

---

## REVISIÓN DE LITERATURA

### Efecto de distintas dietas sobre el tiempo de rumia durante el periodo de predestete en reemplazos de lechería<sup>1</sup>

*Georgina Paola Frossasco-Davicini<sup>2</sup>, Jorge Alberto Elizondo-Salazar<sup>3</sup>*

## RESUMEN

En ganado lechero adulto, los patrones de rumia han sido ampliamente estudiados y asociados a niveles de consumo de materia seca, composición física-química de la dieta, estro, estado salud y bienestar animal. No ocurre lo mismo en terneras, donde la información disponible sobre el tiempo y los patrones de rumia es muy incipiente. El objetivo de esta revisión fue analizar los resultados obtenidos en investigaciones donde se evaluaron los efectos de la combinación de distintos programas de alimentación en la crianza de terneras sobre el tiempo de rumia en las semanas previas y posteriores al destete. Además, se analizó la tasa de crecimiento, el ambiente ruminal y el comportamiento animal alcanzado en los tratamientos nutricionales que presentaron mayor actividad de rumia. Para lo cual se consideraron siete investigaciones que registraron la rumia, a través de observadores calificados, durante las horas próximas a la alimentación. El tiempo de rumia se expresó como porcentaje del tiempo total observado y presentó un amplio rango de dispersión entre los diferentes tratamientos nutricionales, con valores que oscilaron entre 2 y 18%. Los mayores porcentajes se alcanzaron al suplementar con forrajes en proporciones inferiores al 10-15% de la ración. No obstante, en algunas investigaciones, la inclusión de ciertos forrajes no generó efectos sobre el tiempo de rumia; lo cual hace suponer que otros factores relacionados a la composición físico-química de la dieta estarían influyendo. En general, los animales que presentaron mayor actividad de rumia mostraron valores superiores de pH ruminal, consumo de alimento balanceado y ganancia de peso diaria, principalmente en posdestete. Por consiguiente, el tiempo y los patrones de rumia en terneras podría ser un indicador promisorio para monitorear la alimentación, el ambiente ruminal y el estado de bienestar animal. No obstante, en algunas de las investigaciones estas asociaciones no fueron encontradas o incluso se registró una menor concentración de ácidos grasos volátiles que podría comprometer el desarrollo ruminal.

**Palabras clave:** rumia, crianza de terneras, nutrición animal, nutrientes, consumo.

---

<sup>1</sup>Este trabajo formó parte del proyecto de investigación inscrito en la Vicerrectoría de Investigación, No. 737-B4-222. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) – E.E.A. Manfredi y Universidad Nacional de Villa María. Córdoba, Argentina. [georginafrossasco@hotmail.com](mailto:georginafrossasco@hotmail.com)

<sup>3</sup> Universidad de Costa Rica. Facultad de Ciencias Agroalimentarias, Estación Experimental Alfredo Volio Mata. Cartago, Costa Rica. Autor para correspondencia: [jorge.elizondosalazar@ucr.ac.cr](mailto:jorge.elizondosalazar@ucr.ac.cr) (<https://orcid.org/0000-0003-2603-9635>)

Recibido: 30 de abril 2020

Aceptado: 16 de junio 2020

Obra bajo licencia internacional Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas 4.0



## ABSTRACT

### **Effect of different diets on the rumination time during the preweaning period of dairy cattle replacements.**

In adult dairy cattle, rumination patterns have been widely studied and associated with dry matter intake, physical-chemical composition of the diet, estrus, health status and animal welfare. The same does not occur in calves, where available information on rumination time and patterns is very incipient. The objective of this review was to analyze the results obtained in different investigations where the effects of the combination of different feeding programs in calf rearing on the rumination time before and after weaning were evaluated. In addition, growth rate, ruminal environment and animal behavior was analyzed for those treatments that presented greater rumination activity. Seven investigations were considered that recorded rumination, through qualified observers, during the hours after feeding. Rumination time was expressed as a percentage of the total observed time and presented a wide dispersion range between the different nutritional treatments, with values ranging between 2 and 18%. The highest percentages were achieved by supplementing with forages in proportions less than 10-15% of the ration. However, in some investigations, the inclusion of certain forages did not generate effects on rumination time; which suggests that other factors related to the physical-chemical composition of the diet are influencing. In general, animals that presented greater rumination activity showed higher ruminal pH values, concentrate intake and daily weight gain, mainly post-weaning. Consequently, calf rumination time and patterns could be a promising indicator for monitoring feeding, ruminal environment, and animal welfare status. However, in some of the investigations these associations were not found or even a lower concentration of volatile fatty acids was recorded, which could compromise ruminal development.

**Key words:** rumination, calf rearing, animal nutrition, nutrients, intake.

## INTRODUCCIÓN

La rumia es un comportamiento natural de los rumiantes, que consiste en regurgitar la ingesta desde el retículo rumen hacia la boca donde es masticado y mezclado con saliva durante 30 a 60 segundos, para posteriormente ser ingerido (Beauchemin, 1991). Este proceso permite disminuir el tamaño de las partículas de los alimentos e incrementar la secreción de saliva que permita mejorar el acceso de los microorganismos y mantener el pH ruminal en valores deseables para favorecer la fermentación (Welch, 1982; Beauchemin, 1991; Russell & Rychlik, 2001). La rumia es prácticamente nula durante la primera y/o segunda semana de vida (Swanson & Harris, 1958; Gilliland, Bush, & Friend, 1962; Babu, Pandey, & Sahoo, 2004), debido

a que los terneros nacen con un rumen física y metabólicamente no funcional (Khan, Bach, Weary, & von Keyserlingk, 2016). Luego, comienza un proceso de transición donde la microbiota ruminal se establece, los órganos del tracto gastrointestinal van aumentando su tamaño y funcionalidad, las papilas ruminales se diferencian y crecen, las glándulas salivares y las vías metabólicas y de absorción de nutrientes se desarrollan; hasta finalmente alcanzar el comportamiento de un rumiante adulto (Huber, 1968; Baldwin VI, McLeod, Klotz, & Heitmann, 2004; Khan, Bach, Weary, & von Keyserlingk, 2016). Simultáneamente, el tiempo de rumia se incrementa con la edad (Babu, Pandey, & Sahoo, 2004), alcanzando valores de alrededor de 5 h/d entre la cuarta y sexta semana de vida (Swanson & Harris, 1958; Gilliland, Bush, & Friend, 1962) y de 7-8 h/d en estado adulto (Adin et al., 2009).

Todos estos cambios que ocurren durante la transición de pre-rumiante a rumiante funcional deben ser sostenidos y estimulados por el consumo de nutrientes, proveniente principalmente de los alimentos sólidos (Khan, Bach, Weary, & von Keyserlingk, 2016). El consumo de concentrados favorece la proliferación de la microbiota ruminal (Yáñez-Ruiz, Abecia, & Newbold, 2015) y la producción de ácidos grasos volátiles (AGV), predominantemente butirato y propionato (Tamate, McGilliard, Jacobson, & Getty, 1962; Khan, Bach, Weary, & von Keyserlingk, 2016), lo cual permite alcanzar un óptimo desarrollo ruminal (Sander, Warner, Harrison, & Loosli, 1959; Baldwin VI, McLeod, Klotz, & Heitmann, 2004). Además, el bolo de material ingerido debe poder inducir el crecimiento de la capacidad del rumen, el desarrollo de la musculatura y los movimientos ruminales (Beharka, Nagaraja, Morrill, Kennedy, & Klemm, 1998).

Los patrones de rumia han sido ampliamente estudiados en ganado lechero adulto (DeVries, von Keyserlingk, Weary, & Beauchemin, 2003; Krause & Oetzel, 2006; Hosseinkhani et al., 2008; Adin et al., 2009; Schirmann, von Keyserlingk, Weary, Veira, & Heuwieser, 2009) y asociados a niveles de consumo de materia seca (Hasegawa, Nishiwaki, Sugawara, & Ito, 1997), composición y forma física de la dieta (Yang, Beauchemin, & Rode, 2001; Maekawa, Beauchemin, & Christensen, 2002; Salfer, Morelli, Ying, Allen, & Harvatine, 2018), estro (Reith & Hoy, 2012), estado salud (Radostits, Gay, Hinchcliff, & Constable, 2007) y bienestar animal (Bristow & Holmes, 2007; Schirmann, von Keyserlingk, Weary, Veira, & Heuwieser, 2009; Soriani, Trevisi, & Calamari, 2012). Incluso existen en el mercado collares con sensores de sonido capaces de registrar automáticamente la rumia y generar alertas a los productores cuando esta disminuye (Sistema de monitoreo de rumia Hi-Tag, SCR Engineers Ltd., Netanya, Israel).

Sin embargo, no ocurre lo mismo en terneras de crianza, donde la información disponible sobre los patrones de rumia es menor. Se ha reportado una correlación positiva de rumia con la ingesta de alimento seco (Swanson & Harris, 1958) y el desarrollo ruminal de las terneras (Swanson & Harris, 1958; Gelsinger, Heinrichs, & Jones, 2016). Mientras que en animales

enfermos se ha registrado una caída en la duración de la misma (Borderas, de Passille, & Rushen, 2008). Por lo que, conocer el tiempo de rumia durante la crianza podría generar información relevante para el monitoreo de las prácticas de manejo, alimentación, desarrollo ruminal y estado de salud y bienestar de los animales (Webb et al., 2012; Rodrigues et al., 2019).

Actualmente, la cuantificación del tiempo de rumia en terneros se basa únicamente en observaciones visuales directas y/o grabaciones de videos, que suelen ser inexactas ya que generalmente se realizan durante breves periodos de tiempo y determinados momentos del día (Kononoff, Lehman, & Heinrichs, 2002). Si bien en los últimos años se ha comenzado a utilizar sensores de medición de rumia en terneras de crianza (Burfeind et al., 2011; Butler, Thomson, Lomax, & Clark, 2017; Hill et al., 2017; Lopreiato et al., 2018, 2020; Rodrigues et al., 2019) para registrar los cambios en la frecuencia de rumia a través de las distintas semanas de vida, se necesitan más estudios para lograr una completa validación de esta tecnología en edades tempranas (Lopreiato et al., 2018) y poder así evaluar posibles correlaciones de la rumia con el ambiente y desarrollo ruminal, niveles de consumo y ganancia de peso diaria (GPD).

El objetivo de esta revisión fue analizar los resultados obtenidos en investigaciones en las que se evaluaron los efectos de la combinación de distintos programas de alimentación de crianza (suplementación con diferentes cantidades, fuentes y tamaños de partículas de forrajes, tipos de procesamiento de los alimentos balanceados, niveles de suministro de leche o reemplazador lácteo) sobre el tiempo de rumia en las semanas previas y posteriores al destete en reemplazos de lechería. Además, se analizó la tasa de crecimiento, el ambiente ruminal y el comportamiento animal alcanzado en los tratamientos nutricionales que presentaron mayor actividad de rumia.

## **EFFECTO DE LAS DIETAS DE CRIANZA SOBRE EL TIEMPO DE RUMIA**

Para la presente revisión bibliográfica se consideraron investigaciones (Castells, Bach, Araujo, Montoro, & Terré, 2012; Terré, Pedrals, Dalmau, & Bach, 2013; EbnAli et al., 2016; Mirzaei, Khorvash, Ghorbani, Kazemi-Bonchenari, & Ghaffari, 2017; Pazoki et al., 2017; Mojahedi et al., 2018; Hosseini, Mirzaei-Alamouti, Vazirigohar, & Mahjoubi, 2019) que incluyeron la evaluación de distintos programas de alimentación durante la etapa de crianza. Los cuales difieren dentro y/o entre los estudios en: a) la inclusión o no de distintos tipos (gramíneas o leguminosas) y fuentes de forrajes (heno de alfalfa, avena, trigo y triticale; silaje de maíz y triticale; paja de trigo y cebada), picados a distintos tamaños de partículas, ofrecidos a libre elección (consumo de forraje/consumo de materia seca total: 2,9 a 14,6%) o mezclados con el alimento concentrado (niveles de inclusión del 7,5 al 15,0%), b) tipo de procesamiento (peletizado, texturizado o molido) y composición físico-química del alimento concentrado iniciador, y c) consumo de leche o reemplazador lácteo (entre 431 a 690 g MS/d ; Cuadro 1).

En dichos estudios, las mediciones del tiempo de rumia y demás comportamientos animales se registraron a través de observaciones visuales durante la primera y/o segunda semanas previas y posteriores al destete. Las mismas se llevaron a cabo entre una y tres horas después del suministro de la leche o reemplazador lácteo de la mañana y de una a cuatro horas posterior a la provisión del alimento balanceado (Cuadro 2). Por lo que, en todos ellos se obtuvieron los datos en el periodo de desleche y en horarios similares. No obstante, el número de terneros por tratamiento varió entre 6 a 15, las horas totales recabadas por animal de 6 a 16 h y la edad al destete de 43 a 57 días; lo cual posiblemente pueda generar variabilidad entre los resultados reportados en las distintas investigaciones. Con la finalidad de poder analizarlos de manera conjunta, el tiempo de rumia se expresó en porcentaje del tiempo total observado. Cabe aclarar que estos datos no pueden ser extrapolados a porcentajes diarios, ya que al igual que en los animales adultos, las terneras presentan mayor actividad de rumia durante la noche que en las horas de luz (Lopreiato et al., 2018).

Entre las investigaciones se observó gran dispersión en el porcentaje de tiempo que los animales estuvieron rumiando (entre 2 al 18%; Cuadro 1), siendo la media general de  $8,38 \pm 4,05\%$ . Los mayores valores se alcanzaron en los tratamientos donde se suministró forraje. No obstante, en algunos estudios, ese efecto no se ha encontrado; lo cual hace suponer que el nivel de actividad de rumia estaría condicionado por múltiples factores relacionados a la composición físico-química de la dieta.

A continuación, se analizan los efectos de la suplementación con forraje, el tipo de procesamiento y composición físico-química del alimento concentrado y del programa de alimentación líquida con leche o reemplazador lácteo sobre el tiempo de rumia en las semanas previas y posteriores al destete.

**Cuadro 1.** Resumen de las características de las dietas evaluadas en los estudios incluidos en la presente revisión y sus respectivos tiempos de rumia (expresado en porcentaje del tiempo total observado)

Estudio (primer autor; año de publicación)	Consumo medio de L o RL (g MS/d)	Tipo de C	Con/sin F	Tipo de F	Fuente de F	Método suministro F	Consumo F/ CMST (%)	F > 19 mm (%)	F 8-19 mm (%)	F < 8 mm (%)	Tiempo rumia/ Tiempo observado (%)
Castells, 2012	500	P	SF								3,27
Castells; 2012	500	P	F	L	Heno de alfalfa	Libre elección	8,8	39,4	17,1	43,5	9,38
Castells; 2012	500	P	F	G	Heno de triticale	Libre elección	3,2	50,3	24,5	25,2	7,29
Castells; 2012	500	P	F	G	Heno de trigo	Libre elección	6,1	28,4	27,2	44,4	6,81
Castells; 2012	500	P	F	G	Paja de cebada	Libre elección	3,9	31,1	33,4	35,5	10,38
Castells; 2012	500	P	F	G	Silaje de maiz	Libre elección	2,9	8,4	31,6	50,5	9,00
Castells; 2012	500	P	F	G	Silaje de triticale	Libre elección	3,5	1,	50,5	47,8	4,77
Terré; 2013	600	P	SF								4,28
Terré; 2013	600	P	F	G	Heno de avena	Libre elección	3,8	38,3	49,2	12,5	13,20
Terré; 2013	600	P	SF								1,99
Terré; 2013	600	P	F	G	Heno de avena	Libre elección	3,0	38,3	49,2	12,5	11,93
EbnAli; 2016	588	M	SF								9,84
EbnAli; 2016	588	M	F	L	Heno de alfalfa	RTM	10,0	1,8	29,7	68,5	17,99
EbnAli; 2016	588	M	F	L	Heno de alfalfa	Libre elección	14,6	1,8	29,7	68,5	14,02
Mirzaei; 2017	458	M	SF								5,97
Mirzaei; 2017	458	M	F	L	Heno de alfalfa	RTM	15,0	1,0	26,0	72,9	7,36
Mirzaei; 2017	458	M	F	G	Silaje de maíz	RTM	15,0	21,3	62,6	15,9	11,81
Mirzaei; 2017	458	M	F	G	Silaje de maíz	RTM	15,0	21,3	62,6	15,9	11,81

**Cont. Cuadro 1.** Resumen de las características de las dietas evaluadas en los estudios incluidos en la presente revisión y sus respectivos tiempos de rumia (expresado en porcentaje del tiempo total observado)

Estudio (primer autor; año de publicación)	Consumo medio de L o RL (g MS/d)	Tipo de C	Con/sin F	Tipo de F	Fuente de F	Método suministro F	Consumo F/ CMST (%)	F > 19 mm (%)	F 8-19 mm (%)	F < 8 mm (%)	Tiempo rumia/ Tiempo observado (%)
Mirzaei; 2017	458	M	SF								5,28
Mirzaei; 2017	458	M	F	L	Heno de alfalfa	RTM	15,0	1,0	26,0	72,9	7,36
Mirzaei; 2017	458	M	F	G	Silaje de maíz	RTM	15,0	21,3	62,6	15,9	11,25
Pazoki; 2017	446	M	SF								5,41
Pazoki; 2017	446	T	SF								5,05
Pazoki; 2017	446	P	SF								3,18
Pazoki; 2017	446	M	F	L	Heno de alfalfa	RTM	10,0	1,8	29,7	68,5	7,55
Mojahedi; 2018	603	T	SF								5,28
Mojahedi; 2018	603	T	F	L	Heno de alfalfa	RTM	10,0			100,0	6,33
Mojahedi; 2018	603	M	SF								5,41
Mojahedi; 2018	603	M	F	L	Heno de alfalfa	RTM	10,0			100,0	7,08
Hosseini; 2019	431	M	SF								5,83
Hosseini; 2019	431	M	F	G	Paja de trigo	RTM	7,5	16,7	44,2	39,1	15,07
Hosseini; 2019	431	M	F	G	Paja de trigo	RTM	15,0	16,7	44,2	39,1	15,08
Hosseini; 2019	690	M	SF								6,59
Hosseini; 2019	690	M	F	G	Paja de trigo	RTM	7,5	16,7	44,2	39,1	13,36
Hosseini; 2019	690	M	F	G	Paja de trigo	RTM	15,0	16,7	44,2	39,1	14,27

L: Leche; RL: Reemplazador lácteo; C: Alimento balanceado; F: Forraje; CMST: Consumo de materia seca total; P: Peletizado; M: Molido; T: Texturizado; SF: Sin forraje; L: Leguminosa; G: Gramínea; RTM: Ración totalmente mezclada

**Cuadro 2.** Metodología utilizada para evaluar el tiempo de rumia y demás comportamientos de los terneros, en las investigaciones incluidas en la presente revisión

Estudio (primer autor; año de publicación)	Animales Por Trat (*)	Edad desleche (d)	Semanas de medición		Cant de Sem	Veces/Se m	Momento del día en predestete		Momento del día en posdestete		Total h/d	Total h/terne ro
			Anterior al destete	Posterior al destete			Posteriores a la oferta de L o RL de la mañana	Posteriore s a la oferta del C	Anteriores a la oferta del C	Posteriores a la oferta del C		
Castells; 2012	10	57	Penúltima y última	Primera y segunda	4	1	1° h	1° h		1° y 2° h	2	8
Terré; 2013	6	43	Penúltima y última	Primera y segunda	4	1	1° h	1° h		1° y 2° h	2	8
EbnAli; 2016	15	56	Penúltima y última	Primera y segunda	4	1	1° h	1° h		1° y 2° h	2	8
Mirzaei; 2017	10	49	Penúltima y última	Primera y segunda	4	1	1° y 2° h	1° h	1° h	1° y 2° h	3	12
Pazoki; 2017	13	50	Penúltima	Segunda	2	4	2° h	4° h	2° h	4° h	2	16
Mojahedi; 2018	15	56	Penúltima y última	Primera y segunda	4	1	1°, 2° y 3° h			1°, 2° y 3° h	3	12
Hosseini; 2019	10	56	Penúltima	Segunda	2	1	1° y 2° h	1° h		1°, 2° y 3° h	3	6

Trat: Tratamiento; Sem: semana de vida; L: Leche; RL: Reemplazador lácteo; C: Alimento balanceado

(\*) Números de animales por tratamiento a los cuales se les evaluó el comportamiento animal.



---

### Efectos de la suplementación con forraje en baja proporción de la dieta

En todos los estudios analizados, al menos uno de los tratamientos con suplementación de forraje en baja proporción de la dieta ( $\leq 15\%$  del consumo de MS total) ha producido un incremento (Castells, Bach, Araujo, Montoro, & Terré, 2012; Terré, Pedrals, Dalmau, & Bach, 2013; EbnAli et al., 2016; Mirzaei, Khorvash, Ghorbani, Kazemi-Bonchenari, & Ghaffari, 2017; Pazoki et al., 2017; Hosseini, Mirzaei-Alamouti, Vazirigohar, & Mahjoubi, 2019) o una tendencia de aumento en el tiempo de rumia (Mojahedi et al., 2018) con respecto al control (sin forraje), durante las semanas inmediatamente anteriores y posteriores al destete (Cuadro 3; Figura 1a,b). Esto puede atribuirse a que a mayores concentraciones de fibra efectiva se incrementa la rumia y la salivación, lo cual favorece el aumento del pH ruminal (Beauchemin & Yang, 2005).

A su vez, la inclusión de forraje en baja proporción de la dieta ( $\leq 15\%$ ) puede causar efectos positivos sobre el consumo del alimento iniciador, la GPD (Coverdale, Tyler, Quigley, & Brumm, 2004; Khan, Weary, & von Keyserlingk, 2011b; Castells, Bach, Araujo, Montoro, & Terré, 2012; Terré, Pedrals, Dalmau, & Bach, 2013; Castells, Bach, & Terré, 2015) el desarrollo del retículo rumen (Khan, Weary, & von Keyserlingk, 2011b; Castells, Bach, Aris, & Terré, 2013; Pazoki et al., 2017). Probablemente, atribuido a una mejora en el ambiente ruminal y desarrollo muscular del rumen (Khan, Weary, & von Keyserlingk, 2011b; Castells, Bach, Aris, & Terré, 2013; Pazoki et al., 2017). Terré, Pedrals, Dalmau, & Bach (2013), Mirzaei, Khorvash, Ghorbani, Kazemi-Bonchenari, & Ghaffari (2017), Pazoki et al. (2017) y Hosseini, Mirzaei-Alamouti, Vazirigohar, & Mahjoubi (2019) encontraron mayor tiempo de rumia, pH ruminal, consumo de alimento balanceado y GPD posdestete al ofrecer heno de avena (*ad libitum*; nivel de consumo del 3-4% del CMS total), ensilaje de maíz (al 15%), heno de alfalfa (al 10%) y paja de trigo (al 7,5%), respectivamente. Aunque, Terré, Pedrals, Dalmau, & Bach (2013) en los tratamientos suplementados con forraje y Hosseini, Mirzaei-Alamouti, Vazirigohar, & Mahjoubi (2019) al incluir paja de trigo al 15% de la ración encontraron una menor producción de AGV, que podría afectar el desarrollo ruminal.

Sin embargo, si el consumo de forraje alcanza niveles que deprimen el consumo de alimentos concentrados, se producirá una disminución en la cantidad de ácidos grasos volátiles (AGV) con un aumento en la relación acético/propiónico (Tamate, McGilliard, Jacobson, & Getty, 1962; Khan, Bach, Weary, & von Keyserlingk, 2016). Lo cual, retarda la diferenciación papilar y genera pobres ganancias de peso vivo (Stobo, Roy, & Gaston, 1966; Hill, Bateman, Aldrich, & Schlotterbeck, 2008ab). Por tales motivos, el NRC (2001) no recomienda la inclusión de forrajes antes del destete.

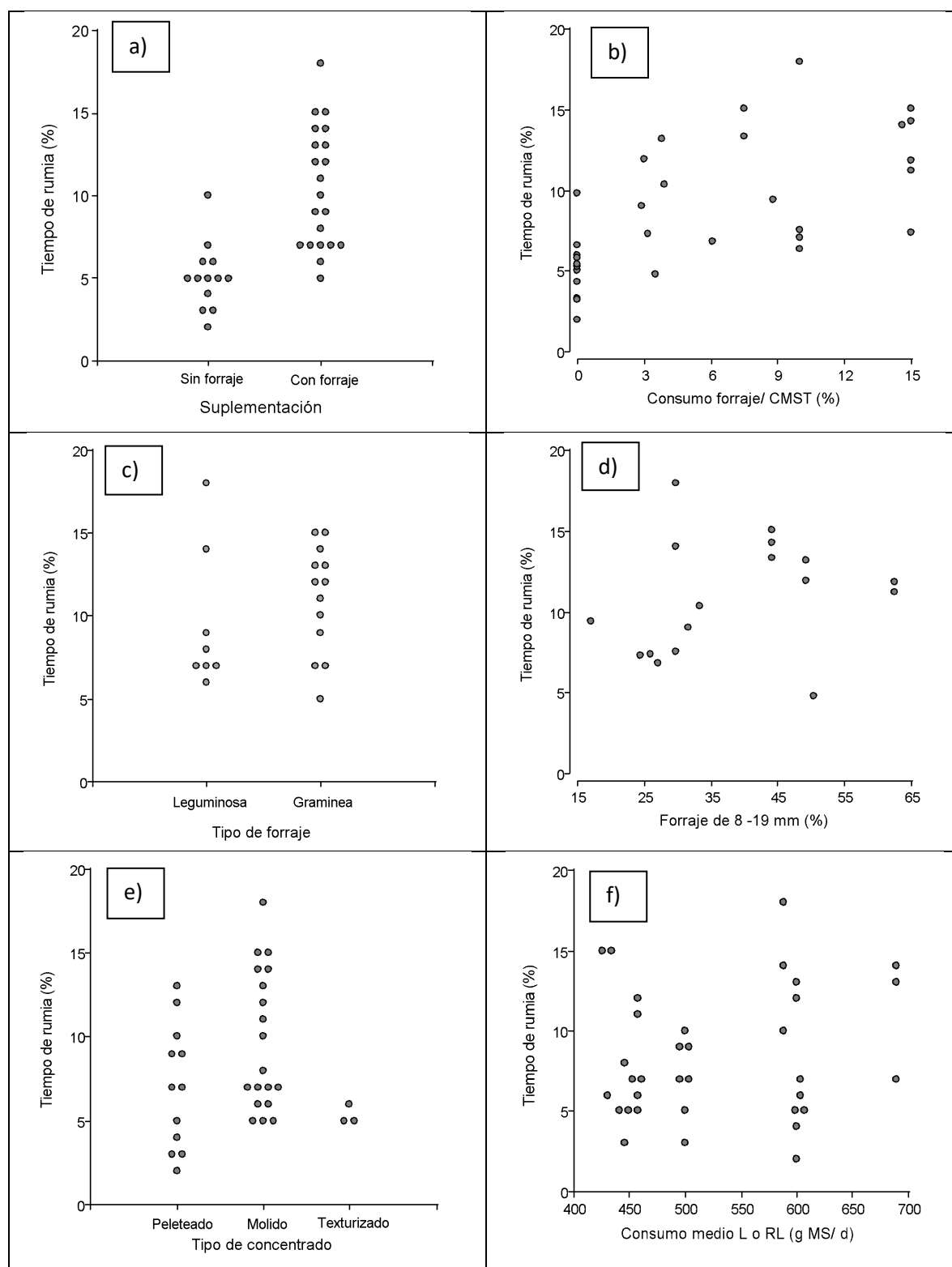
**Cuadro 3.** Resultados reportados en la literatura al suplementar terneros con forraje en baja proporción de la dieta.

Estudio (primer autor; año de publicación)	L o RL (g MS/d)	Tipo de C	Fuente de F	CF/ CMST (%)	Efecto de los tratamientos con suplementación con F vs control (SF)										
					Tiempo de rumia	Parado sin rumiar	Echado sin rumiar	Consumo de sólidos	CNN	Consumo de C o RTM	GPD (kg/d)	pH ruminal	AGV total	Relación Acético: Propiónico	
Castells; 2012	500	P	SF												
Castells; 2012	500	P	Heno de alfalfa	8,8%	+	=	-	+	-	=	=				
Castells; 2012	500	P	Heno de triticale	3,2%	+	=	=	=	-	=	+				
Castells; 2012	500	P	Heno de trigo	6,1%	=	=	=	=	=	+	+				
Castells; 2012	500	P	Paja de cebada	3,9%	=	=	=	=	=	+	+				
Castells; 2012	500	P	Silaje de maiz	2,9%	=	=	=	=	=	+	+				
Castells; 2012	500	P	Silaje de triticale	3,5%	=	=	=	=	-*	=	+				
Terré; 2013	600	P	SF												
Terré; 2013	600	P	Heno de avena	3,8%	+	=	-	=	-	= pre + pos	= pre + pos	+	-	-	
Terré; 2013	600	P	SF												
Terré; 2013	600	P	Heno de avena	3,0%	+	=	-	=	-	= pre + pos	= pre + pos	+	-	-	
EbnAli; 2016	588	M	SF												
EbnAli; 2016	588	M	Heno de alfalfa	10,0%	+	=	=	=	=	+	=	+* pre + dest = pos	=	=	
EbnAli; 2016	588	M	Heno de alfalfa	14,6%	=	=	=	=	=	+	=	+* pre + dest = pos	+* pos	=	
Pazoki; 2017	446	M	SF												
Pazoki; 2017	446	T	SF												
Pazoki; 2017	446	P	SF												
Pazoki; 2017	446	M	Heno de alfalfa	10,0%	+ pos	=	=	=	=	+ pos	+	= pre + pos	=	=	

**Cont. Cuadro 3.** Resultados reportados en la literatura al suplementar terneros con forraje en baja proporción de la dieta.

Estudio (primer autor; año de publicación)	L o RL (g MS/d)	Tipo de C	Fuente de F	CF/ CMST (%)	Efecto de los tratamientos con suplementación con F vs control (SF)											
					Tiempo de rumia	Parado sin rumiar	Echado sin rumiar	Consumo de sólidos	CNN	Consumo de C o RTM	GPD (kg/d)	pH ruminal	AGV total	Relación Acético: Propiónico		
Mirzaei; 2017	458	M	SF													
Mirzaei; 2017	458	M	Heno de alfalfa	15,0%	=	=	=	=	-	=	= pre + pos	+				
Mirzaej; 2017	458	M	Silaje de maíz	15,0%	+	=	=	=	=	= pre + pos	+	+				
Mirzaei; 2017	458	M	SF													
Mirzaei; 2017	458	M	Heno de alfalfa	15,0%	=	=	=	=	-	=	= pre + pos	+				
Mirzaej; 2017	458	M	Silaje de maíz	15,0%	+	=	=	=	=	= pre + pos	+	+				
Mojahedi; 2018	603	T	SF													
Mojahedi; 2018	603	T	Heno de alfalfa	10,0%	+ *	=	=	=	- *	+* pre	+ pre	= pre + pos	=	=		
Mojahedi; 2018	603	M	SF													
Mojahedi; 2018	603	M	Heno de alfalfa	10,0%	+ *	=	=	=	- *	=	=	= pre + pos	=	=		
Hosseini; 2019	431	M	SF													
Hosseini; 2019	431	M	Paja de trigo	7,5%	+	=	=	+	-	+ pos	+ pos	+	=	=		
Hosseini; 2019	431	M	Paja de trigo	15,0%	+	=	=	=	-	=	=	+	-	+ pos		
Hosseini; 2019	690	M	SF													
Hosseini; 2019	690	M	Paja de trigo	7,5%	+	=	=	+	-	=	=	+ pos	=	+ pos		
Hosseini; 2019	690	M	Paja de trigo	15,0%	+	=	=	=	-	=	=	+	- pos	+ pos		

L: Leche; RL: Reemplazador lácteo; C: Alimento balanceado; F: Forraje; CF: Consumo de forraje; CMST: Consumo de materia seca total; SF: Sin forraje; CNN: Comportamientos No Nutricionales (lamido de objetos o partes del cuerpo, vocalización y demás comportamientos estereotipados); RTM: Ración totalmente mezclada; GPD: Ganancia de peso diaria; AGV: Ácidos Grasos Volátiles; P: Peletizado; M: Molido; T: Texturizado; + Efecto positivo ( $P < 0,05$ ); - Efecto Negativo ( $P < 0,05$ ); = Sin efecto ( $P > 0,05$ ); +\* Tendencia a producir efecto positivo ( $P < 0,10$ ); -\* Tendencia a producir efecto negativo ( $P < 0,10$ ); pre: Predestete; dest: Destete; pos: Posdestete.



**Figura 1.** Tiempo de rumia (como porcentaje del tiempo total observado) registrado en los tratamientos de los estudios analizados en la presente revisión, en función a los distintos tipos de dietas: a) Suplementación o no con forraje; b) Porcentaje de inclusión del forraje sobre el consumo total de materia seca (CMST); c) Tipo de forraje utilizado; d) Porcentaje de partículas de forraje de 8 a 19 mm; e) Tipo de procesamiento del alimento balanceado; f) Consumo promedio de leche (L) o reemplazador lácteo (RL) expresado en g MS/día

En otro sentido, los tratamientos donde se registró un incremento en la actividad de rumia generalmente se observó una disminución del tiempo en que los terneros expresan comportamientos orales no nutricionales tales como enrollar la lengua o lamer objetos o partes de su cuerpo, y/o vocalizar (Castells, Bach, Araujo, Montoro, & Terré, 2012; Terré, Pedrals, Dalmau, & Bach, 2013; Mojahedi et al., 2018; Hosseini, Mirzaei-Alamouti, Vazirigohar, & Mahjoubi, 2019). Estos comportamientos indeseados, principalmente de succión, se han visto reducidos en sistemas de crianza donde se suministra la leche con chupón y se ofrece *ad libitum* (Hammell, Metz, & Mekking, 1988; Margerison, Preston, Berry, & Phillips, 2002), así como también cuando la dieta estimula un mayor tiempo de rumia (Phillips, 2004). No obstante, Hosseini, Mirzaei-Alamouti, Vazirigohar, & Mahjoubi (2019) al evaluar dos niveles de suministro de leche (431 y 690 g MS/d) en balde, combinado con la inclusión de heno de trigo al 0; 7,5 o 15%, no obtuvieron diferencias entre los programas de alimentación líquida en el tiempo que los terneros destinaron a rumiar o realizar comportamientos orales no nutricionales. Mientras que, en los que recibieron suplementación con forraje se observó mayor tiempo dedicado a las actividades de ingesta y rumia, y menor a comportamientos indeseables y ociosos. Por lo que se puede suponer que el monitoreo del tiempo de rumia podría ser utilizado como un indicador del grado de bienestar animal.

En la literatura existe controversia con respecto a los resultados encontrados al incluir forraje en la dieta de crianza (Khan, Bach, Weary, & von Keyserlingk, 2016; Suarez-Mena, Hill, Jones, & Heinrichs, 2016). En algunas de las investigaciones analizadas la incorporación de ciertos forrajes no ha generado efectos sobre el tiempo de rumia, aunque no se observan marcadas diferencias entre leguminosas y gramíneas (Figura 1c). Castells, Bach, Araujo, Montoro, & Terré, (2012) al suplementar con heno de trigo, paja de cebada, ensilaje de maíz y cebada *ad libitum* (nivel de consumo medio  $\leq$  6%) no encontraron diferencias en los tiempos de rumia pese a haber obtenido mayores GPD con respecto al control (sin forraje). Mientras que, el tiempo de rumia se incrementó al ofrecer heno de alfalfa y triticale *ad libitum* (nivel de consumo medio: 8,8% y 3,2%, respectivamente). El tratamiento con leguminosa no obtuvo efectos en GPD, posiblemente atribuido a un mayor consumo de esta en comparación con las gramíneas evaluadas, que pudo afectar el consumo del concentrado iniciador (Hill, Bateman, Aldrich, & Schlotterbeck, 2008ab). Mirzaei, Khorvash, Ghorbani, Kazemi-Bonchenari, & Ghaffari, (2017) determinaron mayor tiempo de rumia y niveles de consumo total en posdestete al incorporar ensilaje de maíz mezclado al 15% de raciones molidas; en comparación con el tratamiento con heno de alfalfa y control. En tanto, EbnAli et al. (2016) registraron un incremento en la rumia al incorporar heno de alfalfa al 10% de la dieta (alimento concentrado molido) pero no así cuando esta fue suministrada a libre consumo (consumo promedio del 14,6%); aunque la inclusión de este forraje en ambos niveles generó similar incremento de consumo de los alimentos sólidos y pH ruminal. Por lo que, probablemente las diferencias encontradas entre las fuentes de

forrajes en los estudios puedan atribuirse a su porcentaje de inclusión en la dieta, características nutricionales propias de cada especie, método de suministro y forma física de los alimentos sólidos (Imani, Mirzaei, Baghbanzadeh-Nobari, & Ghaffari., 2017).

En lo que respecta al tamaño de partículas del forraje, existen controversias en la metodología a utilizar para cuantificar la fibra físicamente efectiva que permite estimular la rumia, la producción de saliva y mantener el pH en niveles adecuados para la fermentación ruminal en animales adultos (Einarson, Plaizier, & Wittenberg, 2004). Lammers, Buckmaster, & Heinrichs, (1996) calculan la misma como la proporción de materia seca retenida en la zaranda de 8 a 19 mm del Separador de Partículas Penn State (desarrollado por la Universidad de Pennsylvania, EEUU), multiplicado por el contenido de FDN de la dieta. Mientras que, Mertens (1997) la determina como la proporción de materia seca retenida en la zaranda de 1,18 mm multiplicado por el contenido de FDN de la dieta, utilizando la técnica de tamizado en seco. Ante esta falta de estandarización en la metodología y las discrepancias entre los estudios en el establecimiento de los niveles óptimos que deben contener las dietas de los rumiantes adultos, el NRC (2001) no detalla los requerimientos de fibra efectiva (Zebeli, Tafaj, Steingass, Metzler, & Drochner, 2006). Tampoco se conoce el contenido ideal de fibra efectiva de la dieta que estimula la actividad de rumia a temprana edad.

En las investigaciones analizadas en la presente revisión, la proporción de partículas de forrajes retenidas en la zaranda de 8 a 19 mm variaron en un rango entre 17 y 63%. Sin embargo, no se observó una relación entre esta proporción y el tiempo de rumia medio por tratamiento (Figura 1d). Mientras que, no todos los estudios utilizaron la zaranda de 1,8 mm para determinar la distribución de partículas de los alimentos. Un posible efecto del tamaño de partículas del forraje sobre el tiempo de rumia puede evidenciarse en el estudio de Mirzaei, Khorvash, Ghorbani, Kazemi-Bonchenari, & Ghaffari (2017), donde la suplementación de concentrados finamente molidos (3 mm) con heno de alfalfa (distribución de tamaño de partículas:  $1,0 \pm 0,2\%$   $>18$  mm,  $26,0 \pm 1,9\%$  entre 8 - 18 mm,  $35,1 \pm 0,9\%$  entre 1,18 - 8,0 mm, y  $37,8 \pm 2,3\%$   $< 1,18$  mm) no generó un aumento en el tiempo de rumia en comparación a la inclusión de ensilaje de maíz, el cual presentaba mayor tamaño de picado (distribución de tamaño de partículas:  $21,3 \pm 1,5\%$   $> 18$  mm,  $62,6 \pm 2,0\%$  entre 8 - 18 mm,  $14,6 \pm 1,1\%$  entre 1,18 - 8,0 mm, y  $1,3 \pm 0,58\%$   $< 1,18$  mm). En tanto, las diferencias en tiempo de rumia entre los tratamientos con forrajes encontradas por Castells, Bach, Araujo, Montoro, & Terré (2012) no estarían asociadas a la distribución del tamaño de partículas de los forrajes; aunque no se reporta el porcentaje retenido en la zaranda de 1,18 mm, el cual podría ser un indicador para estimar la fibra físicamente efectiva en cada uno de los tratamientos.

### Efectos del tipo de procesamiento y composición físico-química del alimento concentrado

Otro aspecto a considerar sobre el tiempo de rumia es el tipo de procesamiento del alimento balanceado utilizado. El cual puede afectar los patrones de fermentación y la tasa de pasajes de la ingesta, y por consiguiente, el consumo de alimentos sólidos (Bateman, Hill, Aldrich, & Schlotterbeck, 2009). Incluso, podría generar riesgos de acidosis si el concentrado posee grandes cantidades de carbohidratos rápidamente fermentables (Ghassemi-Nejad et al., 2012). El peletizado mejora en general la palatabilidad y reduce la segregación en comparación a ofrecer los alimentos balanceados en harina, pero puede producir efectos negativos en la fermentación ruminal al incrementar la tasa de degradación del almidón (Bach, Giménez, Juaristi, & Ahedo, 2007). En tanto, Franklin, Amaral-Phillips, Jackson, & Campbell (2003) y Coverdale, Tyler, Quigley, & Brumm (2004) con alimentos balanceados texturizados han obtenido mayor consumo y GPD en comparación con peletizados y molidos. Mientras que Castro-Flores & Elizondo-Salazar (2012) encontraron menor desarrollo de las papilas y grosor de la pared ruminal en los animales que recibieron alimento extrusado en comparación con los que lo consumieron en harina. Posiblemente atribuido a una mayor proliferación de bacterias amilolíticas, que incrementan la producción total de AGV, en alimentos finamente molidos (Beharka, Nagaraja, Morrill, Kennedy, & Klemm, 1998).

En la presente revisión, los tiempos de rumia relativos más bajos (< 5%) fueron reportados en tratamientos donde se han utilizado alimentos peletizados (Figura 1e), pero se requieren más estudios para poder encontrar una asociación entre la rumia y los tipos de procesamiento del alimento. Pazoki et al. (2017) al comparar tres tipos de procesamiento, finamente molido (0,72 mm), texturizado (3,61 mm) y peletizado (4,53 mm) obtuvieron similares tiempos de rumia en predestete, mientras que en posdestete se registraron menores valores en las terneras que consumieron alimento peletizado en relación con los que se les ofreció molido. Además, el consumo de alimento fue inferior en el tratamiento peletizado con respecto al molido. En cuanto al desarrollo ruminal alcanzado, la única diferencia anatómica detectada se observó en el grosor de la capa queratinizada del rumen que fue más elevada en aquellos que se les suministró alimento peletizado. Mientras que, en el tratamiento donde se suplementó el alimento finamente molido con 10% de heno de alfalfa se alcanzó superior tiempo de rumia y desarrollo ruminal en comparación con los animales sin acceso al forraje. Porter, Warner, & Kertz (2007) observaron que los terneros alimentados con alimento peletizado demoraron dos semanas en iniciar la rumia en comparación con los que consumieron una mezcla gruesa de 2 mm. En tanto, Mojahedi et al. (2018) no encontraron diferencias en el tiempo de rumia con respecto a ofrecer maíz rolado o quebrado, pero si entre suplementar o no con forraje en ambas formas de procesamiento del alimento balanceado.

En cuanto a la forma física del alimento, un adecuado tamaño de partícula podría estimular la rumia y, por consiguiente, aumentar la producción de saliva y el pH ruminal. Sin embargo, pocas investigaciones se refieren al respecto (Imani, Mirzaei, Baghbanzadeh-Nobari, & Ghaffari., 2017). Otro factor que puede influir en el ambiente ruminal y los patrones de rumia, es la composición química del alimento. En la revisión realizada por Suarez-Mena, Hill, Jones, & Heinrichs (2016) se concluye que en general, la disponibilidad de forraje puede producir una respuesta positiva sobre el consumo de alimento cuando este provoca riesgo de acidosis ruminal y negativa cuando tal riesgo no existe. Por lo que, la ingesta y la tasa de fermentación de los carbohidratos (principalmente del almidón) de la dieta serían factores importantes a considerar (Krause & Oetzel, 2006). Pese a ello, pocas publicaciones reportan el contenido de almidón de los alimentos ofrecidos. En tanto, Terré, Pedrals, Dalmau, & Bach, (2013) al evaluar la suplementación o no de heno picado de avena ofrecido *ad libitum* (nivel de consumo del 3-4% de la dieta) utilizando alimentos tipo iniciador como pellets con baja (18%) o alta (27%) concentración de fibra detergente neutro (FDN) y diferente concentración de almidón (43,7 y 34,4%, respectivamente); registraron mayor tiempo de rumia en los terneros que consumieron forrajes, pero no encontraron diferencias entre ambos alimentos para dicha variable.

A su vez, la fuente de almidón puede causar efectos sobre el pH ruminal y, por ende, podría afectar el tiempo de rumia. Generalmente, alimentos balanceados tipo iniciador con mayor contenido de grano de cebada o trigo producen una disminución más marcada en el pH ruminal que aquellos compuestos principalmente por grano de maíz o avena, debido a que los primeros poseen una rápida tasa de fermentación del almidón (Khan et al., 2008). Sin embargo, esta hipótesis no se verifica en la investigación de Mirzaei, Khorvash, Ghorbani, Kazemi-Bonchenari, & Ghaffari (2017), en la cual hallaron similar tiempo de rumia y pH ruminal en raciones molidas que contenían alta proporción de cebada o maíz.

### **Efectos del programa de alimentación líquida con leche o reemplazador lácteo**

El programa de alimentación líquida con leche o reemplazador lácteo más recomendable para el crecimiento de la ternera y su desarrollo ruminal ha sido muy discutido. Los programas convencionales recomiendan ofrecer dieta líquida en una proporción de 10% del peso vivo, lo cual resulta inferior a la capacidad de ingerirla a libre consumo (16 a 24% de su peso corporal; Flower & Weary, 2001). En la práctica, generalmente estos sistemas estandarizan la oferta a 4 L/d independientemente del peso de los terneros. Con este sistema, se busca incrementar el consumo de alimento balanceado, de manera de estimular el desarrollo ruminal y acortar el tiempo predestete (Baldwin VI, McLeod, Klotz, & Heitmann, 2004). En tanto, los denominados programas acelerado de crecimiento, de nutrición mejorada, nutrición intensificada o



programa temprano de nutrición acelerada consisten en suministrar mayores cantidades de leche o reemplazador lácteo que el convencional (Drackley, 2008), con la finalidad de alcanzar mayores tasas de crecimiento y eficiencia alimenticia (Flower & Weary, 2001; Diaz, Van Amburgh, Smith, Kelsey, & Hutten, 2001; Brown et al., 2005; Bartlett, McKeith, VandeHaar, Dahl, & Drackley, 2006; Khan et al., 2007ab). Sin embargo, varias investigaciones han encontrado que el consumo de altas cantidades de leche o reemplazador lácteo provoca una disminución del consumo de alimentos sólidos (Huber, Silva, Campos, & Mathieu, 1984; Brown et al., 2005; Quigley, Wolfe, & Elsasser, 2006; Davis et al., 2011; Elizondo-Salazar & Sánchez-Álvarez, 2012), y en consecuencia, menor desarrollo del rumen con inferior crecimiento de las papilas ruminales (Khan et al., 2007a; Khan, Weary, & von Keyserlingk, 2011a; Elizondo-Salazar & Sánchez-Álvarez, 2012). Por lo que este retraso posiblemente también pueda verse reflejado en un menor tiempo de rumia.

Aunque en el análisis conjunto de las investigaciones incluidas en esta revisión no se observó una asociación entre el consumo medio de leche o reemplazador lácteo y el tiempo de rumia registrado (Figura 1f), más investigación es necesaria para establecer una posible relación. Así, Hosseini, Mirzaei-Alamouti, Vazirigohar, & Mahjoubi (2019) al comparar consumo medio de 431 o 690 g MS/d de leche no encontraron diferencias en la actividad de rumia en las semanas próximas al desleche, posiblemente debido a que tampoco se hallaron diferencias en el consumo de concentrado entre los tratamientos. Mientras que, para ambos niveles de consumo de leche, la inclusión de paja de trigo (al 7,5 o 15,0%) generó un aumento de la rumia y del pH ruminal.

## CONSIDERACIONES FINALES

El tiempo promedio que los terneros destinan a rumiar durante las horas próximas a la alimentación, en las semanas previas y posteriores al destete, presentó un amplio rango de dispersión entre los diferentes tratamientos nutricionales con valores del 2 al 18% del tiempo total observado.

Generalmente, los mayores porcentajes de rumia se alcanzaron al suplementar el alimento balanceado con forrajes en baja proporción de la ración (inferior al 15%). Sin embargo, en algunas de las investigaciones, la inclusión de ciertos forrajes no ha generado efectos sobre el tiempo de rumia. Lo cual hace suponer que otros factores relacionados con el nivel de participación en la dieta, distribución del tamaño de partículas y características nutricionales propias de cada especie forrajera, así como el tipo de procesamiento, composición físico-química de los alimentos concentrados y la cantidad de leche o reemplazador lácteo suministrada pueden influir en la actividad de rumia.

En varios estudios analizados, los tratamientos que presentaron superiores tiempos de rumia mostraron mayores valores de pH ruminal, consumo de alimento balanceado y aumento diario de peso vivo, principalmente en posdestete. Además, se observó en estos una disminución en el tiempo en que los terneros lamen objetos o partes de su cuerpo, vocalizan y expresan otros comportamientos estereotipados. No obstante, en otras investigaciones estas asociaciones no fueron halladas o incluso se registró una menor concentración de ácidos grasos volátiles, que podría afectar el desarrollo ruminal. Nuevos estudios se requieren para dilucidar estas controversias en los efectos encontrados.

## LITERATURA CITADA

- Adin, G., Solomon, R., Nikbachat, M., Zenou, A., Yosef, E., Brosh, A., Shabtay, A., Mabweesh, S. J., Halachmi, I., & Miron, J. (2009). Effect of feeding cows in early lactation with diets differing in roughage-neutral detergent fiber content on intake behavior, rumination and milk production. *Journal of Dairy Science*, 92(7), 3364-3373.
- Babu, L. K., Pandey, H. N., & Sahoo, A. (2004). Effect of individual versus group rearing on ethological and physiological responses of crossbred calves. *Applied Animal Behaviour Science*, 87(3-4), 177-191.
- Bach, A., Giménez, A., Juaristi, J. L., & Ahedo, J. (2007). Effects of physical form of a starter for dairy replacement calves on feed intake and performance. *Journal of Dairy Science*, 90(6), 3028-3033.
- Baldwin VI, R. L., McLeod, K. R., Klotz, J. L., & Heitmann, R. N. (2004). Rumen development, intestinal growth and hepatic metabolism in the pre- and postweaning ruminant. *Journal of Dairy Science*, 87(E. Suppl.): E55-E65.
- Bartlett, K. S., McKeith, F. K., VandeHaar, M. J., Dahl, G. E., & Drackley, J. K. (2006). Growth and body composition of dairy calves fed milk replacers containing different amounts of protein at two feeding rates. *Journal of Animal Science*, 84(6), 1454-1467.
- Bateman, H. G., Hill, T. M., Aldrich, J. M., & Schlotterbeck, R. L. (2009). Effects of corn processing, particle size, and diet form on performance of calves in bedded pens. *Journal of Dairy Science*, 92(2), 782-789.
- Beauchemin, K. A. (1991). Ingestion and mastication of feed by dairy cattle. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 7(2), 439-463.

- Beauchemin, K. A., & Yang, W. Z. (2005). Effects of physically effective fiber on intake, chewing activity, and ruminal acidosis for dairy cows fed diets based on corn silage. *Journal of Dairy Science*, 88(6), 2117-2129.
- Beharka, A. A., Nagaraja, T. G., Morrill, J. L., Kennedy, G. A., & Klemm, R. D. (1998). Effect of form of the diet on anatomical, microbial and fermentative development of the rumen of neonatal calves. *Journal of Dairy Science*, 81(7), 1946-1955.
- Borderas, T. F., de Passille, A. M., & Rushen, J. (2008). Behavior of dairy calves following a low dose of bacterial endotoxin. *Journal of Animal Science*, 86(11), 2920-2927.
- Bristow, D. J., & Holmes, D. S. (2007). Cortisol levels and anxiety related behaviors in cattle. *Physiology & Behavior*, 90(4), 626-628.
- Brown, E. G., Vandehaar, M. J., Daniels, K. M., Liesman, J. S., Chapin, L. T., Keisler, D. H., & Nielsen, M. S. (2005). Effect of increasing energy and protein intake on body growth and carcass composition of heifer calves. *Journal of Dairy Science*, 88(2), 585-594.
- Burfeind, O., Schirmann, K., von Keyserlingk, M. A., Veira, D. M., Weary, D. M., & Heuwieser, W. (2011). Technical note: Evaluation of a system for monitoring rumination in heifers and calves. *Journal of Dairy Science*, 94(1), 426-430.
- Butler, S., Thomson, P., Lomax, S., & Clark, C. (2017). Optimizing calf rearing and weaning by monitoring the real-time development of rumination. *Precision Livestock Farming '17*, 122-127.
- Castells, L., Bach, A., & Terré, M. (2015). Short- and long-term effects of forage supplementation of calves during the preweaning period on performance, reproduction, and milk yield at first lactation. *Journal of Dairy Science*, 98(7), 4748-4753.
- Castells, L., Bach, A., Araujo, G., Montoro, C., & Terré, M. (2012). Effect of different forage sources on performance and feeding behavior of Holstein calves. *Journal of Dairy Science*, 95(1), 286-293.
- Castells, L., Bach, A., Aris, A., & Terré, M. (2013). Effects of forage provision to young calves on rumen fermentation and development of the gastrointestinal tract. *Journal of Dairy Science*, 96(8), 5226-5236.
- Castro-Flores, P., & Elizondo-Salazar, J. A. (2012). Crecimiento y desarrollo ruminal en terneros alimentados con iniciador sometido a diferentes procesos. *Agronomía Mesoamericana*, 23 (2): 343-352.

- Coverdale, J. A., Tyler, H. D., Quigley, J. D., & Brumm, J. A. (2004). Effect of various levels of forage and form of diet on rumen development and growth in calves. *Journal of Dairy Science*, 87(8), 2554-2562.
- Davis, L., Vandehaar, M., Wolf, C., Liesman, J., Chapin, L., & Weber, M. (2011). Effect of intensified feeding of heifer calves on growth, pubertal age, calving age, milk yield, and economics. *Journal of Dairy Science*, 94(7), 3554-3567.
- DeVries, T. J., von Keyserlingk, M. A., Weary, D. M., & Beauchemin, K. A. (2003). Measuring the feeding behavior of lactating dairy cows in early to peak lactation. *Journal of Dairy Science*, 86(10), 3354-3361.
- Diaz, M. C., Van Amburgh, M. E., Smith, J. M., Kelsey, J. M., & Hutten, E. L. (2001). Composition of growth of Holstein calves fed milk replacer from birth to 105-kilogram body weight. *Journal of Dairy Science*, 84(4): 830–842.
- Drackley, J. (2008). Accelerated Growth Programs for Milk-Fed Calves. In *High Plains Dairy Conference*, (pp. 87-96). Albuquerque, NM, USA.
- EbnAli, A., Khorvash, M., Ghorbani, G. R., Mahdavi, A. H., Mirzaei, M., Pezeshki, A., & Ghaffari, M. H. (2016). Effects of forage offering method on performance, rumen fermentation, nutrient digestibility and nutritional behaviour in Holstein dairy calves. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 100(5), 820-827.
- Einarson, M. S., Plaizier, J. C., & Wittenberg, K. M. (2004). Effects of barley silage chop length on productivity and rumen conditions of lactating dairy cows fed total mixed ration. *Journal of Dairy Science*, 87(9), 2987-2996.
- Elizondo-Salazar, J. A., & Sánchez-Álvarez, M. (2012). Efecto del consumo de dieta líquida y alimento balanceado sobre el crecimiento y desarrollo ruminal en terneras de lechería. *Agronomía Costarricense*, 36(2): 81-90.
- Flower, F., & Weary, D. (2001). Effects of early separation on the dairy cow and calf: Separation at 1 day and 2 weeks after birth. *Applied Animal Behaviour Science*, 70(4), 275-284.
- Franklin, S. T., Amaral-Phillips, D. M., Jackson, J. A., & 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.
- Gelsing, S. L., Heinrichs, A. J., & Jones, C. M. (2016). A meta-analysis of the effects of preweaned calf nutrition and growth on first lactation performance. *Journal of Dairy Science*, 99(8), 6206-6214.

- Ghassemi-Nejad, J., Torbatinejad, N., Naserian, A. A., Kumar, S., Kim, J. D., Song, Y. H., Ra, C. S., & Sung, K. I. (2012). Effects of processing of starter diets on performance, nutrient digestibility, rumen biochemical parameters and body measurements of Brown Swiss. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 25(7), 980.
- Gilliland, R. L., Bush, L. J., & Friend, J. D. (1962). Relation of ration composition to rumen development in early-weaned dairy calves with observations on ruminal parakeratosis. *Journal of Dairy Science*, 45(10), 1211-1217.
- Hammell, K. L., Metz, J. H., & Mekking, P. (1988). Sucking behavior of dairy calves fed milk ad libitum by bucket or teat. *Applied Animal Behaviour Science*, 20(3-4), 275-285.
- Hasegawa, N., Nishiwaki, A., Sugawara, K., & Ito, I. (1997). The effects of social exchange between two groups of lactating primiparous heifers on milk production, dominance order, behavior and adrenocortical response. *Applied Animal Behaviour Science*, 51(1-2), 15-27.
- Hill, T. M., Bateman, H. G., Aldrich, J. M., & Schlotterbeck, R. L. (2008a). Effect of feeding different carbohydrate sources and amounts to young calves. *Journal of Dairy Science*, 91(8), 3128-3137.
- Hill, T. M., Bateman, H. G., Aldrich, J. M., & Schlotterbeck, R. L. (2008b). Effects of the amount of chopped hay or cottonseed hulls in a textured calf starter on young calf performance. *Journal of Dairy Science*, 91(7), 2684-2693.
- Hill, T., Suarez-Mena, F., Hu, W., Dennis, T., Schlotterbeck, R., Timms, L., & Hulbert, L. (2017). Technical note: Evaluation of an ear-attached movement sensor to record rumination, eating, and activity behaviors in 1-month-old calves. *The Professional Animal Scientist*, 33(6), 743-747.
- Hosseini, S. H., Mirzaei-Alamouti, H., Vazirigohar, M., & Mahjoubi, E. R. (2019). Effects of whole milk feeding rate and straw level of starter feed on performance, rumen fermentation, blood metabolites, structural growth, and feeding behavior of Holstein calves. *Animal Feed Science and Technology*, 255, 114238.
- Hosseinkhani, A., DeVries, T. J., Proudfoot, K. L., Valizadeh, R., Veira, D. M., & Von Keyserlingk, M. A. (2008). The effects of feed bunk competition on the feed sorting behavior of close-up dry cows. *Journal of Dairy Science*, 91(3), 1115-1121.
- Huber, J. T. (1968). Symposium: Calf Nutrition and Rearing. Development of the Digestive and Metabolic Apparatus of the Calf. Presented at the Sixty-third Annual Meeting of the American Dairy Science Association. The Ohio State University, Columbus: *Journal of Dairy Science*.

- Huber, J. T., Silva, A. G., Campos, O. D., & Mathieu, C. M. (1984). Influence of feeding different amounts of milk on performance, health, and absorption capability of baby calves. *Journal of Dairy Science*, 67(12), 2957-2963.
- Imani, M., Mirzaei, M., Baghbanzadeh-Nobari, B., & Ghaffari, M. H. (2017). Effects of forage provision to dairy calves on growth performance and rumen fermentation: A meta-analysis and meta-regression. *Journal of Dairy Science*, 100(2), 1136-1150.
- Khan, M. A., Bach, A., Weary, D. M., & von Keyserlingk, M. A. (2016). Invited review: Transitioning from milk to solid feed in dairy heifers. *Journal of Dairy Science*, 99(2), 885-902.
- Khan, M. A., Lee, H. J., Lee, W. S., Kim, H. S., Kim, S. B., Ki, K. S., Ha, J. K.; Lee, H. G.; & Choi, Y. J. (2007a). Pre- and postweaning performance of Holstein female calves fed milk through step-down and conventional methods. *Journal of Dairy Science*, 90(2), 876-885.
- Khan, M. A., Lee, H. J., Lee, W. S., Kim, H. S., Ki, K. S., Hur, T. Y., Suh, G. H., Knag, S. J., & Choi, Y. J. (2007b). Structural growth, rumen development, and metabolic and immune responses of Holstein male calves fed milk through step-down and conventional methods. *Journal of Dairy Science*, 90(7), 3376-3387.
- Khan, M. A., Lee, H. J., Lee, W. S., Kim, H. S., Kim, S. B., Park, S. B., Baek, K. S., Ha, J. K., & Choi, Y. J. (2008). Starch source evaluation in calf starter: II. Ruminant parameters, rumen development, nutrient digestibilities, and nitrogen utilization in Holstein calves. *Journal of Dairy Science*, 91(3), 1140-1149.
- Khan, M. A., Weary, D. M., & von Keyserlingk, M. A. (2011a). Hay intake improves performance and rumen development of calves fed higher quantities of milk. *Journal of Dairy Science*, 94(7), 3547-3553.
- Khan, M. A., Weary, D. M., & von Keyserlingk, M. A. (2011b). Invited review: Effects of milk ration on solid feed intake, weaning and performance in dairy heifers. *Journal of Dairy Science*, 94(3), 1071-1081.
- Kononoff, P. J., Lehman, H. A., & Heinrichs, A. J. (2002). Technical note: A comparison of methods used to measure eating and ruminating activity in confined dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 85(7), 1801-1803.
- Krause, K. M., & Oetzel, G. R. (2006). Understanding and preventing subacute ruminal acidosis in dairy herds: A review. *Animal Feed Science and Technology*, 126(3-4), 215-236.
- Lammers, B. P., Buckmaster, D. R., & Heinrichs, A. J. (1996). A simple method for the analysis of particle sizes of forage and total mixed rations. *Journal of Dairy Science*, 79(5), 922-928.

- Lopreiato, V., Minuti, A., Cappelli, F. P., Vailati-Riboni, M., Britti, D., Trevisi, E., & Morittu, V. M. (2018). Daily rumination pattern recorded by an automatic rumination-monitoring system in pre-weaned calves fed whole bulk milk and ad libitum calf starter. *Livestock Science*, 212, 127-130.
- Lopreiato, V., Vailati-Riboni, M., Morittu, D. V., Britti, M., Piccioli-Cappelli, F., Trevisi, E., & Minuti, A. (2020). Post-weaning rumen fermentation of Simmental calves in response to weaning age and relationship with rumination time measured by the Hr-Tag rumination-monitoring system. *Livestock Science*, 232, 103918.
- Maekawa, M., Beauchemin, K. A., & Christensen, D. A. (2002). Effect of concentrate level and feeding management on chewing activities, saliva production, and ruminal pH of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 85(5), 1165-1175.
- Margerison, J. K., Preston, T. R., Berry, N., & Phillips, C. J. (2002). Cross sucking and other oral behaviours in calves and their relation to cow suckling and food provision. *Applied Animal Behaviour Science*, 80(4), 277-286.
- Mertens, D. R. (1997). Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 80(7), 1463-1481.
- Mirzaei, M., Khorvash, M., Ghorbani, G. R., Kazemi-Bonchenari, M., & Ghaffari, M. H. (2017). Growth performance, feeding behavior, and selected blood metabolites of Holstein dairy calves fed restricted amounts of milk: No interactions between sources of finely ground grain and forage provision. *Journal of Dairy Science*, 100(2), 1086-1094.
- Mojahedi, S., Khorvash, M., Ghorbani, G. R., Ghasemi, E., Mirzaei, M., & Hashemzadeh-Cigari, F. (2018). Performance, nutritional behavior, and metabolic responses of calves supplemented with forage depend on starch fermentability. *Journal of Dairy Science*, 101(8), 7061-7072.
- NRC (National Research Council). (2001). *Nutrient requirements of dairy cattle*. National Academy Press. Washington, D.C., USA.
- Pazoki, A., Ghorbani, G. R., Kargar, S., Sadeghi-Sefidmazgi, A., Drackley, J. K., & Ghaffari, M. H. (2017). Growth performance, nutrient digestibility, ruminal fermentation, and rumen development of calves during transition from liquid to solid feed: Effects of physical form of starter feed and forage provision. *Animal Feed Science and Technology*, 234, 173-185.
- Phillips, C. J. (2004). The effects of forage provision and group size on the behavior of calves. *Journal of Dairy Science*, 87(5), 1380-1388.

- Porter, J. C., Warner, R. G., & Kertz, A. F. (2007). Effect of fiber level and physical form of starter on growth and development of dairy calves fed no forage. *The Professional Animal Scientist*, 23(4), 395-400.
- Quigley, J. D., Wolfe, T. A., & Elsasser, T. H. (2006). Effects of additional milk replacer feeding on calf health, growth, and selected blood metabolites in calves. *Journal of Dairy Science*, 89(1), 207-216.
- Radostits, O. M., Gay, C. C., Hinchcliff, K. W., & Constable, P. D. (2007). *Veterinary Medicine: A Textbook of the Diseases of Cattle, Horses, Sheep, Pigs and Goats*. 10th ed. Elsevier Publishing. New York, NY.
- Reith, S., & Hoy, S. (2012). Relationship between daily rumination time and estrus of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 95(11), 6416-6420.
- Rodrigues, J. P., Pereira, L. G., Diniz Neto, H. C., Lombardi, M. C., de Assis Lage, C. F., Coelho, S. G., Sacramento, J. P., Machado, F. S., Tomich, T. R., Mauricio, R. M., & Campos, M. M. (2019). Evaluation of an automatic system for monitoring rumination time in weaning calves. *Livestock Science*, 219, 86-90.
- Russell, J. B., & Rychlik, J. L. (2001). Factors that alter rumen microbial ecology. *Science*, 292(5519), 1119-1122.
- Salfer, I. J., Morelli, M. C., Ying, Y., Allen, M. S., & Harvatine, K. J. (2018). The effects of source and concentration of dietary fiber, starch, and fatty acids on the daily patterns of feed intake, rumination, and rumen pH in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 101(12), 10911-10921.
- Sander, E. G., Warner, R. G., Harrison, H. N., & Loosli, J. K. (1959). The stimulatory effect of sodium butyrate and sodium propionate on the development of rumen mucosa in the young calf. *Journal of Dairy Science*, 42(9), 1600-1605.
- Schirmann, K., von Keyserlingk, M. A., Weary, D. M., Veira, D. M., & Heuwieser, W. (2009). Validation of a system for monitoring rumination in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 92(12), 6052-6055.
- Soriani, N., Trevisi, E., & Calamari, L. (2012). Relationships between rumination time, metabolic conditions, and health status in dairy cows during the transition period. *Journal of Animal Science*, 90(12), 4544-4554.
- Stobo, I. J., Roy, J. H., & Gaston, H. J. (1966). Rumen development in the calf: 1. The effect of diets containing different proportions of concentrates to hay on rumen development. *British Journal of Nutrition*, 20(2), 171-188.



- Suarez-Mena, F. X., Hill, T. M., Jones, C. M., & Heinrichs, A. J. (2016). Effect of forage provision on feed intake in dairy calves. *The Professional Animal Scientist*, 32(4), 383-388.
- Swanson, E. W., & Harris, J. D. (1958). Development of rumination in the young calf. *Journal of Dairy Science*, 41(12), 1768-1776.
- Tamate, H., McGilliard, A. D., Jacobson, N. L., & Getty, R. (1962). Effect of various dietaries on the anatomical development of the stomach in the calf. *Journal of Dairy Science*, 45(3), 408-420.
- Terré, M., Pedrals, E., Dalmau, A., & Bach, A. (2013). What do preweaned and weaned calves need in the diet: A high fiber content or a forage source? *Journal of Dairy Science*, 96(8), 5217-5225.
- Webb, L. E., Bokkers, E. A., Engel, B., Gerrits, W. J., Berends, H., & van Reenen, C. G. (2012). Behaviour and welfare of veal calves fed different amounts of solid feed supplemented to a milk replacer ration adjusted for similar growth. *Applied Animal Behaviour Science*, 136(2-4), 108-116.
- Welch, J. G. (1982). Rumination, particle size and passage from the rumen. *Journal of Animal Science*, 54(4), 885-894.
- Yang, W. Z., Beauchemin, K. A., & Rode, L. M. (2001). Barley processing, forage: concentrate, and forage length effects on chewing and digesta passage in lactating cows. *Journal of Dairy Science*, 84(12), 2709-2720.
- Yáñez-Ruiz, D. R., Abecia, L., & Newbold, C. J. (2015). Manipulating rumen microbiome and fermentation through interventions during early life: a review. *Frontiers in microbiology*, 6, 1133.
- Zebeli, Q., Tafaj, M., Steingass, H., Metzler, B., & Drochner, W. (2006). Effects of physically effective fiber on digestive processes and milk fat content in early lactating dairy cows fed total mixed rations. *Journal of Dairy Science*, 89(2), 651-668.