

LA CONDUCTA ALIMENTARIA EN RUMIANTES: IMPLICACIONES PRÁCTICAS

M. Devant y A. Bach

Departamento de Producción de Rumiantes
IRTA, Caldes de Monbtui, Barcelona

1.- INTRODUCCIÓN

La conducta alimentaria incluye aquellas conductas relacionadas con el consumo de alimento y viene definida principalmente por tres parámetros: número de visitas a los comederos, tamaño de comida, y duración de la comida. El tamaño de comida está formado por la suma de visitas al comedero, su inicio y su final se estima matemáticamente con el “criterio de comida” (se estima a partir de los tiempos entre vistas al comedero). Del número de visitas a los comederos, tamaño de comida y duración de la comida se derivan otros tres parámetros: consumo total diario, tiempo total de ocupación, y velocidad de consumo (Nielsen, 1999). Sin embargo, hay otros parámetros que también pertenecen a la conducta alimentaria como es la variación del consumo entre días (CV: coeficiente de variación del consumo medio diario en un período medio de una semana o catorce días). Finalmente, la selección es otro aspecto importante, sobretodo, cuando el animal puede escoger entre ingredientes (sistema cafetería) o es alimentado con mezclas (unifeed). La selección es importante en terneras de recría alimentadas con mezclas o vacas lecheras alimentadas con raciones unifeed. Finalmente, la rumia forma parte también de la conducta alimentaria, pero no tiene lugar durante la comida y en el presente artículo no se profundizará en ella.

Parte de la complejidad del estudio de la conducta alimentaria radica en que une dos áreas de conocimiento: el comportamiento animal y la nutrición. El estudio de la conducta alimentaria y su impacto sobre la producción y el bienestar animal no es una

novedad, sin embargo, los sistemas actuales de monitorización individual (comederos con antenas, filmaciones, chips para monitorizar la rumia, etc..) han generado una elevada cantidad de datos objetivos y cuantitativos de animales alojados en condiciones comerciales.

Figura 1. Parámetros que definen parte de la conducta alimentaria (Nielsen, 1999)

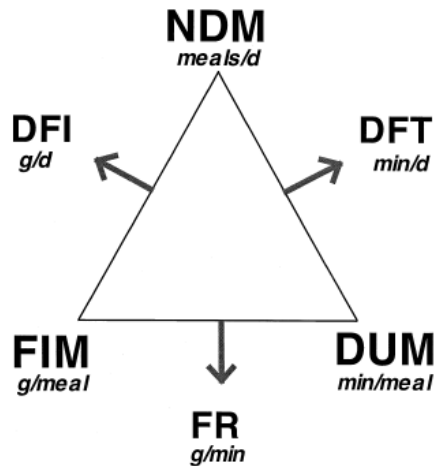


Fig. 1. Components of feeding behaviour and their interrelations. NDM = number of daily meals, FIM = average feed intake per meal, DUM = average duration of meal, DFI = daily food intake, DFT = daily feeding time, and FR = feeding rate. Averages are daily within animal.

1.1.- Mecanismos que regulan la conducta alimentaria

La regulación del consumo de alimento es compleja y es fruto del apetito y de la saciedad. La saciedad (finalización de una comida) tiene lugar cuando se han ingerido la cantidad de nutrientes necesarios iniciados por el apetito (Provenza, 1995). El apetito, hedonismo (búsqueda del placer) y control psicogénico, está influenciado por un lado por factores sociales (competencia y estrés, situaciones de no placer) y características del alimento que afectan a la palatabilidad (gusto, textura, etc...que generan placer) y se establecen sobre todo en las experiencias de edades tempranas (aprendizaje); y por otro está relacionada con la homeostasis (mecanismos para mantener al animal en un estado óptimo para sobrevivir y realizar sus funciones fisiológicas, i.e. crecer, producir leche, mantener la gestación...). La regulación del apetito o hambre dispone de vías neuronales diferenciadas a pesar de estar relacionados (Lowe y Butryn, 2007) y está regulado por las características de los nutrientes y los derivados de la fermentación/digestión y determinan el tamaño de comida y el número de visitas. En la producción de rumiantes, al ofrecer dietas a diario con fórmulas similares de nutrientes e ingredientes, los mecanismos que controlan el apetito relacionados con el hedonismo son quizás menos importantes que los mecanismos relacionados con la homeostasis excepto tres situaciones: i) en las terneras de recría donde el hedonismo puede ayudar a diseñar estrategias para aumentar el consumo, ii) dietas donde se pueda seleccionar los ingredientes, iii) periodos de acidosis donde la regulación del consumo se podría relacionar con la ingestión de elevadas toxinas

ejerciendo un efecto de “no placer”, el contrario al hedonismo. En cualquier caso, todos los factores u hormonas incretinas que participan en la regulación de la ingestión (i.e. CCK, insulina, GLP-I, etc...) ejercen un efecto negativo del apetito con la excepción de la ghrelina y el NPY.

El punto clave del control del consumo total diario es la regulación del tamaño de comida que está inversamente relacionada con el número de visitas. En esta regulación del consumo a corto plazo intervienen diferentes mecanismos; el hipotálamo tiene un papel fundamental interpretando las diferentes señales que inician (orexigénicas) o finalizan una comida (anorexigénicas). Las señales proceden principalmente del tejido adiposo que informan de cambios en el estado energético y del tracto digestivo (señales vagales y péptidos intestinales u hormonas).

En rumiantes se han descrito diferentes mecanismos que en la regulación del tamaño de la comida:

1. La producción de ácidos grasos volátiles en el rumen, en especial el propiónico, tras ser absorbidos llegan al hígado donde se oxidarán o metabolizarán. La saturación de oxidación o la gluconeogénesis puede mandar señales de feedback al SNC para parar el consumo de alimento durante la comida (Britton and Stock, 1987; Allen, 2010).
2. Owens et al. (1998) sugieren que la acumulación de ácidos orgánicos y glucosa en el rumen aumenta la osmolaridad ruminal y en consecuencia se reduciría el consumo. Osmolaridades entre 300 y 700 mOsm/kg se han relacionado con pH bajos y se consideran osmolaridades altas (Andersen et al., 1994; Khafipour et al., 2009a,b).
3. Toxinas/respuesta inflamatoria. Ciertas sustancias que se liberan durante la fermentación de hidratos de carbono no estructurales, como endotoxinas bacterianas y la histamina, también pueden reducir la amplitud de las contracciones ruminales o ejercer un efecto sistémico reduciendo el consumo (Dougherty et al., 1975; Andersen, 2003; Plaizier et al., 2012). La inflamación crónica, causada por las endotoxinas que son absorbidas o por el daño del epitelio ruminal tras una acidosis subclínica, puede causar efectos negativos sobre el consumo por la liberación de citoquinas (Kleen et al., 2003). Esta hipótesis se ve refrendada por los estudios de (Khafipour et al., 2009 a,b). Estos autores observaron que cuando causaban una acidosis ruminal al suplementar grano los animales consumían menos, estos animales a su vez tenían elevadas concentraciones sanguíneas de LPS y haptoglobina, hecho que no se observó cuando causaban acidosis ruminal por pellets de alfalfa donde no descendió el consumo. Así pues, parece ser que el descenso del consumo puede estar relacionado con una respuesta inflamatoria.
4. Hay receptores de tensión en la pared muscular del rumen y del retículo que miden la distensión. Estos receptores juegan un papel importante en dietas ricas en fibra (Villalaba et al., 2009).
5. Hedonismo y factores sociales. A parte del sabor, olor, textura, apreciación visual, las interacciones sociales, el aprendizaje y los estados emocionales o afectivos pueden afectar a la conducta alimentaria (Mertens, 1996). Anteriormente se ha descrito el

hedonismo y su relación con la palatabilidad que define como las características de los alimentos asociadas al gusto, olor y aceptación visual por parte de los animales. El hedonismo aumenta con la satisfacción generada por el consumo de ingredientes palatables. Lee y Owyang (2017) en un artículo reciente describen que los receptores del gusto (dulce, salado, umami, amargo, y ácido) no tan solo se encuentran en las papilas gustativas, también en el tracto digestivo y el cerebro. En las células de las papilas gustativas se expresan receptores ligados a la proteína-G cuando detectan dichos sabores, existen diferentes tipos de receptores según el sabor. Tras su activación se estimulan neuronas aferentes que envían señales al SNC, pero, por ejemplo, en el caso de los receptores del dulce también expresan hormonas incretinas como GLP-1, glucagón, neuropeptido Y, PYY, CCK etc... En el tracto digestivo dichos receptores se encuentran en las células enteroendocrinas que secretan estas hormonas incretinas que pueden actuar localmente o en zonas remotas como el SNC regulando el consumo. Finalmente, se han encontrado dichos receptores en el SNC y parecen estar modulados por la leptina, lo que podría representar uno de los mecanismos que participan en la regulación de la homeostasis (Palouzier-Paulignan et al., 2012). Con un mecanismo similar al que se ha descrito para los sabores de las grasas, entre ellas los ácidos grasos volátiles, pueden interactuar con receptores de membrana acoplados a la proteína G (Gpr43 o free fatty acid receptor 2- FFAR2; Wang et al., 2009); la activación de dichos receptores está relacionada con la liberación de hormonas incretinas como el PYY que regulan la ingestión. Se cree que es de los mecanismos a través de los cuales la microbiota (que es dieta dependiente) puede regular el balance energético (Samuel et al., 2008). Devant et al. (2016) observaron que la expresión de dichos receptores en el epitelio ruminal variaba en función de la dieta; la ausencia de paja en la ración inducía a una reducción de la expresión de dichos receptores. Se desconoce en rumiantes que papel exactamente juegan todos estos receptores, probablemente modulan la respuesta (Loper et al., 2015) y están muy relacionados con la conducta social como son la competencia, la agresividad y la conducta sexual (Krusemark et al. 2013).

Las conductas sociales pueden iniciar o terminar una comida y los mecanismos asociados que intervienen no están relacionados con las señales físicas o fisiológicas derivadas de los alimentos. Existen claros ejemplos: el estrés y la competencia aumentan la velocidad de consumo y el tamaño de comida (González et al., 2008; DeVries and von Keyserlingk, 2009b). Además, cuando los animales sufren patologías el número de visitas y el consumo total de alimento disminuyen (Weary et al., 2009).

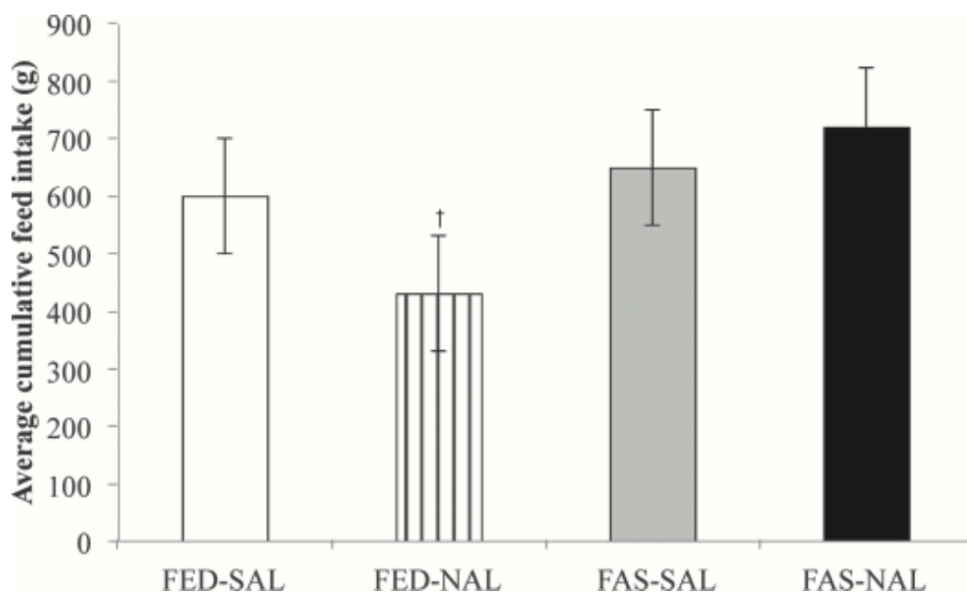
Tras esta introducción, la actual revisión se planteará por fases productivas: terneros mamonos/terneras de recría, cebo y vacas en lactación.

2.- TERNERAS DE RECRÍA/MAMONES Y PRIMERAS EDADES DESPUÉS DEL DESTETE

Ya a edades tempranas el hedonismo juega un papel importante en la regulación de la ingestión. Montoro et al. (2012) demostraron que al bloquear señales opiáceas (mediante naloxona) el consumo de alimento sólido tendía a disminuir (Figura 1). Sin embargo, en ayunas, el consumo de alimento era mediado por mecanismos homeostáticos y el bloqueo de señales opiáceas no comprometía el consumo (Figura 1). Este componente hedónico es pues importante en situaciones de producción donde los aportes de nutrientes no son limitantes, es decir casi todas las fases productivas del vacuno de carne y vacuno lechero excepto al principio de lactación. Es más, las terneras intentarán seleccionar ingredientes que 1) satisfagan sus necesidades y 2) aumenten el hedonismo. Por ejemplo, Miller-Cushon et al. (2014) demostraron que terneras de 2 meses de vida eran capaces de identificar si una mezcla de dos pellets (uno de 8 y otros 4 mm) contenían soja o colza, y mostraban una clara habilidad para seleccionar en favor de los pellets que contenían soja (Figura 2).

Figura 1. Consumo de alimento sólido en condiciones normales (FED) o en ayunas (FAS) en terneras tratadas con solución salina (SAL) o naloxona (NAL).

Adaptado de Montoro et al.(2012)



La conducta alimentaria a edades tempranas es importante porque puede repercutir en la conducta alimentaria a posteriori. Por ejemplo, Miller-Cushon et al. (2013) demostraron que terneras expuestas a heno molido fino antes del destete seleccionaron en favor del concentrado y en contra de forraje de partícula grande después del destete (Figura 3). Por tanto, es recomendable que las terneras de reposición se expongan a forraje seco (preferiblemente paja, peor puede ser heno de rye-grass u otras gramíneas) picado a unos 2.5 cm antes del destete para evitar que cuando sean expuestas a raciones con mayor

proporción de forraje se minimice la conducta de selección evitando así posibles trastornos ruminales consecuencia de una ración desbalanceada. Además, tras el destete, es preferible aportar una ración total mezclada (unifeed) y evitar ofrecer heno y concentrado por separado. DeVries and von Keyserlingk (2009a) demostraron que terneras de unos 150 kg de peso vivo consumían los nutrientes de la ración de forma más homogénea si se presentaban en una ración unifeed que si se ofrecían el concentrado y el forraje por separado. Además, las novillas punteadas (aportaciones de concentrado encima de la ración unifeed) mostraban un pico de consumo mayor de materia seca y mayor velocidad de consumo justo después de ofrecer la comida que las novillas que recibieron una ración unifeed. En un estudio similar, Greter et al. (2010), demostraron que novillas a las que se les ofreció una ración forrajera punteada con concentrado seleccionaban en contra de forrajes (y partículas largas) que se les ofreció una ración total mezclada. Además, esta conducta resultó en mayor agresividad en el comedero, con las terneras punteadas mostrando un mayor número (18 veces/d) de desplazamientos que las que consumían una ración total mezclada (9 veces/día). Como resultado de estas diferencias, las novillas alimentadas mediante punteo presentaron heces más blandas, pero el número de animales no permitió (o quizás no existen) detectar diferencias en crecimiento o eficiencia entre los dos tratamientos.

Figura 2. Selección de pellets que contenían soja o colza en terneras de 2 meses de vida (Adaptado de Miller-Cushon et al., 2014)

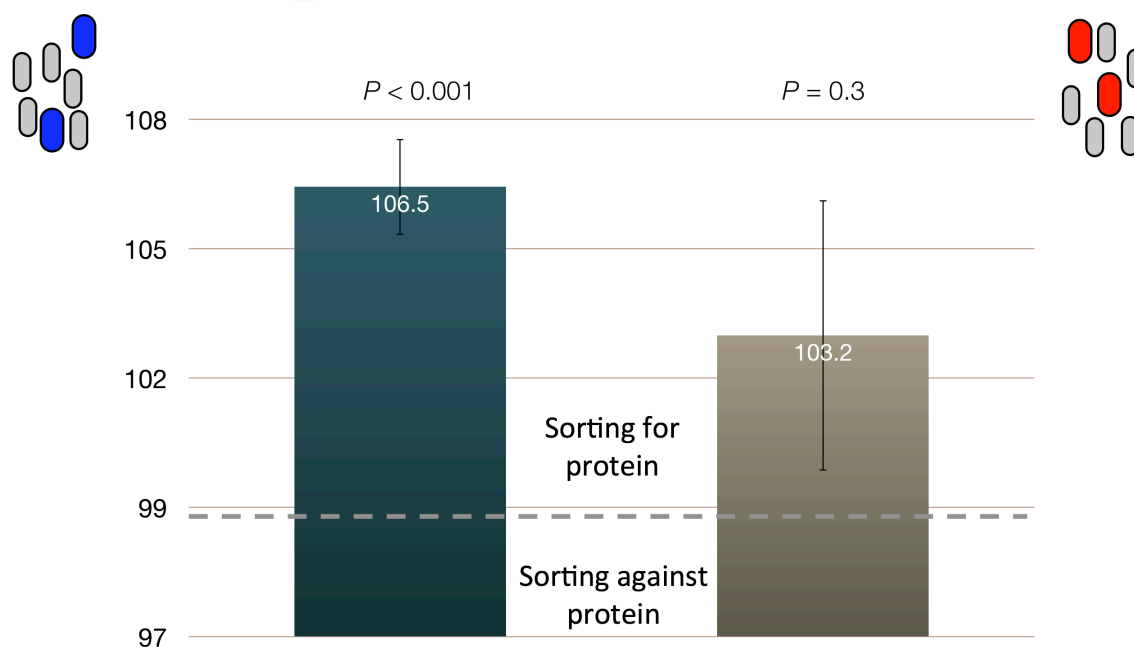
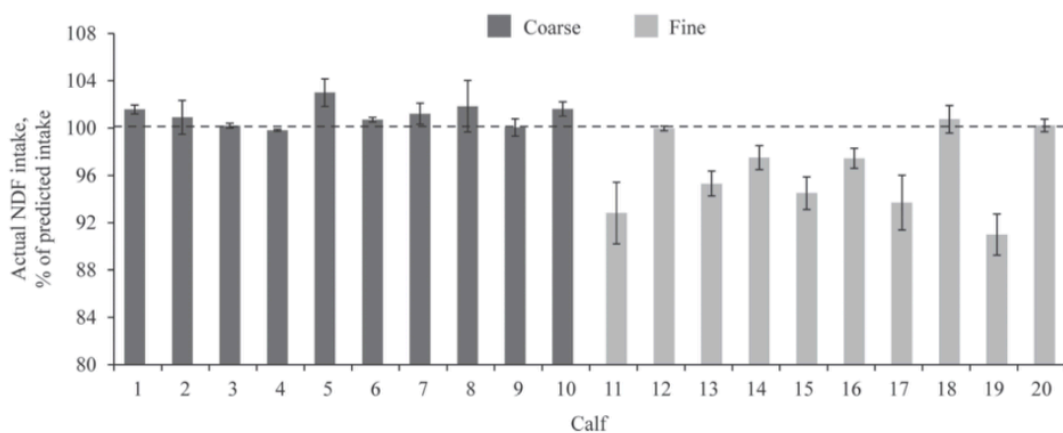


Figura 3. Selección a favor de partículas finas y en contra de de partículas largas en animales expuestos previamente a una ración con forraje molido fino.

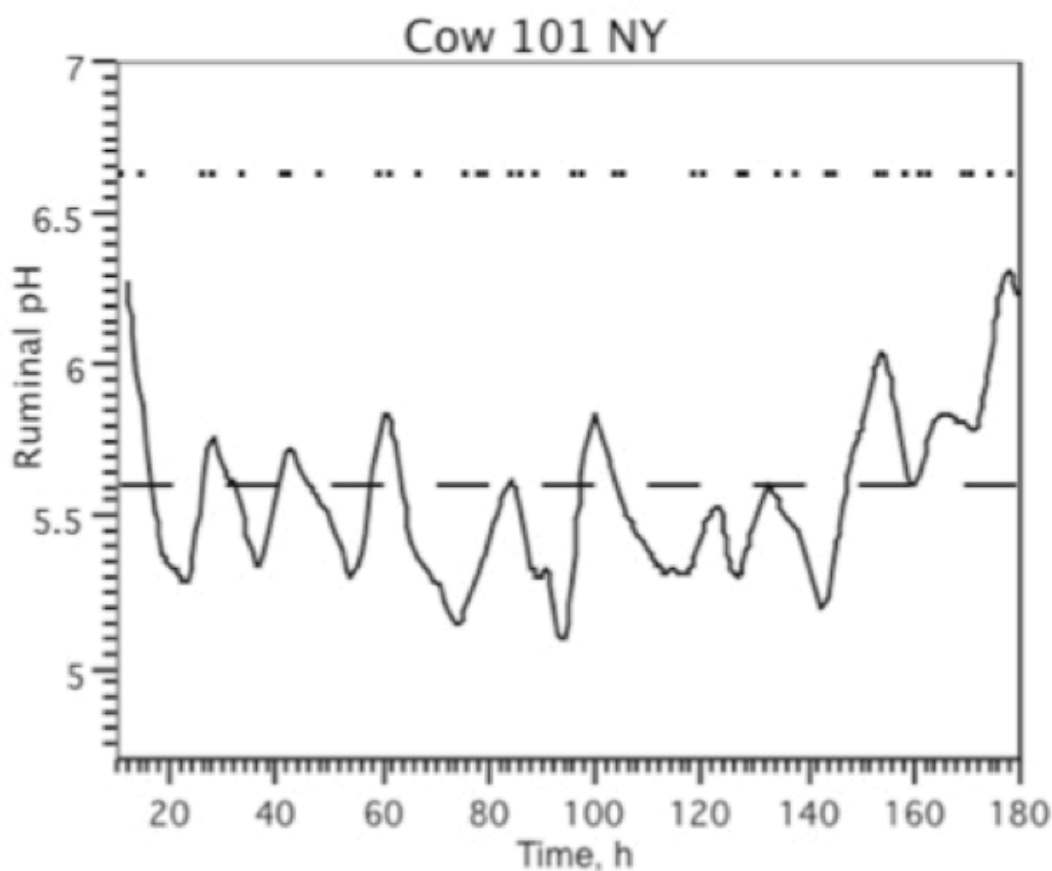
Adaptado de Miller-Cushon et al. (2013).



Una vez demostrado que las terneras destetadas y las novillas deben alimentarse con una ración total mezclada (o unifeed), hay que responder cómo debe ser físicamente esta ración. En novillas, tanto el tamaño de partícula como la humedad de la ración ejercen un efecto sobre la conducta alimentaria y el consumo total de materia seca. Khan et al. (2014) observaron que tanto el consumo total de materia seca, así como la velocidad de consumo (g de materia seca/min) tendían a aumentar y el tiempo dedicado a comer disminuía conforme el tamaño de partícula de la ración disminuía, con un óptimo del 64% de partículas por encima de 19 mm de diámetro. Por otro lado, el mismo estudio reportó que como máximo, la ración de las novillas debería tener un mínimo 65% de materia seca, pues raciones con más humedad del 35% resultan en descensos de consumo.

La densidad animal es un factor que condiciona de manera importante la conducta alimentaria del vacuno. En situaciones de alta competencia para acceder al comedero, las novillas (y las vacas) consumen la ración a un mayor ritmo de ingestión (g/min) especialmente justo después de ofrecer comida fresca (González et al., 2008c; DeVries and von Keyserlingk, 2009b), y esto resulta en un descenso del número de visitas al comedero durante el día que aumentan en longitud y conllevan una mayor cantidad de materia seca consumida por visita (DeVries and von Keyserlingk, 2009b). Este distanciamiento ente comidas en situaciones de competencia puede ser debido a dos factores: 1) un mayor consumo de materia seca justo en el momento de ofrecer la comida, y 2) un descenso del pH ruminal consecuencia de la mayor velocidad de consumo (menos secreción de saliva) y mayor cantidad de materia seca consumida en esa visita, tal y como se describirá posteriormente. Bach et al. (2007) demostraron como en situaciones de bajo pH (y alta osmolaridad ruminal) el apetito disminuye y las visitas al comedero se distancian (Figura 4).

Figura 4. pH ruminal a lo largo del tiempo. Los puntos indican visitas al comedero (se observa que, en general, pH bajos coinciden con una ausencia de visitas al comedero (Adaptado de Bach et al., 2007).



En terneros mamones destinados al cebo hay pocos estudios de conducta alimentaria, experiencia previa o selección. Basándonos en los estudios de (Miller-Cushon et al., 2013) se realizó un estudio (Devant et al., 2015b) para evaluar si la experiencia alimentaria previa podía afectar a las preferencias de alimentos y al comportamiento alimentario en terneros destetados al inicio del cebo. Se observó que 1) los animales que consumen harina dedican más tiempo a comer que los animales que comen granulado (11 vs 9 min por comida), y 2) que la experiencia previa (harina vs granulado) afecta a la conducta posterior ya que el porcentaje de desperdicio del concentrado varió en función de la forma de presentación previa. Por tanto, parece que ofrecer concentrado en forma de granulado a edades tempranas puede ser una buena estrategia reducir el desperdicio de concentrado en edades posteriores.

3.- TERNEROS DE CEBO

Para el análisis de la conducta alimentaria en cebo para el presente artículo se ha elaborado una base de datos con más de 9.500 datos de consumo de concentrado. Los datos de conducta alimentaria corresponden a las medias de períodos de 14 días de 1320 terneros (50% frisonos españoles y 50% frisonos franceses) y han sido obtenidos en estudios realizados los últimos años en dos naves experimentales de la zona de Lleida. Los animales de cada nave disponen de un chip electrónico, y los comederos de concentrado disponen de antenas que registran las visitas; hay dos sistemas de estimar el consumo, el primero y del cual se disponen más datos dispensa una cantidad de pienso cada vez que el animal visita el comedero (Devant et al., 2012) y el segundo debajo del comedero hay unas células que registran el consumo de pienso (Verdú et al., 2016). Ambos sistemas están validados y los animales disponen de concentrado ad libitum, aunque el primer sistema permite limitar el tamaño de comida y el consumo total diario. Los datos registrados corresponden al consumo de concentrado expresados en MS. Los valores de conducta alimentaria de la Tabla 1 coinciden con los valores observados por el grupo canadiense de la Dra. Karen Schwartzkopf-Genswein obtenidos con terneros cruzados Angus en la fase de acabado (Moya et al., 2015), pero difieren a los valores obtenidos por el grupo de la UAB del Dr. Alfred Ferret con terneras frisonas (Rotger et al., 2006; Robles et al., 2007; González et al., 2008a,b). Esto se debe, probablemente, a que los datos del grupo canadiense corresponden a mezclas unifeed con un 90% de grano y la mayoría de los datos del grupo de la UAB corresponden a dietas de concentrado y paja ofrecidos por separado, pero la conducta se registra con una única báscula. Ello conlleva, por ejemplo, que la velocidad de consumo de los datos de la UAB es muy inferior a los datos de la Tabla 1 (la velocidad de consumo de la paja es muy baja, y aunque su porcentaje de consumo es bajo, la duración de la comida aumenta mucho). Ello evidencia que el método empleado para registrar y la dieta son críticos para comparar datos de conducta alimentaria.

Tabla 1. Resumen de los datos de conducta alimentaria según fase productiva

Medias y desviación estándar	Crecimiento*	Acabado*	% diferencia
Rango PV, kg	112-349	350-570	
Consumo concentrado, kg MS/d	5.77±1.16	7.31±1.06	+ 26%
GMD, kg/d	1.53±0.44	1.56±0.50	
FCR, kg MS/kg	3.78±1.25	4.96±1.49	
Número de visitas, n/día	7.95±1.96	8.87±2.03	+ 11.5%
Tamaño comida, kg MS	0.825±0.23	0.906±0.23	+ 9.8%
Duración comida, min/comida	9.68±2.68	9.17±2.82	- 5.3%
Duración total comida, min/día	69.98±16.98	78.28±23.74	+ 11.8%
Tiempo inter-comidas, min	203.2±59.9	169.7±45.4	- 16.4%
Velocidad de ingestión, g MS/min	104.84±29.41	131.24±39.06.	+24.9%

* Consumo de pienso de terneros frisonos alimentados con concentrado y paja

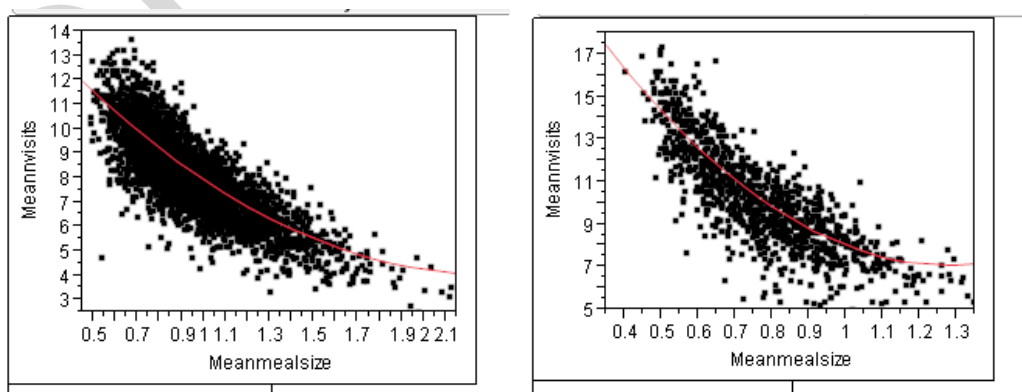
3.1.- Relación entre los parámetros de conducta alimentaria

El análisis de la relación entre el número de visitas, el tamaño de comida y la duración de la comida es interesante pues nos permite relacionar algunos mecanismos básicos de la regulación de la ingesta descritos anteriormente, así como las consecuencias prácticas de cuando dichos parámetros se ven alterados y su interacción con factores ambientales y sociales.

Cuando el tamaño de comida es pequeño el número de visitas aumenta, ello vendría explicado porque el animal regula su consumo para ingerir la cantidad diaria de nutrientes necesarios (homeostasis). En la fase de acabado, el 70-66% del número de visitas es explicado por el tamaño de comida, sin embargo, cuando el tamaño de comida supera el 1.4 kg de MS (1.75 kg de MF) en número de visitas no aumenta, y el consumo total de MS disminuye (Figuras 5 y 6). Nielsen (1999) observó una relación similar en vacas de leche siendo el punto de corte 0.75 kg de MS por comida. Esta situación se suele asociar a un proceso de acidosis ruminal o a un aumento de producción de toxinas ruminales y la consecuente respuesta inflamatoria tal y como se ha descrito anteriormente.

Otras relaciones entre los demás parámetros de conducta alimentaria no son tan fuertes. En la fase de acabado el tamaño de comida explica un 30% de la duración de la comida, la relación es curvilínea, a partir de 1.5 kg de MS, a mayor tamaño de comida, más duración. Y, durante la fase de crecimiento el número de visitas está inversamente relacionado con la duración de la comida (R^2 entre un 28% y un 50% según el sistema de registro de los datos).

Figuras 5 y 6. Relación entre el tamaño de comida (meanmealsize, kg) y el número de visitas (meannvisits, n) en la fase de acabado (Figura 5) corresponde al sistema de registro descrito en Devant et al. (2012) y la Figura 6 al sistema de registro descrito en Verdú et al. (2016)

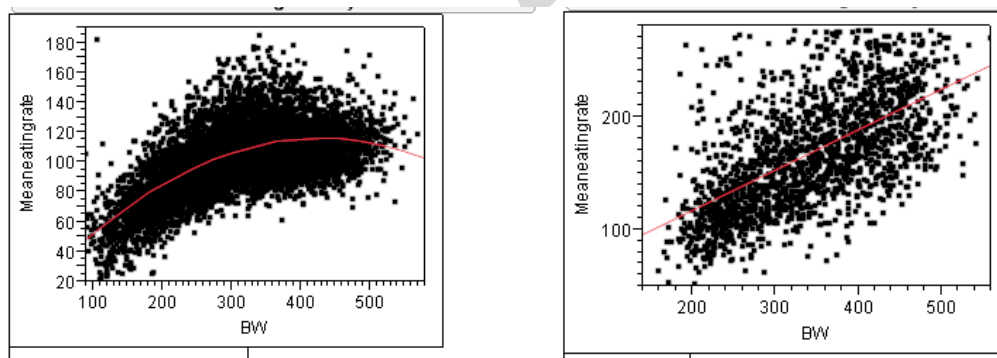


3.2.- Efecto edad o peso vivo

Observando la Tabla 1 ya se intuye que los parámetros que definen la conducta animal evolucionan con la edad (o PV). El parámetro que más claramente evoluciona con la edad es la velocidad de consumo. Analizando los datos, el PV del animal puede llegar a explicar hasta un 49% de la velocidad de consumo, al aumentar con el PV la velocidad de consumo aumenta hasta alcanzar una meseta o de forma lineal otros linealmente dependiendo del sistema de registro utilizado (Figuras 7 y 8). Con el PV también aumenta, aunque en menor grado, el número de visitas, el tamaño de comida y descende el tiempo dedicado a la comida.

Este hecho también se observa en otras especies (Nielsen, 1999) y otros trabajos con terneros (Kelly et al., 2010) y se cree que está relacionado con un aumento del tamaño de la boca aumentando el tamaño del bocado, y/o con una evolución madurativa de los tejidos digestivos con la edad o el PV que intervienen en los mecanismos de regulación del tamaño de comida descritos anteriormente. El efecto edad, como veremos posteriormente, tiene importantes implicaciones, sobretodo relacionadas con el manejo y diseño de comederos.

Figuras 7 y 8. Relación entre la velocidad de comida (mean eating rate, g/min) y el PV (kg) en la fase de acabado (Figura 7 corresponde al sistema de registro descrito en Devant et al. (2012) y la Figura 8 al sistema de registro descrito en Verdú et al. (2016).



3.3.- Variabilidad de los datos

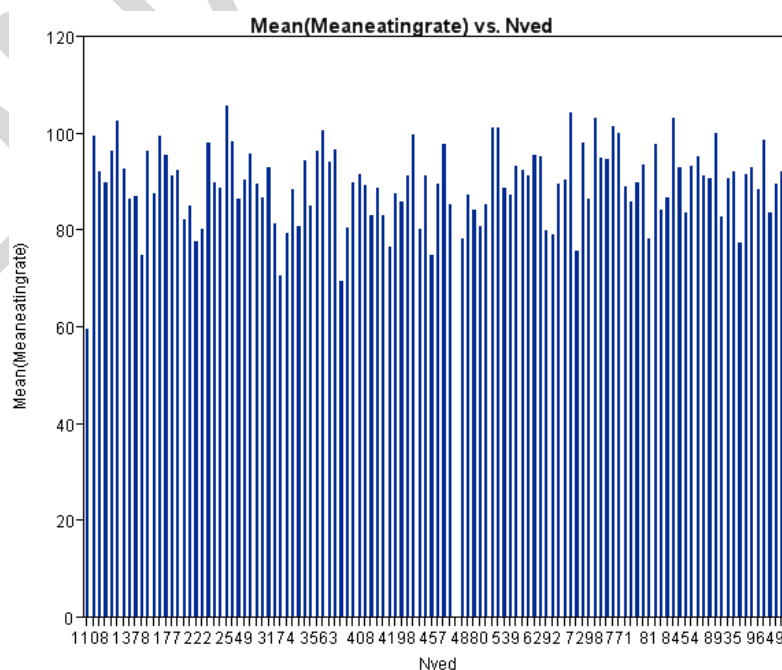
Se observa una gran variabilidad en los datos (entre sistemas de registro, entre animales y entre días), dicha variabilidad dificulta el análisis de los datos y también genera mucho debate.

La variabilidad de los datos derivada de los sistemas de registro se debe fundamentalmente a la necesidad de condensar los datos (los registros realizados cada x segundos) y/o al tipo de comedero (desperdician más o menos; Verdú et al., 2015) y/o al

tipo de ración (Verdú et al., 2016). Las antenas registran continuamente datos (cada x segundos según el sistema) y ello puede afectar al cálculo del criterio de comida y por lo tanto al tamaño de la comida, a veces el tiempo de consumo se estima con videos (Verdú et al., 2015; González et al., 2008c), y para el criterio de comida se utilizan diferentes ecuaciones (Rotger et al., 2006; Devant et al., 2012). Otro aspecto importante a tener en cuenta cuando se habla de raciones donde el concentrado y la paja se ofrecen por separado, es conocer si los datos de conducta se refieren sólo al consumo de concentrado (Devant et al., 2012; Marti et al., 2014; Verdú et al. 2015; 2016), al consumo de concentrado y paja por separado (González et al., 2008c) o conjunto (Rotger et al., 2006; Robles et al., 2007 González et al. 2008 a,b, Gonzalez et al., 2009). Otro aspecto poco estudiado y que debería considerarse es el animal (genética y sexo). Devant et al. (2012) no observaron grandes diferencias en la conducta animal entre machos enteros y castrados, aunque los castrados tenían menos variación entre días. Los datos resultantes pueden diferir mucho y ello afecta a la interpretación de los límites y su relación con los parámetros productivos y de bienestar animal.

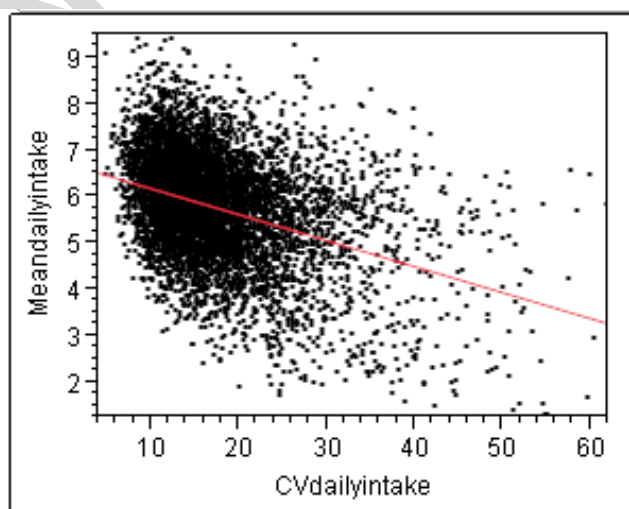
Existe una gran **variación entre animales** en la conducta alimentaria. No se conoce la causa que explica la gran variedad en la conducta alimentaria en animales de una misma franja de edad o estado fisiológico (ver Figura 9) aunque se ha registrado una gran variación genética en los genes relacionados con los mecanismos de regulación descritos anteriormente (regulación metabolismo energía y proteína, sistema inmune, receptores de gusto, etc.. Veerkamp et al., 2012; Ferreira Olivieri et al., 2016). Pero la consecuencia de este hecho es que dificulta mucho el observar diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos cuando se diseña un estudio.

Figura 9. Media de la velocidad de consumo de concentrado durante el cebo (Mean(Meaneatingrate) de cada ternero (Nved) en una nave de 100 terneros



Finalmente existe una gran variación entre días. El coeficiente de variación del consumo diario (CV del consumo) es un indicador de la variación que hay del consumo de concentrado de un mismo animal entre días. La media en cebo de ternero frisón con pienso y paja es de un 17%. En terneros que consumen dietas ricas en concentrado se observan CV parecidos (Gibb et al., 1998; Sowell et al., 1998; Hickman et al., 2002). Se cree que una de las causas son las acidosis subclínicas que cursan con descensos de consumo y conductas alimentarias erráticas (Britton and Stock, 1987; Stock et al., 1995; Schwartzkopf-Genswein et al., 2003; Bevans et al., 2005). Brown et al. (2006) observaron un coeficiente de correlación alto ($r = 0.84$) entre el pH ruminal diario más bajo y el consumo de concentrado del día siguiente. Se cree que dicha correlación ejemplariza un mecanismo de regulación; al reducir el consumo, la fermentación ruminal es menor recuperándose los niveles de pH en el rumen hasta niveles de neutralidad, ello conllevaría a los consumos irregulares entre días y en algunos casos descensos importantes de consumo en un período de tiempo. El mecanismo real se desconoce, y tal y como se ha descrito anteriormente existen muchos mecanismos que regulan el tamaño de comida no relacionados con el pH ruminal y que pueden interactuar a la vez. Ello estaría en consonancia con el hecho que estos consumos irregulares entre días también se observan en animales que no sufren acidosis ruminal. Si bien estos altos CV no son deseables porque en algunos casos se han relacionado con descensos de consumo y acidosis ruminal (Fulton et al., 1979; Britton and Stock, 1987) y menores crecimientos (Galyean et al., 1992; Stock et al., 1995), sobre todo en fases tempranas del crecimiento (Krehbiel et al., 1995; Soto-Navarro et al., 2000), en otros casos se ha observado que los animales con mayores crecimientos y eficiencias son los que tiene mayores CV de consumo (Moya et al., 2011). Con la presente base de datos tan sólo se observó en la fase de crecimiento que cuando los consumos son bajos, la variación entre días (CV) del consumo es alta ($R^2 = 13\%$, $P < 0.01$, Figura 10).

Figura 10. Relación entre el CV del consumo de concentrado (CVdailyintake, %) y el consumo total diario (Meandailyintake, kg/d)



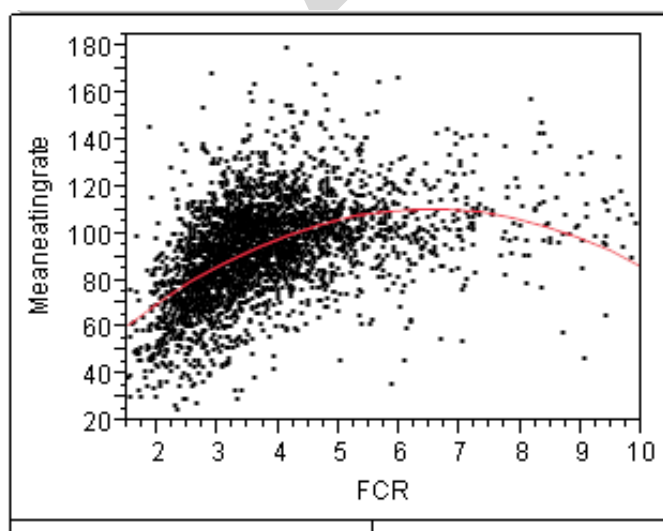
Dicha relación podría estar relacionada con animales enfermos, inadaptados, subordinados, etc que suelen comer poco y que visitan poco el comedero, cuando comen, comen grandes cantidades causando fluctuaciones en el consumo. Sin embargo, no se observó correlaciones significativas entre el CV de consumo y la eficiencia o la GMD. Schwartzkopf-Genswein et al. (2004) también observaron la eficiencia y la GMD no difería entre animales que consumían con patrones constantes (CV bajos) o fluctuantes (CV altos), e indicaban que fluctuaciones de hasta un 10% podrían no tener efectos adversos en los parámetros productivos.

3.4.- Relación entre la conducta alimentaria y los datos productivos

Uno de los aspectos para relacionar la conducta alimentaria con aspectos prácticos es conocer cómo los parámetros de conducta alimentaria se correlacionan con los datos productivos como se ha analizado anteriormente.

Con la presente base de datos, se observa, sobretodo en la fase de crecimiento, una correlación positiva del IC (y por lo tanto es negativo) con la velocidad de ingestión del concentrado (Figura 11) aunque alrededor los 110 g/min (en MF serían 125 g/min) alcanza una meseta.

Figura 11. Relación entre la velocidad consumo de concentrado (Meaneatingrate, g/d) y la conversión (FCR del concentrado, kg c/kg) durante la fase de crecimiento



Se desconocen los mecanismos por los cuales la velocidad de ingestión pueda estar relacionada con la eficiencia y porque existe una meseta, posibles hipótesis pueden ser:

1. La velocidad de ingestión está relacionada el pH ruminal y la salivación. Sauvant et al. (1999) observaron que cuando la velocidad de comida era superior a 200 g/min el pH ruminal era inferior a 5.6 y ello podría ser porque la salivación es menor

(González et al., 2012). Sin embargo, no existe una relación clara entre acidosis ruminal y eficiencia y en el presente trabajo la meseta es de 110 g/min.

2. Otra hipótesis estaría relacionada con los mecanismos que afectan al tamaño de comida y su relación con la homeostasis. Tal y como se ha mencionado anteriormente existe una relación entre los parámetros productivos y la variación genética de genes relacionados con el metabolismo energético, el sistema inmune y el sistema olfatorio, todos ellos relacionados con la regulación del tamaño de la comida. En biología cuando existe una meseta ello suele ser indicativo que hay una saturación.

Probablemente la fase de crecimiento es la más crítica porque es donde la velocidad de consumo varía más y es la fase de mayor crecimiento y eficiencia.

En la Tabla 2 se resumen estudios donde se ha evaluado diferentes factores y su impacto sobre la conducta alimentaria. La mayoría de los estudios que se resumen están realizados con machos frisonos, alojados en corrales de entre 16 y 20 animales, alimentados con concentrado y paja por separado y la conducta alimentaria corresponde al consumo de concentrado. La edad (PV), el fotoperiodo, la competencia en el comedero, el manejo de la alimentación, la concentración energética, el tipo de energía, la forma de presentación del concentrado y la suplementación con aditivos son factores que afectan la conducta. Los mecanismos de regulación de dichos factores están relacionados con los mecanismos descritos anteriormente. Quizás no se ha descrito el efecto que pueda tener el fotoperiodo; no se conocen los mecanismos, pero podrían estar relacionados con cambios en el perfil hormonal al alterar las horas de luz (prolactina y gonadotropinas; Dahl et al., 2012) modificando la conducta alimentaria (más visitas, menos cantidad); a su vez ello evite interacciones sociales y/o fermentaciones ruminales sean menos agresivas que pudieran desencadenar ansiedad y agresividad (Devant et al., 2016b).

En la mayoría de casos se observa un efecto sobre la velocidad de ingesta que podría tener, sobretodo en la fase de crecimiento, un efecto sobre la eficiencia; por ejemplo, en casos de competencia aumenta la velocidad de consumo puede tener un impacto negativo sobre la eficiencia o algunas estrategias nutricionales (aditivos, grasa vs almidones) pueden reducir la velocidad de consumo pudiendo tener un efecto beneficioso sobre la eficiencia. Otro aspecto a tener en cuenta es el riesgo que puede haber cuando hay factores de manejo que aumentan el número de visitas (fotoperiodo, tamaño de comida limitado); cuando el animal aumenta el número de visitas para compensar la reducción del tamaño de comida hay que facilitar al máximo el acceso al comedero y/o evitar que no haya pienso en los comederos para evitar que se limite el consumo y el crecimiento. Una mala calidad del granulado implica que el animal “pierda” el tiempo seleccionado reduciendo el consumo total. Igualmente, cuando el factor aumenta el tiempo de ocupación (calidad mala del granulado, harinas finas) se debe facilitar al máximo el acceso al comedero y/o evitar que no haya pienso en los comederos para evitar consumos bajos.

Tabla 2. Resumen de los factores que pueden afectar a la conducta alimentaria y sus implicaciones prácticas en terneros de cebo.

Factor	Referencia	Datos	Implicaciones
Edad	Verdú et al. (2015)	Terneros jóvenes tiene una velocidad de consumo menor y existe la facilitación social	En terneros jóvenes es necesario que dispongan de más bocas.
Fotoperiodo	Marti et al. (2017; no publicado)	El aumento de horas de luz en otoño hasta 16 horas de luz: -disminuye el tamaño de comidas -aumenta el número de visitas	La reducción del tamaño de comidas puede tener efectos beneficiosos (menos riesgos fermentaciones acidóticas). Es necesario tener presente que se debe asegurar el acceso al comedero (ratio adecuada, evitar comederos vacíos) para que no se limite el aumento de las visitas al comedero y maximizar el consumo.
Comedero y competencia	González et al. (1998c)	La reducción de la ratio número de comederos: animales aumenta la velocidad de consumo y el % de animales con un $pH > 5.8$	Si esta situación se da durante la fase de crecimiento (donde hay mayor competencia; facilitación social) se puede afectar a la eficiencia (fase donde hay una relación negativa entre la velocidad de consumo y IC). A parte, se puede aumentar el riesgo de episodios de pH bajos. El tipo de comedero afecta a la aparición de competencia y desplazamientos.
	Devant et al. (2015a)	Un aumento de la competencia aumenta la velocidad de consumo y reduce el número de visitas	
Control conducta alimentaria	Robles et al. (2007)	La oferta se distribuye 1, 2, 3 o 4 veces al día. No afecta a la conducta alimentaria.	Los animales se alojaban individualmente. En situaciones de competencia puede que los resultados sean diferentes.
	González et al. (2009)	Un retraso de la oferta de 3 horas aumenta el tamaño de la comida (sobretodo de la primera), reduce el número de visitas, y aumenta la velocidad de consumo	No hay consecuencias sobre la eficiencia en animales alojados individualmente. En situaciones de competencia puede que los resultados sean diferentes.
	Verdú et al. (2013)	Al limitar el consumo a 7.5 kg de MS al día, el consumo y su CV descendieron a pesar de aumentar el número de visitas. También se observó un descenso de los kg canal.	En ambos casos los animales no aumentan el número de visitas suficientemente para poder igualar el consumo, en consecuencia, desciende el consumo y los kg canal. Quizás al haber un

Factor	Referencia	Datos	Implicaciones
Control conducta alimentaria	Martí et al. (2014)	Al limitar el tamaño de comida a 600 g el número de comidas aumentó y descendió la velocidad de consumo; el consumo diario y los kg canal también descendieron a pesar que la eficiencia mejoró.	solo comedero el animal se cansa de ir si está ocupado. Cuando se limita el consumo diario o el tamaño de comida se debe facilitar el acceso al comedero para maximizar el consumo.
Concentración energética/ suplementación con aceites	Martí et al. (2014)	Al aumentar la concentración energética del concentrado de 3.23 a 3.43 Mcal EM/kg a través de incrementar la suplementación con aceite de palma (2.6 vs 5.2%) descendió el consumo diario a través de reducir el tamaño de comida.	Tras evaluar el coste de dicha estrategia, puede ser una buena estrategia para evitar los riesgos de episodios de acidosis ruminal al reducir el tamaño de comida.
Fuentes energéticas	Devant et al. (2013)	Al contrastar dos piensos isoenergéticos pero con diferentes niveles de almidones y grasa (51% almidones y 5.7% grasa vs 41% almidones y 7.2% grasa) a través de cambiar al inclusión de aceite de palma, maíz, y cebada se observó que durante las primeras 6 semanas cuando el nivel de almidones fue más bajo y el de grasa era más elevado la velocidad de consumo y el tamaño de comida se redujo, reduciéndose el consumo diario. Al final del estudio los kg canal también se redujeron.	Una adaptación a piensos con más grasa y más almidones parece que son necesarios para evitar descensos de consumo y beneficiarse de las mejoras de enlentecer la velocidad de consumo.
Forma de presentación	Verdú et al. (2016)	Al reducir la calidad del granulado de 98% a un 95-80% de durabilidad aumentó la duración de la comida y el tamaño de comida, se redujo la velocidad de consumo, el número de visitas y el consumo diario total. Ello se debió a la selección, los animales prefieren el granulado de buena calidad.	Si el animal selecciona, suele desperdiciar más, aumenta el tiempo de ocupación sin aumentar el consumo, pudiéndose reducir el consumo y el crecimiento. Hay que evitar granulados con mala durabilidad y en caso que no se puedan evitar se deberá aumentar el acceso/espacio del comedero para evitar descensos de consumo.

Factor	Referencia	Datos	Implicaciones
Forma de presentación	Devant et al. (2016 a)	Al reducir el tamaño medio harina (de 1.21 mm vs 0.9-0.87 mm) al no usar maíz molido a 10 mm, el consumo diario varía pero desciende el tiempo de ocupación y aumenta la velocidad de ingesta.	Cuando la harina es muy fina el animal destina más tiempo a comer, el espacio o el acceso al comedero puede limitar el consumo.
Aditivos	González et al. (2008a,b)	Al aumentar la suplementación con un 5% de bicarbonato sódico el consumo diario y el número de visitas descendió, aumentando el tamaño de y la velocidad de comida; también aumentó el consumo de paja	El objetivo de dicho trabajo era evaluar diferentes niveles de inclusión sobre el pH ruminal y la conducta, los niveles anteriores no afectaron la conducta. Un 5% no es un nivel con un coste aceptable, es posible que los altos niveles de Na hayan modificado la conducta de consumo de pienso y paja.
	Devant et al. (2014, no publicado)	La adición de levaduras vivas aumentó el número de visitas, redujo el tamaño de comida y la velocidad de consumo. Se cree que dichas levaduras pueden haber modulado el pH ruminal y/o ejercer un efecto directo sobre los mecanismos de regulación de la conducta.	Ambos aditivos ejercen un efecto sobre la conducta alimentaria, reduciendo la velocidad de ingesta y/o limitando el tamaño de comida reduciendo el riesgo de acidosis ruminal. En situaciones donde hubiera un manejo no deseable (competencia, escaso aporte de paja y/o que no hubiera concentrado en el comedero) podrían ayudar a evitar acidosis subclínicas o empeoramientos de eficiencia.
	Paniagua et al. (2017)	La adición de flavonoides redujo el porcentaje de comidas con un tamaño superior a 750g, numéricamente redujo la velocidad de consumo, también se observaron rúmenes más sanos en matadero. Se cree que la suplementación de flavonoides puede regular el pH ruminal, aumentar la producción de propionico y/o o ejercer un efecto directo sobre los mecanismos de regulación de la conducta.	

Tras analizar los diferentes trabajos (Tabla 2) las principales implicaciones prácticas serían unas recomendaciones para tener machos frisones (crecimiento de 120 a 350 kg PV y acabado de 350 a 500 kg de PV) alojados en corrales de 20 animales. Dichas recomendaciones han sido realizadas en base al tiempo de ocupación (Verdú et al., 2015), teniendo en cuenta los factores debatidos y estimando que el comedero debería estar un 30% del tiempo libre durante el día para asegurar que no se limita el acceso y/o que se provocan velocidades de consumo elevadas (> 110 g/min). A modo práctico es difícil saber si los comederos están limitando el consumo, en la fase de crecimiento, quizás observar los animales durante la mañana donde hay mayor consumo y asegurar que existe una boca libre y/o no hay animales que esperan sería un buen indicativo.

Recomendaciones

Relación número de bocas: animales con granulado

Comederos corridos: crecimiento 4:20 y acabado 1:20. Como se ceban en una fase única la relación será de 4:20, para ello se debe regular la cantidad para evitar que seleccionen y el desperdicio.

Tipo túnel: crecimiento 1:16 y acabado 1:20. Como se ceban en una única fase (crecimiento y acabado) 1:16.

Relación número de bocas: animales con harina, estrategias que aumentan tiempo consumo o necesitan de aumentar número de visitas para evitar descensos de consumo

Comederos corridos: crecimiento 5:20 y acabado 2:20. Como se ceban en una fase única se debe regular la cantidad para evitar que seleccionen y el desperdicio.

Tipo túnel: crecimiento 1:12 y acabado 1:16. Como se ceban en una única fase: 16:1.

4.- VACUNO LECHERO

La conducta alimentaria en el vacuno lechero es reflejo y consecuencia de varios aspectos. Es reflejo, por ejemplo, de la acidosis ruminal, pero a la vez la conducta alimentaria puede ser la causa de la acidosis ruminal (en el caso que las vacas escogen los distintos componentes de la ración en cambio de consumirlos todos a la vez). Por lo tanto, al evaluar e intentar modificar la conducta alimentaria hay que tener claro si la conducta observada es la causa o la consecuencia del parámetro que se pretenda abordar (e.g., producción de leche, composición, etc...). En teoría, el objetivo de un buen sistema de alimentación (compuesto por la ración, la densidad animal, y el modo en que se presenta la ración) debería resultar en la máxima ingestión de materia seca y la mayor transformación de ésta en leche.

En el vacuno lechero adulto se han realizado esfuerzos para asociar la conducta alimentaria con la productividad para así poder dar recomendaciones sólidas acerca de

cómo alimentar el vacuno lechero. Está claro que lo más importante para la producción lechera es el consumo de nutrientes, pero el modo en que estos nutrientes son consumidos pueden afectar la propia ingestión de materia seca (Dado and Allen, 1994), el comportamiento alimentario (Nielsen, 1999), y la fermentación ruminal (Allen, 1997). Es más, el tiempo dedicado a comer y a rumiar por unidad de alimento ingerido en el vacuno lechero ha sido positivamente correlacionado con la digestibilidad ruminal de la fibra (Aikman et al., 2008).

En un archivo que recopila datos de consumo y comportamiento alimentario del IRTA de 267 vacas durante un periodo de 9 meses, se encontró una relación positiva entre el consumo de materia seca y el tamaño de la comida (el consumo diario de 1 kg adicional de MS se asociaba con 300 g más tamaño de comida), pero no hubo ninguna relación entre la frecuencia de visita al comedero, la duración de las visitas, ni la velocidad de consumo. Por tanto, parece que lo importante en el vacuno lechero es asegurar que las vacas puedan acceder al comedero cuantas veces quieran para poder así aumentar el consumo total de materia seca. Estos resultados son parecidos a los que reportaron Huzzey et al. (2007) que también demostraron una relación positiva entre ingestión de materia seca y tiempo de consumo (en nuestro caso, al aumentar el número de visitas sin alterar ni la duración ni el ritmo de ingestión durante la visita, también aumentaba el tiempo que la vaca dedicaba a ingerir materia seca). Sin embargo, la relación entre el número de visitas y la ingestión total de materia seca es menos consistente en la literatura. Dado and Allen (1994) también reportaron una relación positiva entre IMS y frecuencia de visitas, pero Beauchemin et al. (2009) describieron un aumento del tamaño de comida con el aumento de IMS, sin alteración de la frecuencia de visitas, y Azizi et al. (2009) describieron una asociación positiva entre la duración de la visita y el tiempo de ingestión con la IMS. Esta discrepancia de resultados podría ser consecuencia de niveles de producción, tipo de ración, paridad, etc...

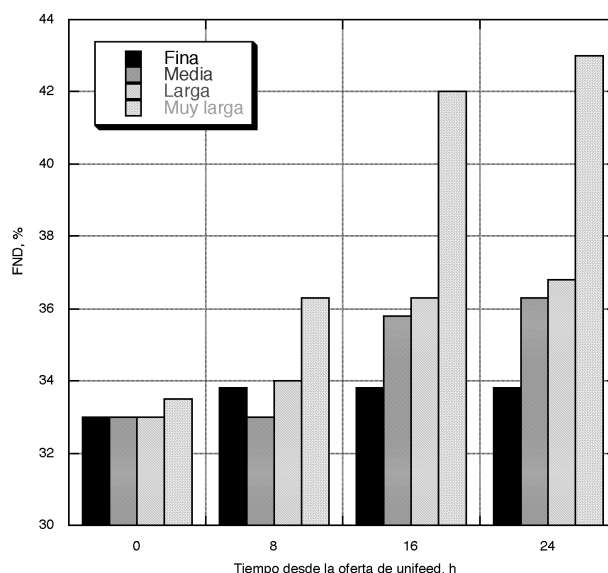
En nuestra base de datos también observamos una relación positiva ($P < 0.001$) entre el tamaño de comida, así como el número de comidas al día con el contenido de proteína en leche, pero en cambio no encontramos ninguna relación entre el comportamiento alimentario y el contenido de grasa en leche. Con estos resultados en mente, parece que lo primordial en el vacuno lechero es gestionar el comedero de manera que cuando una vaca acceda al comedero encuentre comida a discreción.

En nuestra base de datos, cuando se evaluó la relación entre el CV en el consumo de MS y la eficiencia de producción se encontró una tímida relación negativa (por cada aumento unitario de CV en el consumo de MS, la eficiencia de producción disminuye 0.013 unidades) pero no se encontró relación entre la eficiencia de producción de leche y el tamaño de comida, ni la variación en el ritmo de ingestión.

Otro aspecto alimentario con un importante efecto en el comportamiento de ingestión es el tamaño de partícula de los ingredientes que la componen. Einarson et al. (2004) reportaron un descenso de la grasa en leche y una mayor selección en contra de las

partículas de gran tamaño al comparar una ración con heno de alfalfa molido fino (10 mm) o con heno de alfalfa molido de forma grosera (19 mm) y un alto nivel de concentrado (58% de la MS), pero no observaron diferencias cuando la ración era rica en forraje (59% de la MS). Los autores se sorprendieron por el aumento de grasa en leche al reducir el tamaño de partícula con la ración alta en concentrado, pues contradice el modelo de la fibra físicamente efectiva (feFND) propuesto por Mertens (1997). Sin embargo, otros autores (Kononoff et al., 2003) también describieron incrementos en el contenido de grasa en leche con menores tamaños de partícula al comparar una ración base de ensilado de maíz con una media geométrica de las partículas de 8,8 o 7,8 mm. Estos autores describieron una mayor facilidad de las vacas por separar y selección contra las partículas de gran tamaño cuando las raciones son ricas en concentrado. Este aumento de grasa en leche, estuvo claramente relacionado con una menor selección de las distintas partículas de la ración. Irónicamente, las raciones molidas de forma grosera resultaron en un consumo de partículas pequeñas (< 1,18 mm) mayor que el consumo observado con las raciones con un tamaño medio de partícula más fino debido a la selección de partículas por parte de las vacas. Por tanto, como ilustrada el estudio de Kononoff et al. (2003), las vacas tiene una gran predisposición a seleccionar a favor de partículas finas y a rechazar partículas fibrosas, y esta selección aumenta conforme el tamaño de partícula medio de la ración aumenta (Figura 12). Por lo tanto, para minimizar el comportamiento de selección, es recomendable picar toda la ración a tamaño máximo de 2.5 cm.

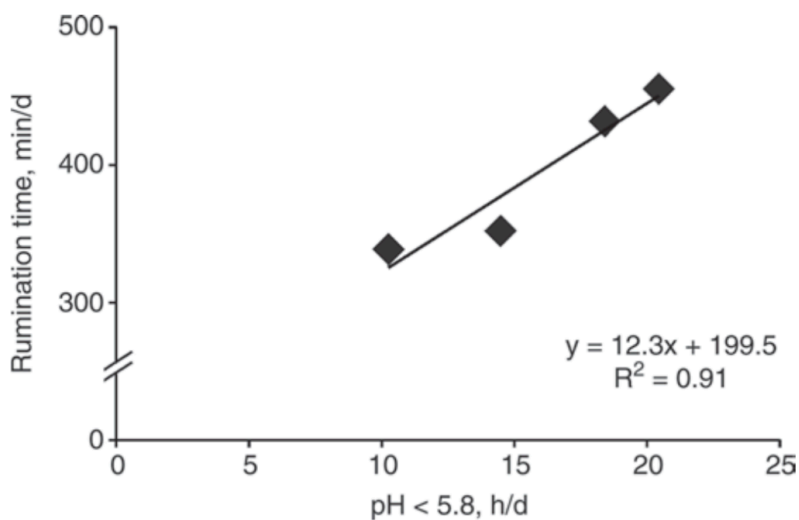
Figura 12.- Relación entre el tamaño de partícula medio de la ración y el contenido de FND en la ración del pesebre de las vacas conforme avanza el día. (Adaptado de Kononoff et al., 2003)



Por último, y aunque no forma parte directa del comportamiento alimentario, la rumia y el tiempo de la vaca dedica a rumiar se ha correlacionado con la salud ruminal y en especial la acidosis ruminal. Sin embargo, es importante tener en cuenta que valorar la

rumia a nivel de campo como indicador de acidosis ruminal es muy difícil, pues en la mayoría de ocasiones, las vacas con mayor acidosis ruminal son las que más comen (o han comido) y por tanto las que más rumian (Figura 13). Lo correcto sería expresar el tiempo de rumia en función de la IMS (es decir minutos de rumia/kg de IMS).

Figura 13. Relación entre el número de horas con pH ruminal por debajo de 5.8 (acidosis ruminal) y minutos diarios dedicados a la rumia. Adaptado de DeVries et al. (2009).



5.- CONCLUSIONES

La regulación de la conducta alimentaria es un proceso complejo donde intervienen mecanismos que integran interacciones de factores nutricionales y sociales. En la presente revisión queda reflejado que la edad, el estado fisiológico, el tipo de ración y las instalaciones modifican la conducta alimentaria. El conocimiento de la conducta alimentaria permite establecer recomendaciones centradas en cada fase productiva y tipología de ración para optimizar la producción y mejorar el bienestar animal.

Agradecimientos

Ante todo, agradecer a todos nuestros compañeros (Bruna Quintana, Anna Solé, Sonia Martí, Marçal Verdú, y Isabel Guasch, Guillermo Elcoso) que han contribuido en la obtención de los datos, sólo las personas que han analizado videos o han trabajado con este tipo de registros saben a que nos referimos. También agradecer a ANEMBE y a FEDNA la invitación y “obligarnos” a poner orden en un tema tan apasionante como es la conducta alimentaria.

6.- REFERENCIAS

- AIKMAN, P., C. REYNOLDS, and D. BEEVER. 2008. Diet digestibility, rate of passage, and eating and rumination behavior of Jersey and Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 91:1103-1114.
- ALLEN, M. S., 1997. Relationship between fermentation acid production in the rumen and the requirement for physically effective fiber. *J. Dairy Sci.* 80:1447-1462.
- ALLEN, M. S. 2000. Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 83: 1598-1624.
- ANDERSEN, P.H., B. BERGELIN, and K.A. CHRISTENSEN. 1994. Effect of feeding regimen on concentration of free endotoxin in ruminal fluid of cattle. *J. Anim. Sci.* 72:487-491.
- ANDERSEN P.H., 2003. Bovine Endotoxemia – Some Aspects of Relevance to Production Diseases. A Review. *Acta Vet. Scand.* 44 (Suppl. 1) :S141.
- AZIZI, O., O. KAUFMANN, L., HASSELMANN. 2009. Relationship between feeding behavior and feed intake of dairy cows depending on their parity and milk yield. *J. Dairy Sci.* 122:156-161.
- BACH, A., C. IGLESIAS, AND M. DEVANT. 2007. Daily rumen pH pattern of loose-housed dairy cattle as affected by feeding pattern and live yeast supplementation. *Anim. Feed Sci. Technol.* 136:146–153. doi:10.1016/j.anifeedsci.2006.09.011.
- BEAUCHEMIN, K. A., M. MAEKAWA, AND D. A. CHRISTENSEN. 2002. Effect of diet and parity on meal patterns of lactating dairy cows. *Can. J. Anim. Sci.* 82:215-223.
- BEVANS et al. 2005. Effect of rapid or gradual grain adaptation on subacute acidosis and feed intake by feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 83: 1116-1132.
- BRITTON, R. A., and R. A. STOCK. 1987. Acidosis, rate of starch digestion and intake. *Okla. Agr. Exp. Sta. Res. Rep.* MP-121:125–137.
- BROWN, M. S., C. H. PONCE, and R. PULIKANTI. 2006. Adaptation of beef cattle to high-concentrate diets: Performance and ruminal metabolism. *J. Anim. Sci.* 84(13 Suppl.): E25–E33.
- COOPER, R. J., T. J. KLOPFENSTEIN, R. A. STOCK, C. T. MILTON, D. W. HEROLD, and J. C. PARROTT. 1999. Effects of imposed feed intake variation on acidosis and performance of finishing steers. *J. Anim. Sci.* 77:1093–1099.
- DAHL, G. E., S. TAO, and I. M. THOMPSON. 2012. Lactation biology symposium: Effects of photoperiod on mammary gland development and lactation. *J. Anim. Sci.* 90:755-760.
- DEVANT, M., S. MARTI, AND A. BACH. 2012. Effects of castration on eating pattern and animal activity of Holstein bulls fed high-concentrate rations under commercial conditions. *J. Anim. Sci.* 90:4505–4513.
- DEVANT, M., B. QUINTANA, A. BACH. 2013. Effects of energy source (starch or fat) on performance, eating pattern, and carcass quality of Holstein bulls fed high-concentrate rations during the finishing period. *J. Dairy Sci.* 96 (E-Suppl. 1). 521.

- DEVANT, M. et al. 2014. Effects of *Saccharomyces cerevisiae* on eating pattern, performance, rumen health and carcass classification in Holstein bulls fed high-concentrate diets. Report.
- DEVANT, M., A. BACH, M. VERDÚ. 2015A. Effects of different number of animals relative to a single feeding space on performance and behavior in Holstein bulls fed high-concentrate diets. *J. Dairy Sci.* 98 (Suppl.2): 17.
- DEVANT, M., A. BACH, J. RIBÓ, A. SOLÉ. 2015b. Interactions between physical form of the feed and previous experience on concentrate spillage in Holstein calves. *J. Dairy Sci.* 98 (Suppl.2): 442.
- DEVANT, M., B. QUINTANA, A. SOLE, and A. BACH. 2016A. Effect of particle size of a mash concentrate on behavior, rumen fermentation, and macroscopic and microscopic lesions of the digestive tract in in Holstein bulls fed high-concentrate diets. *J. Dairy Sci.* 99 (Suppl.1): 694.
- DEVANT, M., G. B. PENNER, S. MARTI, B. QUINTANA, F. FÁBREGAS, A. BACH, and A. ARÍS. 2016b. Behavior and inflammation of the rumen and cecum in Holstein bulls fed high-concentrate diets with different concentrate presentation forms with or without straw supplementation. *J. Anim. Sci.* 94:3902-3917.
- DEVRIES, T. J., K. A. BEAUCHEMIN, F. DOHME, and K. S. SCHWARTZKOPFGENSWEIN. 2009. Repeated ruminal acidosis challenges in lactating dairy cows at high and low risk for developing acidosis: Feeding, ruminating, and lying behavior. *J. Dairy Sci.* 92:5067-5078.
- DeVries, T.J., and M.A.G. von Keyserlingk. 2009a. Short communication: Feeding method affects the feeding behavior of growing dairy heifers. *J. Dairy Sci.* 92:1161–1168. doi:10.3168/jds.2008-1314.
- DEVRIES, T.J., and M.A.G. VON KEYSERLINGK. 2009b. Competition for feed affects the feeding behavior of growing dairy heifers. *J. Dairy Sci.* 92:3922–3929. doi:10.3168/jds.2008-1934.
- DADO, R. G., and M. S. ALLEN. 1994. Variation in and relationships among feeding, chewing, and drinking variables for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 77:132-144.
- DOUGHERTY RW, COBURN KS, COOK HM, ALLISON MJ. 1975. Preliminary study of appearance of endotoxin in circulatory system of sheep and cattle after induced grain engorgement. *Am. J. Vet. Res.* 36:831–832.
- EINARSON, M. S., J. C. PLAIZIER, and K. M. WITTENBERG. 2004. Effects of barley silage chop length on productivity and rumen conditions of lactating dairy cows fed total mixed ration. *J. Dairy Sci.* 87:2987–2996.
- FERREIRA OLIVIERI, B., M. E. ZERLOTTI MERCADANTE, J. NOELY DOS SANTOS GONÇALVES CYRILLO, R. H. BRANCO, S. FIGUEIREDO MARTINS BONILHA, L- GALVAO DE ALBURQUERQUE, R. MEDEIROS DE OLIVEIRA SILVA, F. BALDI. 2016. Genomic regions associated with feed efficiency indicator traits in an experimental Nellore cattle production. *OPlos One.* 10: 1371 (1-19).

- FULTON, W. R., T. J. KLOPFENSTEIN, and R. A. BRITTON. 1979. Adaptation to high concentrate diets by beef cattle. I. Adaptation to corn and wheat diets. *J. Anim. Sci.* 49:775–784.
- GALYEAN, M. L., K. J. MALCOM, D. R. GARCIA, and G. D. POLSIPHER. 1992. Effects of varying the pattern of feed consumption on performance by programmed-fed steers. *Clayton Livest. Res. Ctr. Prog. Rep. No. 78.*
- GIBB, D. J., T. A. MCALLISTER, C. HUISMA, and R. D. WIEDMEIER. 1998. Bunk attendance of feedlot cattle monitored with radio frequency technology. *Can. J. Anim. Sci.* 78:707–710.
- GONZÁLEZ, L. A., A. FERRET, X. MANTECA, and S. CALSAMIGLIA. 2008a. Increasing sodium bicarbonate level in high-concentrate diets for heifers. I. Effects on intake, water consumption and ruminal fermentation. *Animal.* 2: 705-712.
- GONZÁLEZ, L. A., A. FERRET, X. MANTECA, and S. CALSAMIGLIA. 2008b. Increasing sodium bicarbonate level in high-concentrate diets for heifers. I. Effects on chewing and feeding behaviours. *Animal.* 2: 713-722.
- GONZÁLEZ, L. A., A. FERRET, X. MANTECA, J. L. RUIZ DE LA TORRE, S. CALSAMIGLIA, M. DEVANT, and A. BACH. 2008c. Performance, behavior, and welfare of Friesian heifers housed in pens with 2, 4 and 8 individuals per concentrate feeding place. *J. Anim. Sci.* 86: 1446-1458.
- GONZÁLEZ, L.A., L. B. CORREA, A. FERRET, X. MANTECA, J. L. RUÍZ-DE-LA TORRE, and S. CALSAMIGLIA. 2009. Intake, water consumption, ruminal fermentation, and stress response of beef heifers fed after different lengths of delays in the daily feed delivery time. *J. Anim. Sci.* 87: 2709-2718.
- GONZÁLEZ, L. A., X. MANTECA, S. CALSAMIGLIA, K. S. SCHWARKOPF-GENSWEIN, A. FERRET. 2012. Ruminal acidosis in feedlot cattle: interplay between feed ingredients, rumen function and feeding behavior (a review). *Anim. Feed Sci. Technol.* 172: 66-79.
- GRETER, A.M., K.E. LESLIE, G.J. MASON, B.W. MCBRIDE, and T.J. DEVRIES. 2010. Effect of feed delivery method on the behavior and growth of dairy heifers. *J. Dairy Sci.* 93:1668–1676.
- HICKMAN, D. D., T. A. MCALLISTER, K. S. SCHWARTZKOPF-GENSWEIN, D. H. CREWS, JR., C. R. KREHBIEL, and R. SILASI. 2002. Relationship between feeding behavior and performance of feedlot steers. *J. Anim. Sci.* 80(Suppl. 1):15. (Abstr.)
- HUZZEY, J. M., D. M. VEIRA, D. M. WEARY, and M. A. G. VON KEYSERLINGK. 2007. Parturition behavior and DMI identify dairy cows at risk for metritis. *J. Dairy Sci.* 90:3220-3233.
- KHAN, M.A., A. BACH, L. CASTELLS, D.M. WEARY, and M.A.G. VON KEYSERLINGK. 2014. Effects of particle size and moisture levels in mixed rations on the feeding behavior of dairy heifers. *ANM.* 1–6. doi:10.1017/S1751731114001487.
- KELLY, A. K., M. MCGEE, D. H. CREWS, JR., A. G. FAHEY, A. R. WYLIE, and D. A. KENNY. 2010. Effect of divergence in residual intake on feeding behavior, blood

- metabolic variables, and body composition traits in growing beef heifers. *J. Anim. Sci.* 2010; 88: 109-123.
- KHAFIPOUR, E. et al. 2009a. A grain-based subacute ruminal acidosis challenge causes translocation of lipopolysaccharide and triggers inflammation. *J. Dairy Sci.* 92: 1060-1070.
- KHAFIPOUR E., KRAUSE D.O., PLAIZIER J.C. 2009b. Alfalfa pellet-induced subacute ruminal acidosis in dairy cows increases bacterial endotoxin in the rumen without causing inflammation. *J Dairy Sci.* 92:1712-24.
- KLEEN, J. L. et al. 2003. Subacute ruminal acidosis (SARA): a review. *J. Vet. Med. A.* 50: 406-414.
- KONONOFF, P.J., A.J. HEINRICHS, and H.A. LEHMAN. 2003. The effect of corn silage particle size on eating behavior, chewing activities, and rumen fermentation in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* doi:10.3168/jds.S0022-0302(03)73937-X.
- KREHBIEL, C. R., R. A. BRITTON, D. L. HARMON, T. J. WESTER, and R. A. STOCK. 1995. The effects of ruminal acidosis on volatile fatty acid absorption and plasma activities of pancreatic enzymes in lambs. *J. Anim. Sci.* 73:3111–3121.
- KRUSEMARK, E. A., L. R. NOVAK, D. R. GITELMAN, and W. LI. 2013. When the sense of smell meets emotion: anxiety-state-dependent olfactory processing and neural circuitry adaptation. *J Neuro.* 33: 15324-15332.
- LEE, A. A., and C. OWYANG. 2007. Sugars, sweet taste receptors, and brain responses. *Nutrients.* 9: 653 (1-13).
- LOPER, H. B., M. LASALA, C. DOTSON, and N. STEINLE. 2015. Taste perception, associated hormonal modulation, and nutrient intake. *Nutrition reviews.* 73: 83-91.
- LOWE, M. R., and M. L. BUTRYN. 2007. Hedonic hunger: a new dimension of appetite? *Physiology & Behavior:* 91: 432-439.
- MARTI, S., M. PÉREZ, A. ARIS, A. BACH and M. DEVANT. 2014. Effect of dietary energy density and meal size on growth performance, eating pattern, and carcass and meat quality in Holstein steers fed high-concentrate diets. *J Anim. Sci.* 92:3515-3525.
- MARTI, S. C. MEDINYA, A. PÉREZ, M. VERDÚ, y M. DEVANT. 2017. Estudi preliminar sobre la influència de les hores de llum en l'adg. Report.
- MILLER-CUSHON, E.K., C. MONTORO, A. BACH, and T.J. DEVRIES. 2013. Effect of early exposure to mixed rations differing in forage particle size on feed sorting of dairy calves. *J. Dairy Sci.* 96:3257–3264. doi:10.3168/jds.2012-6415.
- MILLER-CUSHON, E.K., M. TERRÉ, T.J. DEVRIES, and A. BACH. 2014. The effect of palatability of protein source on dietary selection in dairy calves. *J. Dairy Sci.* 97:4444–4454. doi:10.3168/jds.2013-7816.
- MERTENS, D. R. 1996. Methods in modelling feeding behaviour and intake in herbivores. *Ann. Zootech.* 45: 153-164.
- MERTENS, D.R. 1997. Creating a System for Meeting the Fiber Requirements of Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 80:1463–1481. doi:10.3168/jds.S0022-0302(97)76075-2.

- MONTORO, C., I.R. IPHARRAGUERRE, and A. BACH. 2012. Blocking opioid receptors alters short-term feed intake and oro-sensorial preferences in weaned calves. *J. Dairy Sci.* 95:2531–2539. doi:10.3168/jds.2011-5053.
- MOYA, D., et al. 2011. Feeding behavior and ruminal acidosis in beef cattle offered a total mixed ration or dietary components separately. *J. Anim. Sci.* 89: 520-530.
- MOYA, D., M. L. HE, L. JIN, Y. WANG, G. B. PENNER, K. S. SCHWARTZ-KOPF-GENSWEIN, and T. A. McALLISTER. 2015. Effect of grain type and processing index on growth performance, carcass quality, feeding behavior, and stress response of feedlot steers. *J. Anim. Sci.* 93: 3091-3100.
- NIELSEN, B. L. 1999. On the interpretation of feeding behavior measures and the use of feeding rate as an indicator of social constraint. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 63: 79-91.
- OWENS, F. N., D. S. SECRIST, W. J. HILL, and D. R. GILL. 1998. Acidosis in cattle: a review. *J. Anim. Sci.* 76: 275-286.
- PALOUZIER-PAULIGNAN, B., M.-C. LACROIX, P. AIMÉ, C. BALY, M. CAILLOL, P. CONGAR, A. K. JULLIARD, K. TUCKER, and D. A. FADDOOL. 2012. Olfaction under metabolic influences. *Chem. Senses.* 37: 769-797.
- PANIAGUA, M., F. J. CRESPO, A. BACH, M. DEVANT. 2017. The supplementation with a flavonoid extract from *Citrus aurantium* reduces concentrate intake and improves rumen health parameters in Holstein bulls fed high-concentrate diets when fed in a single-space feeder. *J. Anim. Sci.* 95 (Suppl.4): 319.
- PLAIZIER, J. C., E. KHAFIPOUR, S. LI, G. N. GOZHO, and D. O. KRAUSE. 2012. Subacute ruminal acidosis (SARA), endotoxins and health consequences. *Anim. Feed Sci. Technol.* 172: 9-21.
- PROVENZA, F. D. 1995. Postingestive feedback as an elementary determinant of food preference and intake in ruminants. *J. Range Manage.* 48: 2-17.
- ROBLES, V., L. A. GONZÁLEZ, A. FERRET, X. MANTECA, and S. CALSAMIGLIA. 2007. Effects of feeding frequency on intake, ruminal fermentation, and feeding behavior in heifers fed high-concentrate diets. *J. Anim. Sci.* 85: 2583-2547.
- ROTGER, A., A. FERRET, X. MANTECA, J. L. RUIZ DE LA TORRE, and S. CALSAMIGLIA. 2006. Effects of dietary nonstructural carbohydrates and protein sources on feeding behavior of tethered heifers fed high-concentrate diets. *J. Anim. Sci.* 84: 1197-1204.
- SAMUEL, B. S. et al. 2008. Effects of the gut microbiota on host adiposity are modulated by the short-chain fatty-acid binding G protein-coupled receptor, Gpr41. *Proc. Natl. Acad. Sci, USA.* 105: 16767-16772.
- SAUVANT, D. et al. 1999. Les composants de l'acidose ruminale et les effets acidogènes des rations. *INRA Prod. Anim.* 12 (1): 49-60.
- SCHWARTZKOPF-GENSWEIN, K. S., K. A. BEAUCHEMIN, D. J. GIBB, D. H. CREWS, JR., D. D. HICKMAN, M. STREETER, and T. A. McALLISTER. 2003. Effect of bunk management on feeding behavior, ruminal acidosis and performance of feedlot cattle: A review. *J. Anim. Sci.* 81(2 Suppl.):E149–E158.
- SCHWARTZKOPF-GENSWEIN, K. S., K. A. BEAUCHEMIN, T. A. McALLISTER, D. J. GIBB, M. STREETER, and A. D. KENNEDY. 2004. Effect of feed delivery

- fluctuations and feeding time on ruminal acidosis, growth performance, and feeding behavior of feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 82:3357–3365.
- SCHWARTZKOPF-GENSWEIN, K. S., D. D. HICKMAN, M. A. SHAH, C. R. KREHBIEL, B. M. A. GENSWEIN, R. SILASI, D. G. GIBB, D. H. CREWS and T. A. MCALLISTER. 2011. Relationship between feeding behavior and performance of feedlot steers fed barley-based diets. *J. Anim. Sci.* 89: 1180-1192.
- SOTO-NAVARRO, S. A., G. C. DUFF, C. R. KREHBIEL, M. L. GALYEAN, and K. J. MALCOLM-CALLIS. 2000. Influence of feed intake fluctuation, feeding frequency, time of feeding and rate of gain on performance by limit-fed steers. *Prof. Anim. Sci.* 16:13–20.
- SOWELL, B. F., J. G. P. BOWMAN, M. E. BRANINE, and M. E. HUBBERT. 1998. Radio frequency technology to measure feeding behavior and health of feedlot steers. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 59:277–284.
- STOCK, R., T. KLOPFENSTEIN and D. SHAIN. 1995. Feed intake variation. *Proc. Symp: Feed Intake by Feedlot Cattle.* Okla. State Univ., Stillwater. P-942:56–59.
- Van Nevel, C. J., D. I. Demeyer, and H. K. Henderickx. 1971. Effect of fatty acid derivatives on rumen methane and propionate in vitro. *Appl. Microbiol.* 21:365–366.
- VEERKAMP, R. F., M. P. COFFEY, D. P. BERRY, Y. DE HAAS, E. STRANDBERG, H. BOVENHUIS, M. P. L. CALUS, and E. WALL. 2012. Genome-wide associations for feed utilization complex in primiparous Holstein-Friesian dairy cows from experimental research herds in four European countries. *Animal.* 6: 1738-1749.
- VERDÚ, M., A. BACH, M. DEVANT. 2013. Individual limitation of total daily concentrate consumption reduces between-day variation of concentrate consumption and carcass weight in Holstein bulls fed high-concentrate rations during the finishing period. *J. Dairy Sci.* 96 (E-Suppl. 1) .716.
- VERDÚ, M., A. BACH, and M. DEVANT. 2015. Effect of concentrate feeder design on performance, eating and animal behavior, welfare, ruminal health, and carcass quality in Holstein bulls fed high-concentrate diets. *J. Anim. Sci.* 93: 6: 3018-3033.
- VERDÚ, M., A. BACH, and M. DEVANT. 2016. Effect of physical form of concentrate on performance, eating pattern, and feed preference in Holstein bulls fed a finishing high-concentrate diet. *Anim. Feed Sci. Technol.* 219: 257:267.
- VILLALABA, J. J., F. D. PROVENZA, and R. STOTT. 2014. Rumen distensión and contraction influence feed preference by sheep. *J. Anim. Sci.* 87: 340-350.
- WANG, A., Z. GU., B. HEID, R. M. AKERS, and H. JIANG. 2009. Identification and characterization of the bovine G protein-coupled receptor GPR41 and CPR43 genes. *J. Dairy Sci.* 92: 2696-2705.
- WEARY, D. M., J. M. HUZZEY, and M. A. G. VON KEYSERLINGK. 2009. Board-invited review: using behavior to predict and identify ill health in animals. *J. Anim. Sci.* 87: 770-777.