además de contener altos niveles de proteína de buena calidad y de grasa. Sin embargo, tiene un alto costo y puede correr el riesgo de transmisión de enfermedades. La leche de descarte es aquella proveniente de vacas paridas en los últimos tres días, o de vacas tratadas con antibióticos. Si bien contiene niveles similares de proteína, grasa y lactosa que la leche entera, la leche de vacas tratadas con antibióticos, puede ser perjudicial para la salud de los terneros (Guadalupe de la Barrera y Prieto, 2019).

Por otro lado, los SL se basan en el uso de proteínas de suero de leche, proteínas vegetales y lactosa como principal carbohidrato, debido a su alta digestibilidad (James, 2011). Según Stobo y Roy (1978), un buen SL debe cumplir debe suministrar un adecuado aporte de nutrientes fácilmente digestibles, utilizables por el ternero para cubrir sus requerimientos. Su digestibilidad debe ser de 90 – 95 % y debe aportar un contenido equilibrado de aminoácidos esenciales (**AAE**).

Además, los SL deben ser altamente solubles en agua, tener baja velocidad de sedimentación, estar libre de factores tóxicos y antibióticos, ser estables en el tiempo y poseer una buena palatabilidad. Es crucial que este alimento sea factible de producir, por lo que su costo no debe exceder al de la leche entera; la industria debe garantizar una producción uniforme y disponibilidad permanente (Quintero, 2007).

Sumado a esto un buen SL se cataloga por su color, olor y sabor (producidos por las materias primas que lo componen), dispersabilidad en solución (que depende de las materias primas y del método de producción) y estabilidad de la emulsión que, además es muy importante para la correcta asimilación del alimento y que depende de la calidad de las grasas empleadas, tamaño de partícula (San Miguel y de Ayala Esquivias, 1996).

4.3. Requerimientos nutritivos de los terneros y su relación con formulación, consumo y digestibilidad de los SL.

En el momento de formular un SL, el abanico de materias primas disponibles es relativamente amplio, pudiendo utilizarse alimentos de origen lácteo o sustitutos de los mismos, de origen vegetal, también se pueden utilizar proteínas no lácteas de origen animal como el plasma y el suero bovino o proteínas de pescado. En la Tabla 1 se presentan algunos de los insumos que se pueden utilizar en Uruguay.

Tabla 1. Clasificación práctica de las diferentes materias primas usadas en la fabricación de SL.

Óptimo	Aceptable	Cuestionable / no recomendado
Leche descremada en polvo	Proteína de soja modificada	Concentrado de proteína de pescado
Mantequilla en polvo	Concentrado de soja	Harina de soja
Suero de leche en polvo	Aislado de proteína de soja	Solubles de destilería
Suero deslactosado	Aislado de proteína de trigo	Levadura de cerveza
Caseinatos	Gluten de trigo	Harina de avena
Albúmina de leche	Micronizado de harina de soja	Harina de trigo

Adaptado de Bacha y Villamide, 2015.

La digestión de la proteína láctea en los terneros jóvenes, se lleva a cabo a través de la acción de la renina, pepsina y del ácido clorhídrico (**HCl**). La secreción de renina aumenta a partir del primer mes de vida del ternero y está afectada directamente por la fuente proteica del SL. Si las proteínas son suministradas por leche descremada, la concentración de esta enzima es alta, mientras que si las proteínas provienen del suero o de proteínas no lácteas la concentración de renina es baja (Quintero, 2007).

Proteínas lácteas

Tanto las proteínas de suero, así como la leche descremada en polvo son las proteínas lácteas más comúnmente utilizadas en los SL (Bruggink, 1993).

Según Quintero (2007), las proteínas de los subproductos lácteos presentan una alta digestibilidad (93 a 95%), su perfil de AAE es muy favorable para animales jóvenes y no presentan factores antinutricionales (**FAN**). Además, contiene elementos específicos de buena digestibilidad, que presentan una función protectora del intestino (albúminas y globulinas del suero), así como un efecto bacteriostático y bactericida (lactoperoxidasa y lactoferrina).

No obstante, los componentes de la leche son los ingredientes más caros en los SL, ya que la leche en polvo es uno de los commodities con mayor presencia en el comercio internacional de productos lácteos (Ansia y Drackley, 2020). Además, hoy en día el uso del suero de leche es empleado en productos de panadería, fórmulas infantiles, barras energéticas, etc. (Nabté-Solís, 2009). Es por este motivo que los aumentos en la demanda de proteínas lácteas para el consumo humano han incrementado el precio de las mismas y en consecuencia el de los SL.

Proteínas no lácteas

En los sistemas de producción de terneros la reducción del costo de alimentación sigue siendo de suma importancia, por lo que la sustitución total o parcial de las proteínas de la leche con fuentes de proteínas alternativas de menor costo puede ser económicamente beneficiosa (Ortigue-Marty et al., 2003; Raeth et al., 2016). Dentro de las proteínas no lácteas las más usadas son las proteínas vegetales, como la de soja, trigo, papa y guisantes. Experimentalmente se han utilizado proteínas de origen animal como el plasma sanguíneo y harina de pescado

(Bacha y Villamide, 2015; Hill et al., 2008), pero la complejidad en el proceso de elaboración y las restricciones en su uso debido a la posible transmisión de enfermedades como la Encefalopatía espongiforme bovina, llevan a que estos insumos no estén disponibles en Uruguay para la producción de SL. En la Figura 1 se presentan diferentes fuentes de proteínas utilizadas en SL, tanto de origen lácteo como sus alternativas de origen vegetal y animal.

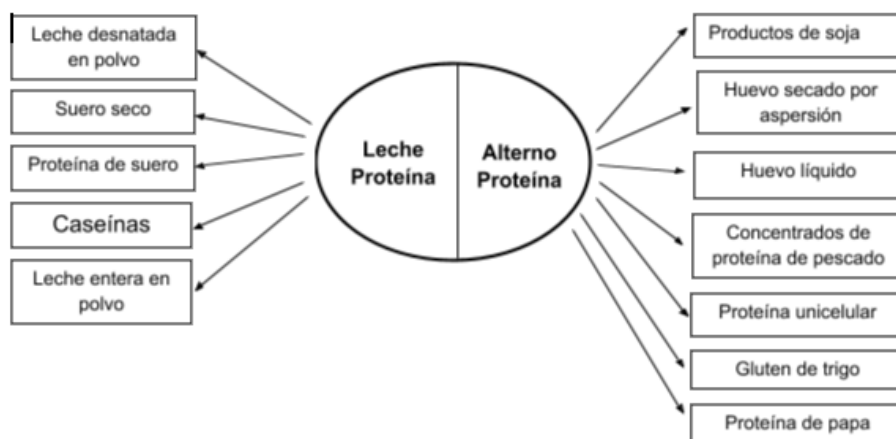


Figura 1. Fuentes de proteína comúnmente utilizadas en la formulación de SL. Adaptado de FAO, 2011.

Las consideraciones al administrar ingredientes proteicos alternativos en los SL de terneros incluyen la posibilidad de un perfil de AAE menos deseable y una menor digestibilidad de la fracción de carbohidratos y proteínas vegetales en comparación con todas las fuentes de proteína de la leche (Hill et al., 2008; Kanjanapruthipong, 1998). En la tabla 2 se presentan los requerimientos de AAE en terneros y los perfiles de AAE reportados por diferentes autores para la leche de vaca, el tejido muscular y dos SL (con y sin inclusión de proteína vegetal).

Tabla 2. Comparación de los perfiles de aminoácidos esenciales (AAE) expresados en relación al contenido de lisina (Lys) entre necesidades estimadas, la leche de vaca, un sustituto (SL) 100% lácteo, SL 50% soja y el tejido muscular. Adaptado de Bach, Fernández y Terré, 2010.

AAE %/Lys	Req ¹	Leche ²	SL PL ³	SL soja ⁴	Mus ⁵
Lys	100	100 (8,3% PB)	100 (7.7% PB)	100 (4,1% PB)	100
Met + Cys	41	44,1	52,1	-	-
Met	-	34,4	40	38,6	31,3
Thr	50	55,6	55	71,6	57,3
Ile	62	71,3	60	86,3	43,6
Leu	87	112,9	125	156,8	104,3
Arg	33	45	45	167	103,1
Val	61	81,3	75	100	62,0
Trp	11	18,8	-	-	15,3
His	25	34,4	35	-	38,6
Phe +Try	88	118	1,09	-	-
Phe	-	62,5	55	102,3	54,6

¹ Req: Requerimientos de AAE en terneros (Weerden y Hulsman, 1985) .

² Leche: Composición de AAE en leche de vaca (Schwab, 1996).

³ SL PL: Composición de AAE en SL 100% lácteo (Terré et al., 2006).

⁴ SL Soja: Composición de AAE en SL compuesto por 50% PL y 50% soja (Kanjapaputhipong, 1998).

⁵ Mus: Composición de AAE en tejido muscular (Schwab, 1996).

Según FEDNA (2010), el perfil de AAE del músculo es la composición ideal de proteínas, por lo tanto, la composición de AAE de los alimentos de mayor calidad nutricional debería ser similar a dicho perfil.

Proteína de soja y sus derivados

Entre todas las fuentes alternativas que se utilizan actualmente, la proteína de soja presenta algunas características deseables como su alta disponibilidad, bajo precio y su composición química (Davis y Drackley, 2002). Además, el precio de la misma sigue siendo más competitivo que el de la proteína de suero lácteo. Es por este motivo que la proteína de soja es una de las materias primas más estudiadas en la elaboración de SL (Ansia, Stein, Vermeire, Brokner y Drackley, 2020).

En cuanto a su calidad como sustituto parcial de la proteína láctea, la soja posee niveles adecuados de proteína y perfiles de AA compatibles con el crecimiento; ya que contiene niveles aceptables de AAE, similares a los de la leche de vaca (Lallès, 1993). Sin embargo, como ocurre con otros granos de leguminosas, la proteína de la soja es rica en lisina y relativamente deficitaria en metionina y triptófano, AAE que deben añadirse a la formulación (FEDNA, 2010).

No obstante, el valor nutricional de la soja está marcado por la presencia de FAN de origen natural. Los FAN presentes en la proteína de soja pueden clasificarse en dos grupos: estables o lábiles al calor. Los lábiles son inhibidores de las proteasas, lectinas, goitrógenos y antivitaminas. Los estables incluyen factores antigénicos (glicinina y β -conglucina), saponinas, estrógenos, cianógenos, fitatos, oligosacáridos y lisina-alanina (Bruggink, 1993). Los más importantes son termolábiles, por lo que su contenido es reducido después de un correcto procesado térmico (FEDNA, 2010).

Entre todos los inhibidores de proteasa presentes en las semillas de leguminosas, los inhibidores de tripsina son los que tienen mayor influencia en los animales monogástricos (Huisman y Jansman, 1991). Cuando las concentraciones de inhibidores de proteasa en la proteína de soja son elevadas da como resultado una disminución en el crecimiento de los terneros (Dawson, 1987). En lo que respecta a las lectinas, estas alteran la morfología del epitelio, la permeabilidad intestinal y el transporte de nutrientes, al unirse a la mucosa del intestino debido a su fuerte afinidad por los carbohidratos en la superficie celular (Friedman y Brandon, 2001). Según Huisman y Jansman, (1991) y Lallès (1993), tanto los inhibidores de la proteasa como las lectinas, inducen la síntesis de anticuerpos específicos mediada por la respuesta gastrointestinal.

Hay muchos tipos o formas de proteína de soja que se pueden utilizar en los SL (harina de soja, harina de soja modificada, CPS, aislado de soja) y surgen de los diferentes procesos industriales tendientes a disminuir los efectos negativos de los FAN. Entre dichos procesos se encuentran el tratamiento térmico, la extracción con etanol acuoso, el aislamiento de proteínas, el tratamiento microbiano (fermentación) y el enzimático (Ansia y Drackley, 2020).

El tratamiento térmico es el proceso más común que se aplica a las formas comercialmente disponibles de productos de soja (Liener, 1981). Sumado a esto, Ansia y Drackley (2020) plantean que el calor, además de reducir los inhibidores de las proteasas también desnaturaliza las lectinas, por lo que con este proceso la soja se transforma en un alimento que genera mayores GD y mejor eficiencia de conversión alimenticia.

El subproducto de soja más utilizado en SL es el CPS, que se obtiene eliminando los carbohidratos solubles de la soja desengrasada con una solución de alcohol (Bacha y Villamide, 2015). Un CPS (66 a 71% PB) extraído con etanol acuoso caliente, no contiene glicinina ni β -conglucina inmunológicamente activas (Lallès, 1993). Además, este tratamiento elimina los oligosacáridos solubles en etanol (Caugant et al., 1994). Por su parte Bruggink (1993), plantea que los concentrados adecuadamente procesados contienen una cantidad residual de oligosacáridos (0,05% de rafinosa y 0,7% de estaquiosa). Varios autores plantean que al ser altamente digestible (alrededor del 90%) y no desencadenar trastornos digestivos como los observados con la harina de soja, esto se ve reflejado en un mejor rendimiento de los terneros (Caugant et al., 1994).

De menor calidad que el CPS, otro subproducto menos utilizado en la elaboración de SL es la harina de soja finamente molida, con un contenido de PB de 50%. Y, con una calidad intermedia entre el CPS y la harina de soja se encuentra disponible la harina de soja micronizada, que se obtiene al moler finamente la harina de soja previamente descascarillada, seguido de clasificación por aireación para concentrar más la fracción proteica, obteniendo un nivel de PB de 60% (FEDNA, 2010).

Aunque las proteínas de soja se utilizan ampliamente en fórmulas de SL como proteínas alternativas en las que la soja reemplaza el 50% o menos de la proteína de la leche, el crecimiento de los terneros y la eficiencia alimenticia suelen ser menores que con las fórmulas que contienen únicamente proteínas de la leche (Davis y Drackley, 2002; Drackley et al., 2006; Lallès, 1993).

Si bien se han hecho intentos para aumentar el nivel de sustitución de proteína láctea a más del 50%, muchos de los resultados obtenidos no fueron favorables, siendo difícil establecer si el bajo rendimiento está en función de una interferencia con el metabolismo debido a los FAN, a la baja calidad de las proteínas respecto de la digestibilidad de los AA o a una combinación de ambos factores (Drackley et al., 2006).

Se ha observado que sustituir el 50% de la PB por CPS en animales menores de 3 semanas de edad lleva a una disminución de 32,5% y 33% en GD y EC, respectivamente, en comparación con un SL cuya PB era exclusivamente láctea. Sin embargo, en los animales con 16-24 semanas de vida, la disminución fue sólo del 7,1% y del 5,9% para GD y EC, respectivamente (Tomkins et al., 1994).

Tanto Toullec, Lallès y Bouchez (1994) como Drackley et al. (2006), coincidieron en que el reemplazo de una gran parte de la proteína de origen lácteo por proteína de soja afecta el crecimiento animal y la digestibilidad de la dieta. En este sentido, Drackley et al. (2006) observaron que reemplazar el 60% de las proteínas de suero por CPS, disminuyó la GD en 18,2% y la EC en 14,5%. Sin embargo, en un trabajo realizado por Huang et al. (2015) en donde sustituyeron el 70% de la proteína en el SL con CPS, no se encontraron diferencias en la GD o la EC respecto a un SL 100% lácteo.

En lo que refiere a la digestibilidad Lallès (1993) y Toullec et al. (1994) plantean que los FAN presentes en la soja interfieren con la función gastrointestinal regular, afectando negativamente el crecimiento y la fisiología normal en terneros jóvenes (principalmente antes del desleche) así como en animales monogástricos. Estos componentes en forma individual o asociados, afectan principalmente a la digestibilidad aparente y absorción de proteínas, pero también a la digestión de carbohidratos y a la biodisponibilidad de minerales y vitaminas.

En 1987, Dawson, comparó la digestibilidad de la PB entre un tratamiento control (SL,100% suero lácteo) y un SL en el que se reemplazó el 75% de la PB por CPS. Los autores observaron que la DPB para el concentrado de suero lácteo fue de 82,2% en terneros de 2 semanas de edad y 87,5% a las 6 semanas de vida; mientras que el CPS presentó una digestibilidad del 58,7% a las 2 semanas y 64,9% a las 6 semanas de edad de los terneros.

Más recientemente Ansia et al. (2020) midieron y compararon la digestibilidad ileal aparente, estándar y verdadera de la PB y los AA en concentrados de proteínas del suero o SL con un 50% de la PB proporcionada por harina de soja tratada con enzimas. No se observaron diferencias apreciables en el consumo de SL entre los tratamientos. Tampoco se observaron diferencias en la digestibilidad ileal aparente de los principales componentes de la dieta y en la digestibilidad ileal verdadera de la mayoría de los AA y PB entre tratamientos. Sin embargo, para lograr altos niveles de inclusión de proteína de soja en SL sin afectar la salud y el crecimiento de los terneros, parece ser necesario recurrir a procesamientos de alta tecnología y alto costo respecto a los procesamientos convencionales.

Trigo y sus derivados

La proteína de trigo es también utilizada en la formulación de SL para minimizar el costo del alimento para los terneros (Terui et al., 1996). Sus derivados más utilizados con este fin son hidrolizados y gluten de trigo. Con respecto a este último, es una proteína derivada de harina de trigo mediante procesamiento húmedo o molido que presenta una digestibilidad elevada y carece de FAN (FEDNA, 2010). Sin embargo, su perfil en AA es menor si se compara con otras fuentes de proteína vegetal o láctea, por su bajo contenido en lisina y metionina (Toullec y Formal, 1998).

En condiciones experimentales Tolman y Demeersman (1991), observaron que el reemplazo total de leche desnatada en polvo por proteínas de trigo solubilizadas (que proporcionaron el 65% de la PB total), mostró como resultado una disminución del 5% en la GD y la EC, y lo atribuyeron a un posible desequilibrio en el consumo y metabolismo de los AA.

En un estudio realizado por Toullec y Formal (1998), donde se compararon tres tratamientos; un SL control 100% lácteo y dos SL en los que la proteína de la leche fue reemplazada total o parcialmente (47.6%) por una mezcla de concentrado de proteína de trigo solubilizado y suero en polvo (76:24; en base a la PB), se observó que para los tratamientos que incluían proteína de trigo se aceleró el vaciado abomasal de grasas y proteínas, y disminuyeron los valores de digestibilidad del nitrógeno (N) total y la mayoría de los AA, a excepción de la cistina.

En un trabajo más reciente, Raeth et al. (2016) realizaron un experimento con terneros de 2 a 5 días de edad, y se les asignaron diferentes tratamientos, que consistían en un grupo control 100% de proteína láctea (concentrado de proteína de suero), 30% de la PB proveniente de GT, 50 % de la PB de GT, 50% de la PB de CPS, y 50% de la PB compuesta por una mezcla 1:1 de CPS y GT. La inclusión de GT, CPS o ambos en el SL, no alteró el consumo del mismo por parte de los terneros. Sin embargo, los autores observaron que los terneros en el grupo control tuvieron una GD pre desleche 15% mayor comparada con los terneros de los demás tratamientos.

Al igual que en muchos otros, en el trabajo anteriormente mencionado no se realizaron pruebas de digestibilidad, por lo tanto, no se reportan en la bibliografía, trabajos que hayan utilizado una combinación de CPS y GT en un mismo SL y sus valores de digestibilidad en terneros.

.

5. HIPÓTESIS

El reemplazo de 35% de las proteínas lácteas por proteína proveniente de micronizado de harina de soja, gluten de trigo o una mezcla de ambas en partes iguales, permitirá que terneros alimentados con sustituto lácteo a razón de 20% de su PV inicial tengan consumos de MS y PB digestibles y crecimiento corporal similares al obtenido con un sustituto con 100% de proteínas lácteas, dado que no se afectará en forma significativa la digestión de los sustitutos.

6. OBJETIVOS

6.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de reemplazar parcialmente las proteínas de origen lácteo por proteínas vegetales en sustitutos lácteos formulados para la alimentación de terneros durante las primeras 8 semanas de vida en un sistema de cría intensiva.

6.2 Objetivos específicos

- 1) Estudiar el efecto de reemplazar 35% de proteínas de origen lácteo por proteína proveniente de micronizado de harina de soja, gluten de trigo o la mezcla de ambos en igual proporción, en sustitutos lácteos para la alimentación de terneros durante las primeras 8 semanas de vida y sus efectos sobre el consumo de alimentos.
- 2) Estudiar el efecto de sustituir 35% de proteínas de origen lácteo por proteína proveniente de micronizado de harina de soja, gluten de trigo o la mezcla de ambos en igual proporción, en sustitutos lácteos para la alimentación de terneros durante las primeras 8 semanas de vida y sus efectos sobre la digestibilidad de la materia seca y la proteína bruta de los sustitutos.

7. MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo experimental se llevó a cabo en el Instituto de Producción Animal de la Facultad de Veterinaria (**IPAV**), Universidad de la República, Libertad, San José, Uruguay. Los análisis de composición química de los alimentos se realizaron en el laboratorio de la Unidad Académica de Nutrición Animal de la Facultad de Veterinaria de la UdelaR.

El ensayo se realizó siguiendo el protocolo experimental aprobado por la CEUA de la Facultad de Veterinaria, de acuerdo con los reglamentos sobre el uso de animales en experimentación, enseñanza e investigación de la Comisión Honoraria de Experimentación Animal de la UdelaR (protocolo CEUAFVET-846).

7.1 Diseño experimental y tratamientos

Cuarenta y ocho terneros machos de raza Holando de 4 días de vida, fueron bloqueados tanto por fecha de nacimiento como peso vivo al nacimiento y luego asignados al azar a uno de los cuatro tratamientos:

- a) Sustituto lácteo con 100% de proteínas de origen lácteo, ofrecido a razón de 20% PV inicial como control (**PL**).
- b) Sustituto lácteo con 65% de proteína de origen lácteo y 35% de micronizado de harina de soja ofrecido a razón de 20% del PV inicial (**MHS**).
- c) Sustituto lácteo con 65% de proteína de origen lácteo y 35% de gluten de trigo ofrecido a razón de 20% del PV inicial (**GT**).
- d) Sustituto lácteo con 65% de proteína de origen lácteo y 35% de una mezcla 50:50 de micronizado de harina de soja y gluten de trigo ofrecido a razón de 20% del PV inicial (**MHSGT**).

La duración total del período de cría para cada ternero fue de 56 días, donde los primeros 7 días fueron de adaptación a la dieta y durante los últimos 7 días se realizó el desleche. Debido a la dispersión natural en los partos, los terneros no ingresaron en el experimento en la misma fecha, por lo que fueron bloqueados por fecha de nacimiento y PV inicial.

7.2. Animales, alimentos y manejo

Los terneros fueron seleccionados de un establecimiento comercial ubicado en el departamento de San José, Uruguay, presentando más de 35 kg de PV y hasta 4 días de vida. Los mismos fueron alojados en jaulas individuales de 2,0 × 1,0 metros, donde permanecieron hasta el desleche. La alimentación consistió exclusivamente en SL durante los primeros 20 días del experimento, el cual que fue suministrado dos veces al día (a las 08:00 y 16:00 hs.) a razón del 20% del PV inicial de los terneros y preparado a una dilución de 12,5% de sólidos totales. A partir del día 20 de experimento se ofreció además concentrado iniciador *ad*

libitum y durante todo el experimento los terneros tuvieron acceso permanente a agua fresca.

Diariamente se observó y registró el score fecal (1 a 5 puntos) y respiratorio (1 a 5 puntos) de los terneros previo a la alimentación matutina. Se consideró que un ternero tenía diarrea cuando la materia fecal se le asignó una puntuación ≥ 3 , según Kertz y Chester-Jones (2004). De manera similar, se consideró que un animal tenía enfermedad respiratoria bovina cuando presentaba uno o varios de los siguientes signos: disnea, tos, orejas caídas, secreción ocular o nasal y fiebre (Bach, Terré y Pinto, 2013).

Sustituto	10% PV	Cantidad equivalente al 20% PV inicial							Desleche
Concentrado	-	-	-	-	Acceso <i>ad libitum</i>				
Agua fresca	Acceso <i>ad libitum</i>								
Semanas Exp.	-1	1	2	3	4	5	6	7	8

Figura 2. Esquema del experimento, dónde la semana -1 corresponde a la adaptación y la semana 8 al desleche gradual. El concentrado de inicio fue suministrado *ad libitum* a partir de la semana 3 del experimento.

7.3. Mediciones y determinaciones

7.3.1. Composición química de los alimentos

Al inicio del experimento y una vez por mes se colectaron muestras de los SL y el concentrado iniciador para confeccionar una muestra compuesta de cada alimento para todo el período, las cuales fueron analizadas al finalizar el ensayo experimental. Dichas muestras fueron secadas en estufa a 60°C y se molieron a 1 mm. Posteriormente se determinó el contenido de MS total (103- 105°C), materia orgánica (MO; 100 - % cenizas) y proteína bruta (PB) (N x 6,25; según AOAC, 1990). Se analizó también el contenido de extracto etéreo (EE) mediante la técnica Goldfish descrita por Nielsen (2003) usando un Extractor de grasa (Labconco Corporation, Kansas, USA), previa hidrólisis ácida (AOAC, 1995) utilizando un Digestor (Labtec Digestor Basic 6006 3335, FOSS Analytical CO., Ltd., China) y Scrubber (SR210 Scrubber Labtec Line 6006 5818, FOSS Analytical, Dinamarca). Los datos de composición química de los alimentos, determinada en el laboratorio y los valores de formulación proporcionados por el fabricante se reportan en la tabla 3.

Tabla 3. Composición química de los cuatro sustitutos lácteos y el concentrado

Nutrientes (% MS)	Sustitutos lácteos ¹				Concentrado iniciador
	PL	MHS	GT	MHSGT	
Materia Seca	95,3	97,0	96,5	97,4	90,2
Proteína Bruta	22,7	23,3	24,0	24,1	20,6
Extracto Etéreo	18,7	18,2	18,4	18,6	4,1
Ácido Linoleico ²	2,03	3,78	2,59	2,62	-
Lactosa ³	52,0	51,8	51,3	50,7	-
Cenizas	6,57	6,62	6,31	6,62	5,75
Calcio ²	1,40	1,21	1,21	1,21	-
Fósforo total ²	0,66	0,61	0,54	0,56	-
Lisina total ²	2,22	2,21	2,21	2,22	-
Metionina total ²	0,73	0,72	0,71	0,72	-
EM (Mcal/kg de MS) ^{4,5}	4,75	4,73	4,77	4,78	3,24

¹ PL = Sustituto lácteo con 100% de proteínas de origen lácteo. MHS = Sustituto lácteo con 65% de proteína de origen lácteo y 35% de micronizado de harina de soja. GT = Sustituto lácteo con 65% de proteína de origen lácteo y 35% de gluten de trigo. MHSGT = Sustituto lácteo con 65% de proteína de origen lácteo y 35% de una mezcla 50:50 de micronizado de harina de soja y gluten de trigo.

² Corresponden a valores de formulación proporcionados por el fabricante.

³ Lactosa (%) = $100 - (\%PB + \%EE + \%Cenizas)$.

⁴ Energía Metabolizable (Mcal/kg de MS) = $[(9,21 \times \%EE) + (5,86 \times \%PB) + (3,95 \times \%Lactosa)] \times 0,93/100$.

⁵ El contenido de Energía Metabolizable (EM) del concentrado fue estimado a partir de las ecuaciones de National Research Council (2001): ME (Mcal/kg MS) = $(1,01 \times ED - 0,45) + [0,0046 \times (EE - 3)]$, donde ED = (Mcal/kg MS) = digestibilidad CNF $\times 4,2$ + digestibilidad FND $\times 4,2$ + digestibilidad CP $\times 5,6$ + digestibilidad EE $\times 9,4$.

7.3.2. Consumo de alimentos, consumo de nutrientes y digestibilidad

Todos los días se midió y registró el consumo individual de SL y concentrado iniciador por diferencia entre la cantidad de alimento ofrecido y rechazado. Tanto el consumo de alimentos como la composición química de los mismos fueron utilizados para calcular el consumo de MS y PB digestible.

7.3.3. Medición de peso vivo, ganancia de peso y eficiencia de alimentación

Semanalmente se midió y registró el peso de cada animal retirando a los terneros de sus jaulas y colocándolos sobre una jaula de madera equipada con una balanza electrónica (Terko 3505C, USA). Se calculó la ganancia diaria de peso para cada ternero, dividiendo el peso vivo obtenido en dos mediciones consecutivas entre el intervalo de tiempo de las mediciones. La eficiencia de alimentación se calculó como los g de PV logrados por cada kg de MS de alimento consumido.

7.3.4. Digestibilidad real total de la MS y PB de los SL

Durante la segunda semana del experimento (14 a 18 días de vida), se colectó el total de la materia fecal excretada en 24 horas durante 5 días consecutivos. Para esto se utilizó un fieltro que fue adherido al pelo de la zona de la cadera, el cual sostenía una bolsa plástica que cubría la zona del ano y recogía la materia fecal. Las bolsas fueron colocadas a las 07:00 y retiradas a las 24 hs. Se registró el peso

fresco, se secó en estufa a 60°C durante 48 horas, se molieron a 1 mm y se realizó un pool representativo para cada ternero. Los análisis de MS y PB en heces siguieron los mismos procedimientos descriptos para los alimentos.

7.3.5. Análisis estadístico

Todos los análisis fueron realizados con el paquete estadístico SAS (SAS® 9.4 University Edition, SAS Inst. Inc., Cary NC, USA). Al comienzo se verificó la normalidad de las variables mediante el PROC UNIVARIATE y se analizaron los datos para detectar valores atípicos.

El consumo de SL, el consumo de concentrado, el consumo total de MS, el consumo total de EM el consumo total de PB, la relación PB/EM, las ganancias diarias de peso vivo, la eficiencia de alimentación, el escore respiratorio y el escore fecal fueron analizados como medida repetida en el tiempo empleando el PROC MIXED, con una estructura de covarianza de tipo AR (1) según el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + S_j + (T_i \times S_j) + B_k + e_{ijk}$$

Donde:

μ = media general.

T_i = efecto fijo del tratamiento.

S_j = efecto fijo de la semana.

$T_i \times S_j$ = efecto fijo de la interacción entre el tratamiento y la semana.

B_k = efecto aleatorio del bloque.

e_{ijk} = error residual.

El PV inicial, el PV final, la digestibilidad de la MS, digestibilidad de la PB y el consumo de PB digestible fueron analizada mediante el PROC MIXED, según el siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + e_{ij}$$

Donde:

μ = media general

T_i = efecto fijo del tratamiento.

B_j = efecto aleatorio del bloque.

e_{ij} = error residual.

Las medias de todas las variables fueron comparadas con el test de Tukey. Se aceptó como diferencias significativas cuando $P < 0,05$ y como tendencia cuando $0,05 \leq P \leq 0,10$.

8. RESULTADOS

La sustitución del 35% de la PB de origen lácteo por proteínas de origen vegetal no alteró el consumo de MS de SL, el consumo de MS del concentrado ni el consumo de MS total. Tampoco se detectó efecto del tratamiento sobre el consumo de PB ni EM total. Tanto para el consumo de SL como para el consumo de concentrado se detectó efecto de la semana de medición, pero no hubo interacción tratamiento por semana en dichas variables (Tabla 4). Los terneros del tratamiento GT fueron los que tuvieron la mayor relación PB/EM en la dieta, mientras que los terneros del tratamiento PL fueron los que lograron la menor relación (Tabla 4).

Los terneros se deslechaban a los 60 días del experimento con $85,9 \pm 1,8$ kg de PV y no se detectaron diferencias significativas entre tratamientos. Del mismo modo, no se observaron diferencias significativas entre tratamientos ni interacción tratamiento por semana en las ganancias diarias de peso ni en la eficiencia de alimentación (Tabla 4). El escore respiratorio fue 1 en todos los terneros durante todo el periodo experimental por lo que no fue analizado estadísticamente. Mientras que el escore fecal promedio fue de $1,5 \pm 0,50$ y fue similar entre tratamientos ($P = 0,19$).

Tabla 4. Consumo de alimentos, consumo de nutrientes (EM y PB), crecimiento corporal y eficiencia de alimentación en terneros alimentados con sustitutos lácteos de diferente composición.

Ítem	Tratamientos ¹					Efectos ³		
	PL	MHS	GT	MHSGT	EEM ²	T	S	TxS
Consumo de alimentos								
Sustituto (g/MS/d)	953	977	955	968	10,8	ns	< 0,01	ns
Concentrado (g/MS/d)	281	313	321	271	32,9	ns	< 0,01	ns
Consumo total (g/MS/d)	1234	1290	1276	1239	39,5	ns	< 0,01	ns
Proteína Bruta (g/d)	269	289	296	292	10,0	ns	< 0,01	ns
E. Metabolizable (Mcal/d)	5,34	5,58	5,60	5,56	0,184	ns	< 0,01	ns
Rel. PB/EM (g PB/Mcal)	50 ^c	52 ^b	53 ^a	52 ^{ab}	0,2	< 0,01	< 0,01	ns
Crecimiento y eficiencia								
Peso inicial (kg)	40,6	41,3	42,0	42,5	1,28	ns	-	-
Peso final (kg)	85,3	85,8	86,2	86,3	1,80	ns	-	-
Ganancia diaria (g/d)	729	736	743	745	30,0	ns	< 0,01	ns
Ef. de alimentación ⁴ (g/kg)	638	617	631	648	23,6	ns	< 0,01	ns

^{abc} Letras diferentes en una misma fila indican diferencia significativa ($p < 0,05$).

¹ PL = Sustituto lácteo con 100% de proteínas de origen lácteo. MHS = Sustituto lácteo con 65% de proteína de origen lácteo y 35% de micronizado de harina de soja. GT = Sustituto lácteo con 65% de proteína de origen lácteo y 35% de gluten de trigo. MHSGT = Sustituto lácteo con 65% de proteína de origen lácteo y 35% de una mezcla 50:50 de micronizado de harina de soja y gluten de trigo.

² EEM= Error estándar de las medias.

³ Efectos: T= Efecto del tratamiento. S= Efecto de la semana. T x S= Efecto de Tratamiento x Semana.

⁴ Eficiencia de alimentación, calculada como: g de PV logrados por cada kg de MS consumida.

En la Tabla 5 se observan los resultados de DMS, DPB y consumo de PB digestible de los cuatro tratamientos alimenticios. Cuando se sustituyó el 35% de la PB de origen lácteo por MHS o GT, se observó una disminución significativa de la digestibilidad tanto de la MS ($P = 0,01$) como de la PB ($P < 0,01$) respecto al sustituto con PL. Sin embargo, cuando la proteína láctea fue reemplazada por

una combinación 50:50 de MSH y GT, tanto la digestibilidad de la MS como la digestibilidad de la PB no se vieron afectadas respecto al tratamiento PL y tampoco mostraron diferencias respecto a los tratamientos MHS y GT (Tabla 5). Por otra parte, el consumo de PB digestible fue mayor para MHSGT respecto a PL y MHS.

Tabla 5. Digestibilidad de la MS, de la PB y consumo de PB digestible en terneros alimentados con sustitutos lácteos de diferente composición.

Ítem	Tratamientos ¹				EEM ²	Efecto ³
	PL	MHS	GT	MHSGT		T
Digestibilidad MS, %	94,8 ^a	91,1 ^b	91,3 ^b	92,6 ^{ab}	0,85	0,01
Digestibilidad PB, %	91,0 ^a	80,8 ^b	82,7 ^b	88,3 ^{ab}	1,83	< 0,01
Consumo PB digestible, g/d	196 ^b	193 ^b	203 ^{ab}	226 ^a	10,0	0,02

^{abc} Letras diferentes en una misma fila indican diferencia significativa ($p < 0,05$).

¹ PL = Sustituto lácteo con 100% de proteínas de origen lácteo. MHS = Sustituto lácteo con 65% de proteína de origen lácteo y 35% de micronizado de harina de soja. GT = Sustituto lácteo con 65% de proteína de origen lácteo y 35% de gluten de trigo. MHSGT = Sustituto lácteo con 65% de proteína de origen lácteo y 35% de una mezcla 50:50 de micronizado de harina de soja y gluten de trigo.

² EEM= Error estándar de las medias.

³T= Efecto del tratamiento

9. DISCUSIÓN

A pesar que un trabajo previo reportó diferencias en el consumo de concentrado de inicio y en el desempeño productivo de terneros que accedieron a SL con 15-38% de proteínas provenientes del GT (Hill et al., 2008), en este experimento no detectamos diferencias significativas en el consumo de SL ni de concentrado del inicio. No obstante, el consumo promedio de concentrado observado en los cuatro tratamientos durante todo el periodo pre-desleche fue menor a los valores reportados por algunos trabajos realizados en Uruguay en los que se ofrecieron cantidades semejantes de leche (de Trinidad, 2014) o sustituto lácteo en condiciones experimentales similares (Antúnez com. pers.). Sin embargo, es necesario considerar que, en este experimento, el suministro de concentrado fue retrasado hasta la semana 3 de vida, debido a las pruebas de digestibilidad aparente *in vivo* desarrolladas entre los días 14 a 18 de vida para evaluar los diferentes sustitutos lácteos.

Los resultados publicados sobre el desempeño productivo de los terneros alimentados con SL en los que se reemplazó parte de las proteínas lácteas por proteínas de origen vegetal, son muy variados y en algunos casos inconsistentes. En general, en aquellos trabajos en los que se reemplazó 60%, 65% y 75% de la PB del SL por proteínas de origen vegetal, reportan menores ganancias diarias de peso (Dawson, Morrill, Reddy, Minocha, y Ramsey, 1988; Drackley et al., 2006; Toullec et al., 1994) y menor eficiencia de conversión en comparación con los terneros que accedieron a SL con proteínas provenientes únicamente de la leche (Toullec et al., 1994). Mientras que algunos de los trabajos en los que se reemplazó 50% de las proteínas lácteas por CPS (Nabté-Solís, 2009) o 30 a 50% por GT (Terui et al., 1996), no reportaron diferencias en la GD y ni en la EC de los terneros respecto al tratamiento control. Considerando esto, es necesario destacar que en nuestro experimento los terneros que consumieron SL con 35% de proteínas de origen vegetal desde la primera semana de vida, no solo tuvieron un desempeño similar a los terneros que accedieron a SL con proteínas exclusivamente lácteas, sino que además lograron GD de peso superiores a los 700 g/día, que les permitieron duplicar el peso vivo a las 8 semanas de vida.

En el presente experimento, los terneros consumieron cantidades similares de SL y concentrado, los que a su vez contenían similares concentraciones de PB y EM. Por lo tanto, las dietas que consumieron los terneros fueron isoenergéticas e isoproteicas, resultando consistente con la ausencia de diferencias significativas en el crecimiento corporal entre tratamientos.

Si bien los terneros consumieron cantidades similares de PB y EM, los diferentes sustitutos podrían haber aportado proteínas de diferente calidad, con diferente digestibilidad y diferente perfil de aminoácidos esenciales. Los aminoácidos son fundamentales para el crecimiento del ternero y deficiencias moderadas de PB, Lisina y Metionina en terneros de menos de 4 semanas de edad reducen la GD en más de un 20% (Hill et al., 2008). En el trabajo realizado por Hill et al. (2008),

se sugirió que la PB y los aminoácidos esenciales que aporta el GT, podrían ser digeridos de manera menos eficiente que las PL y contribuirían a reducir la GD de peso. Sin embargo, no determinaron la digestibilidad de la PB por lo que no se cuenta con información que pueda avalar su hipótesis.

Si bien no fueron detectadas diferencias significativas en el crecimiento corporal de los terneros, sí fueron detectadas diferencias en las pruebas de digestibilidad aparente *in vivo* de los diferentes sustitutos. Nuestros resultados concuerdan con lo reportado por otros autores que, sustituyendo parte de la PB por proteína de soja (Dawson et al., 1988; Guilloteau y Zabielski, 2005; Guilloteau et al., 2011) o gluten de trigo, reportaron menor DMS y DPB respecto a SL con 100% de PB láctea.

Los menores valores observados de la DPB en los terneros que accedieron a SL con MHS es consistente con algunos trabajos previos. Por ejemplo, Dawson et al. (1988) compararon la DPB de un SL con 100% de PB de origen lácteo con otro en el que se reemplazó el 75% de la PB láctea por CPS. Observaron que la DPB en terneros de 2 semanas de edad fue de 82,2% para el SL con PL y 58,7%, para el SL con proteína de soja. Además, las diferencias en la digestibilidad se reflejaron en menores GD de peso. En otro estudio, en el que los terneros fueron alimentados con un SL 100% lácteo (M) o un SL en el que se reemplazó el 24,5% de la PB láctea por CPS se reportó menor DMS (84,5 vs 96,1%) y menor DPB (74,3 vs 94,5%) a nivel duodenal cuando los terneros accedieron a SL con CPS en comparación con los que accedieron a PL (Guilloteau y Zabielski, 2005; Guilloteau et al., 2011). Los autores concluyeron que la proteína de soja es más resistente a la degradación enzimática, que el flujo de la digesta gástrica es mayor si la dieta contiene proteína de soja y que la cantidad de secreción pancreática necesaria para digerir el SL con CPS fue el doble de la necesaria para digerir las PL (Guilloteau y Zabielski, 2005).

Por otra parte, la menor DPB del sustituto que contenía proteínas provenientes del GT, concuerdan con un experimento en el que se administraron SL con PL, 76% o 36% de proteína soluble de trigo, a terneros de 9 a 10 semanas de vida (Toullec y Formal, 1998). En dicho trabajo reportaron que la digestibilidad ileal aparente del nitrógeno fue menor con SL que contenían 76 y 36 % de proteína de trigo en comparación con el SL que contenía PL (85%, 89% y 91%, respectivamente). Los autores reportaron valores promedio de digestibilidad de 95% para todos los AA, excepto lisina, fenilalanina, glicina, prolina y ácido glutámico, en los que la digestibilidad fue cercana a 90%. Estos resultados fueron atribuidos, en parte, a una mayor velocidad de vaciado abomasal en los terneros que consumieron los SL que contenían proteína de trigo. Esta hipótesis es apoyada por otros autores (Montagne, Toullec y Lallès, 2001; Wittek, Ernstberger, Muckenhuber y Flöck, 2016), quienes también trabajaron con terneros canulados y afirman que oligopéptidos no digeridos, AA, glicina y β -conglucina que llegan a duodeno y yeyuno, dan como resultado un aumento de la velocidad de paso a través del tracto gastrointestinal y reducen su aprovechamiento (Montagne et al., 2001).

Si bien la sustitución de las PL de los SL por MHS y GT redujo la DMS y de la DPB de los SL, dichos efectos no se observaron en el tratamiento en el que se reemplazaron las PL por una mezcla 50:50 de MHS y GT. Resulta difícil establecer con precisión las causas, pero dichos resultados podrían suponer que la menor digestibilidad observada cuando la sustitución de la proteína se hizo por uno solo tipo de proteínas, podría ser generada por diferentes mecanismos según el tipo de proteína que se trate. Al parecer, la proteína de soja generaría mayor resistencia a la degradación enzimática, mientras que la proteína de trigo tendría una menor digestión de ciertos aminoácidos y generaría un mayor tránsito abomasal. A la luz de los resultados obtenidos, parecería que la mezcla de más de una fuente de proteína vegetal atenuaría los efectos negativos que las diferentes fuentes de proteínas podrían generar por separado.

10. CONCLUSIONES

Se concluye que es posible reemplazar 35% de la proteína láctea en los sustitutos lácteos por micronizado de harina de soja, gluten de trigo o una mezcla en partes iguales de ambos, sin afectar el consumo de alimentos ni el crecimiento corporal de los terneros durante las primeras 8 semanas de vida. La utilización de 35% de proteína proveniente de micronizado de harina de soja o gluten de trigo, disminuye la digestibilidad de la MS y PB, sin embargo, la mezcla en partes iguales de micronizado de harina de soja y gluten de trigo se digiere en forma similar al sustituto que contenía exclusivamente proteínas de origen lácteo.

11. BIBLIOGRAFÍA

Ansia, I., Stein, H.H., Vermeire, D.A., Brokner, C., y Drackley, J. K. (2020). Ileal digestibility and endogenous protein losses of milk replacers based on whey proteins alone or with an enzyme-treated soybean meal in young dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 103 (5), 4390-4407.

Ansia, I., y Drackley, J.K. (2020). Graduate student literature review: The past and future of soy protein in calf nutrition. *Journal of Dairy Science*, 103 (8), 7625-7638.

Association of Analytical Communities (1995). Official Methods of Analysis. 16th ed. AOAC, Washington, DC.

Association of Analytical Communities (2000). Official methods of analysis of AOAC International, 17th ed., Gaithersburg, MD, USA: AOAC.

Association of Analytical Communities (1990). Official Methods of Analysis. 15th ed. AOAC, Arlington, VA.

Bach, A., Fernández, C. y Terre, M. (2010). Recomendaciones nutricionales para rumiantes de cría. Normas FEDNA, p. 15-27.

Bach, A., Terré, M., y Pinto, A. (2013). Performance and health responses of dairy calves offered different milk replacer allowances. *Journal of dairy science*, 96(12), 7790-7797.

Bacha, F. (1999). Nutrición del ternero neonato. XV curso de especialización. FEDNA. Avances en nutrición y alimentación animal.

Bacha, F., y Villamide, M. J. (2015). Nutrición y alimentación de rumiantes jóvenes. En Centro Médico Veterinario de Paysandú (Ed.), *Jornada Uruguaya Buiatría* (Vol. XLIII, pp. 85-97). Paysandú: Centro Médico Veterinario de Paysandú.

Berra, G. (2005). Buenas prácticas en la crianza y recría de vaquillonas en el tambo. En Centro Médico Veterinario de Paysandú (Ed.), *Jornada Uruguaya Buiatría* (Vol. XXXIII, p. 87). Paysandú: Centro Médico Veterinario de Paysandú.

Bruggink, J.H.B. (1993). Utilización de concentrados de proteína de soja en dietas de animales jóvenes. XII Curso de especialización FEDNA, Barcelona, España, 22 p.

Caugant, I., H.V. Petit, M. Ivan, C. Bard, L. Savoie, R. Toullec, S. Thirouin, y M. Yvon. (1994). In vivo and in vitro gastric emptying of milk replacers containing soybean proteins. *Journal of Dairy Science* 77, 533–540.

Davis, C.I., y Drackley J.K. (2002) Desarrollo, nutrición y manejo del ternero joven. Buenos Aires, Inter-Médica, 314 p.

Dawson, D.P. (1987). *Soybean products as a protein source in milk replacer for preruminant calves* (Master's Thesis). Department of Animal Sciences and Industry. Kansas State University, USA. p. 12-13.

Dawson, D.P., Morrill, J.L., Reddy, P.G., Minocha, H.C., y Ramsey, H.A. (1988). Soy protein concentrate and heated soy flours as protein sources in milk replacer for preruminant calves. *Journal of Dairy Science*, 71 (5), 1301-1309.

De Trinidad, S. (2014) *Alimentación diferencial durante la etapa lactante en terneras Holstein: efectos inmediatos y residuales sobre el crecimiento, desarrollo corporal y pubertad* (Tesis de Maestría). Facultad de Veterinaria, UDELAR, Montevideo, p.69.

Drackley, J.K., Blome, R.M., Bartlett, K.S., y Bailey, K.L. (2006). Supplementation of 1% L-glutamine to milk replacer does not overcome the growth depression in calves caused by soy protein concentrate. *Journal of Dairy Science*, 89 (5), 1688-1693.

Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (2010). Recuperado de <http://www.fundacionfedna.org>. Fecha de Consulta: 28/12/2020.

Friedman, M., y D.L. Brandon. (2001). Nutritional and health benefits of soy proteins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49, 1069–1086.

Guadalupe de la Barrera, M., y Prieto Rodríguez, A. (2019). *Cambios anatómicos del intestino de terneros Holando alimentados con heno o concentrado y cría acelerada en la etapa de lactante* (Tesis de Grado). Facultad de Veterinaria, UDELAR, Montevideo.

Guilloteau, P., y Zabielski, R. (2005). Digestive secretions in preruminant and ruminant calves and some aspects of their regulation. *Calf and heifer rearing: principles of rearing the modern dairy heifer from calf to calving. 60th University of Nottingham Easter School in Agricultural Science, Nottingham, UK. 23rd-24th March, 2004*, 159-189.

Guilloteau, P., Plodari, M., Romé, V., Savary, G., Le Normand, L., y Zabielski, R. (2011). Pancreatic enzyme deficiency depends on dietary protein origin in milk-fed calves. *Journal of Dairy Science*, 94 (3), 1517-1525.

Heinrichs, J. y Jones, C. (2006). Cuidado de becerras. W.D. Hoard and Sons Company. USA. p 21-33.

Hill, T.M., Bateman II, H.G., Aldrich, J.M. y Schlotterbeck, R.L. (2008). Effects of using wheat gluten and rice protein concentrate in dairy calf milk replacers. *The Professional Animal Scientist*, 24 (5), 465-472.

Huang, K., Tu, Y., Si, B., Xu, G., Guo, J., Guo, F., ... y Diao, Q. (2015). Effects of protein sources for milk replacers on growth performance and serum biochemical indexes of suckling calves. *Animal Nutrition*, 1(4), 349-355.

Huisman, J., y Jansman, A. J. M. (1991). Dietary effects and some analytical aspects of antinutritional factors in peas (*pisum sativum*), common beans

(phaseolus vulgaris) and soybeans (glycine max) in monogastric farm animals. *Antinutritional effects of legume seeds in piglets, rats and chickens*, 5-39.

James, R.E. (2011). Replacement Management in Cattle: Pre-Ruminant Diets and Weaning Practices. En: Fuquay. JW. *Encyclopedia of Dairy Science*. Segunda edicion. Misisipi, Elsevier pp. 396-402.

Kanjanapruthipong, J. (1998). Supplementation of milk replacers containing soy protein with threonine, methionine, and lysine in the diets of calves. *Journal of Dairy Science*, 81(11), 2912-2915.

Kertz, A. F., y Chester-Jones, H. (2004). Invited review: Guidelines for measuring and reporting calf and heifer experimental data. *Journal of Dairy Science*, 87(11), 3577–3580.

Khan, M.A., Weary, D.M. y Von Keyserlingk, M.A.G. (2011). Invited review: Effects of milk ration on solid feed intake, weaning, and performance in dairy heifers. *Journal of Dairy Science*, 94 (3), 1071-1081.

Lagger, J. (2010). Crecimiento intensivo de cría y recría de vaquillonas, aplicando los principios de bienestar. *Revista Veterinaria Argentina*, 27(265), 1-28.

Lallès, J. P. (1993). Nutritional and antinutritional aspects of soyabean and field pea proteins used in veal calf production: a review. *Livestock Production Science*, 34(3-4), 181-202.

Lallès, J.P., Toullec, R., y Bouchez. P. (1995). Hydrolyzed Soy Protein Isolate Sustains High Nutritional Performance in Veal Calves. *Journal of Dairy Science*, 78 (1), 194-204.

Larson, L. L., Owen, F. G., Albright, J. L., Appleman, R. D., Lamb, R. C., y Muller, L. D. (1977). Guidelines toward more uniformity in measuring and reporting calf experimental data. *Journal of Dairy Science*, 60(6), 989-991.

Liener, I.E. (1981). Factors affecting the nutritional quality of soya products. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 58, 406–415.

Montagne, L.T.R.L., Toullec, R., y Lallès, J.P. (2001). Intestinal digestion of dietary and endogenous proteins along the small intestine of calves fed soybean or potato. *Journal of Animal Science*, 79 (10), 2719-2730.

Nabté-Solís, L.A., (2009). Effect of β -mannanase Enzyme Addition to Soy-containing Milk Replacers on Growth and Health of Neonatal Dairy Calves. Cornell University, Ithaca, NY.

National Research Council (2001). Nutrient requirements of dairy cattle. 7a. ed. Washington, National Academy Press, 381 p.

Nielsen, S. S. (2003). *Food Analysis Laboratory Manual*. Segunda edición. Purdue University, West Lafayette, IN, USA. p. 33.

Ortigue-Marty, I., Hocquette, J. F., Bertrand, G., Martineau, C., Vermorel, M., y Toullec, R. (2003). The incorporation of solubilized wheat proteins in milk replacers for veal calves: effects on growth performance and muscle oxidative capacity. *Reproduction Nutrition Development*, 43(1), 57-76.

Quintero, B.G. (2007). Sustitutos lecheros en la alimentación de terneros. *Revista electrónica de Veterinaria*, (5), 1695-7504.

Raeth, M., Chester-Jones, H., Ziegler, D., Ziegler, B., Schimek, D., Cook, D. L., ..., y Grove, A. V. (2016). Pre-and postweaning performance and health of dairy calves fed milk replacers with differing protein sources. *The Professional Animal Scientist*, 32(6), 833-841.

San Miguel, P. S., y de Ayala Esquivias, P. P. (1997). Formulación de leches artificiales: productos lácteos, programas de destete en rumiantes. In *Avances en nutrición y alimentación animal: XII Curso de Especialización FEDNA* (pp. 59-73). Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal.

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, p. 25-27.

Schwab, C. G. (1996). Rumen-protected amino acids for dairy cattle: Progress towards determining lysine and methionine requirements. *Animal feed science and technology*, 59(1-3), 87-101.

Soberon, F., y Van Amburgh, M.E. (2013). Lactation Biology Symposium: The effect of nutrient intake from milk or milk replacer of preweaned dairy calves on lactation milk yield as adults: a meta-analysis of current data. *Journal of Animal Science*, 91(2), 706-712.

Stamey, J.A., Wallace, R.L., Grinstead, K.R., Bremmer, D.R., y Drackley J.K. 2006. Influence of plane of nutrition on growth of dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 89:1871.

Stobo, J., y Roy, J. (1978). Empleo de proteínas no lácteas en los sustitutos de leche para terneros. *Revista Mundial de Zootecnia* (FAO), 25: 18 – 24 p.

Terré, M., Devant, M., y Bach, A. (2006). Performance and nitrogen metabolism of calves fed conventionally or following an enhanced-growth feeding program during the preweaning period. *Livestock Science*, 105(1-3), 109-119.

Terui, H., Morrill, J. L. y Higgins, J. J. (1996). Evaluation of wheat gluten in milk replacers and calf starters. *Journal of Dairy Science*, 79 (7), 1261-1266.

Tolman, G. H. y Demeersman, M., (1991). Digestibility and growth performance of soluble wheat protein for veal calves. Proceedings of the International Symposium on Veal-Calf Production. Wageningen, Netherlands.

Tomkins, T., Sowinski, J. y Drackley, J. K. (1994). New developments in milk replacers for pre-ruminants. In Proc. 55th Minnesota Nutrition Conference y Roche Technical Symposium. p. 71-89.

Toullec, R., Lallès, J. P. y Bouchez, P. (1994). Replacement of skim milk with soya bean protein concentrates and whey in milk replacers for veal calves. *Animal feed science and technology*, 50 (1-2), 101-112.

Toullec, R., y Formal, M. (1998). Digestion of wheat protein in the preruminant calf: ileal digestibility and blood concentrations of nutrients. *Animal feed science and technology*, 73 (1-2), 115-130.

Van Weerden, E. J. y Huisman, J. (1985). Amino acid requirement of the young veal calf. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, (53), 1-5.

Wittek, T., Ernstberger, M., Muckenhuber, M., y Flöck, M. (2016). Effects of wheat protein in milk replacers on abomasal emptying rate in calves. *Journal of animal physiology and animal nutrition*, 100 (2), 264-270.