



Empleo de ácidos grasos en vacas de leche, un nuevo paso hacia la alimentación de precisión

En este artículo pongo el foco en la importancia de la grasa como un nutriente esencial en la alimentación de las vacas, con especial atención al ácido palmítico, y describo los diferentes tipos existentes para poder incorporarla con mayor precisión a la ración de nuestros animales.

Adrián González Garrido
Especialista en nutrición de vacuno lechero

INTRODUCCIÓN

La investigación en nutrición bovina nos guía por la alimentación de precisión para ser más eficientes gracias al conocimiento cada vez más profundo de los nutrientes y por el desarrollo de laboratorios y

herramientas informáticas que facilitan su aplicación práctica.

En los últimos cuarenta años hemos aprendido a dividir cada grupo de nutrientes en sus partes más pequeñas y comprender cuál es su comportamiento en las vacas y cuántas

son las necesidades de estas en función de su edad, tamaño, actividad, condiciones medioambientales y estado productivo.

En alimentación proteica ya no trabajamos con proteína bruta sino con proteína metabolizable, buscando su equilibrio en aminoácidos y enriqueciendo la ración con determinados aminoácidos si la fase productiva lo requiere.

Respecto a la energía, analizamos las necesidades específicas tanto de carbohidratos fibrosos como no fibrosos, determinando el tipo de carbohidratos en cada grupo y su digestibilidad y ya no hablamos de fibra bruta sino de FND digestible, y no valoramos los CNF sino sus componentes como el almidón y los azúcares, y los diferenciamos además según sus características de fermentación ruminal.

Sin embargo, el nutriente más energético, la grasa, no ha recibido tanta atención y lo seguimos viendo solo como un aporte extra de energía necesario para que las vacas pierdan menos peso posparto o para evitar la penalización por calidades que sufre el ganadero cuando el contenido graso de la leche está por debajo de 3,7 %.

Si queremos ser igual de precisos con la alimentación grasa que con la proteica o de carbohidratos, debemos conocer en profundidad el comportamiento de cada tipo que incorporamos a las raciones, porque no todas son iguales ni funcionan o se aprovechan de la misma forma.

► DEBEMOS CONOCER EN PROFUNDIDAD EL COMPORTAMIENTO DE CADA TIPO DE GRASA QUE INCORPORAMOS A LAS RACIONES

Tabla 1. Principales ácidos grasos

Nombre trivial	Átomos de carbono	Dobles enlaces	Punto de fusión
Saturados			
Láurico	12	-	44,2
Mirístico	14	-	54,0
Palmitico	16	-	63,0
Esteárico	18	-	69,6
Araquídico	20	-	76,5
Lignocérico	24	-	86,0
Insaturados			
Palmitoleico	6	1	-0,5
Oleico	18	1	13,4
Linoleico	18	2	-3,0
Linolénico	18	3	-11,0
Araquidónico	20	4	-49,5

GRASAS

Químicamente las grasas son los compuestos orgánicos que se extraen con éter. Las más abundantes, los triglicéridos, están formadas por un esqueleto de glicerol con tres átomos de carbono y tres ácidos grasos, unidos cada uno a un carbono. Los

ácidos grasos se diferencian por el número de carbonos y por el número de dobles enlaces o insaturaciones que hay en su estructura, siendo saturados los que no tienen dobles enlaces e insaturados los que tienen, al menos, un doble enlace.

Hidrólisis y biohidrogenación ruminal

Cuando los triglicéridos llegan al rumen, las bacterias y los protozoos rompen su estructura (hidrólisis) y separan los ácidos grasos del glicerol. Así, el rumen es el primer sitio de hidrólisis de las grasas, al ►►

**Líder mundial
en producción de aceite de palma y
ácidos grasos sostenibles**





gar

agribusiness and food

C/ General Martínez Campos, 44
28010 Madrid
910 607 316
comercial.ib@sinar-mas-agri.com
www.goldenagri.com.sg

contrario de lo que ocurre con los monogástricos que están en el intestino delgado.

El glicerol liberado en el rumen es rápidamente fermentado a ácidos grasos volátiles (Drackley, 2000). Los ácidos grasos, sin embargo, no son fermentados en el rumen, al no ser una fuente de energía para el ecosistema microbiano ruminal, pero los ácidos grasos insaturados son tóxicos para los microorganismos del rumen y como mecanismo de defensa los convierten a saturados (no tóxicos) a través de la biohidrogenación (saturación).

Como consecuencia de la acción de la hidrólisis y la biohidrogenación de los microorganismos ruminales, alrededor del 85 % de la grasa ingerida por los rumiantes llega al intestino delgado como ácidos grasos adheridos a la superficie de las partículas de alimento, la gran mayoría saturados.

Digestión intestinal

En el duodeno, la bilis y los jugos pancreáticos son esenciales para la absorción de los ácidos grasos en el intestino delgado, ayudando a su emulsión formando gotas de grasa muy pequeñas.

La formación de las micelas es indispensable para que los ácidos grasos hidrofóbicos puedan atravesar la película acuosa que se encuentra en la superficie de la mucosa intestinal, y, de este modo, los ácidos grasos difunden a través de la membrana celular dentro de la célula intestinal (enterocito). Una vez dentro, son reesterificados con glicerol formando nuevos triglicéridos. Para que estos puedan llegar desde los enterocitos a otros órganos del cuerpo, deben ser empaquetados en una forma estable que facilite su transporte; para ello se rodean de lipoproteínas, formando quilomicrones, que son secretados desde las células intestinales, y a través del sistema linfático llegan a la circulación venosa por el conducto torácico.

Las lipoproteínas o VLDL, que también son secretadas a la circulación sanguínea desde el hígado, son el medio de transporte de los ácidos grasos de cadena larga hasta los órganos de destino, donde serán liberados del glicerol gracias a la enzima lipoproteína lipasa (LPL).

Un aspecto muy importante es que la actividad de la LPL varía de unos tejidos a otros según el estado nutricional, actividad o momento productivo, y que es regulado por la insulina y otras hormonas. Así, por ejemplo, la LPL aumenta marcadamente su actividad en el tejido adiposo durante la mitad y final de la lactación para recuperar las reservas energéticas, mientras que durante el primer mes de lactación la mayor actividad se registra en la glándula mamaria.

Lipogénesis

Se refiere estrictamente a la síntesis de ácidos grasos y no a su esterificación para generar triglicéridos como depósitos de grasa. El principal tejido que sintetiza ácidos grasos es el adiposo y en el caso de la vaca en lactación la glándula mamaria sintetiza “de novo” ácidos grasos de cadena corta (menores de 16C) principalmente a partir del ácido acético generado durante la digestión ruminal de los carbohidratos y puede emplear también B-hidroxibutirato.

Síntesis de triglicéridos

Igual que ocurre con los ácidos grasos que han sido absorbidos en las células intestinales, los ácidos grasos en los tejidos son esterificados formando triglicéridos, bien como forma no tóxica de almacenamiento (tejido adiposo, hígado) o bien como enriquecimiento energético de la leche en la glándula mamaria.

Composición de la leche de vaca

La base principal de la grasa de la leche son los triglicéridos, con un 5,5 % de glicerol y el 94,5 % de ácidos grasos. Los ácidos grasos de leche de menos de 14 C (desde C4 a C14) son sintetizados en la glándula mamaria a partir del ácido acético generado en el rumen tras la digestión de los carbohidratos y se denominan ácidos grasos “de novo”; los ácidos grasos de C16:0, C16:1 y C17:0 son tanto sintetizados en la glándula mamaria como procedentes de la dieta o la movilización de grasa corporal, y por eso se agrupan como ácidos grasos de “origen mixto”; por último, todos los ácidos grasos de más de 18 átomos de carbono, tanto saturados como insaturados, proceden de la absorción de

► **ESTÁ DEMOSTRADO QUE LA INCORPORACIÓN DE GRASA EN LAS RACIONES RESULTA EN UN AUMENTO DE LA PRODUCCIÓN DE LA LECHE POR UN EFECTO ENERGÉTICO DIRECTO**

grasa en el intestino y/o de los ácidos grasos no esterificados (NEFA) procedentes del tejido adiposo, y por eso se denominan “preformados”.

Por consiguiente, tanto la formulación de las raciones (para conseguir un adecuado funcionamiento ruminal) como la cantidad y tipo de grasa que empleemos en las raciones, tienen una importancia clave en la obtención de los resultados que estemos buscando. Es necesario mantener el pH ruminal por encima de 6 para mantener una buena digestión de la fibra que produzca acético para la síntesis de grasa y que permita una completa biohidrogenación de los ácidos grasos insaturados que eviten su toxicidad ruminal (y el descenso en la digestión de fibra) y la aparición de ácidos grasos trans que reduzcan la síntesis mamaria de grasa, sobre todo cuando aumentemos el aporte de grasa en las raciones.

Grasas añadidas

La información con respecto al contenido y perfil de ácidos grasos nos permite hacer un uso adecuado de las fuentes de grasa. No todas las grasas añadidas tienen la misma “reactividad” ruminal ni digestibilidad intestinal y dependerá de su estructura química y su mayor o menor contenido en ácidos grasos saturados/insaturados. Además, su comportamiento ruminal y/o intestinal se verá influido por el ambiente ruminal que se encuentre y la cantidad y el tipo de grasa total de la dieta que la acompañe. ►

Mezclas Forrajeras

gama **SPEEDYLMIX**, 6 tipos de praderas anuales de siega o pastoreo

gama **PLURIMIX**, 4 tipos de praderas perennes para secanos frescos

gama **REGMIX**, 3 tipos de praderas perennes de regadío

gama **SECMIX**, 2 tipos de praderas perennes para secano

Alfalfa de secano y regadío

Alfalfa **SAN ISIDRO**, elevada producción, gran perennidad, secano ó regadío

VICTORIA, la Alfalfa mejorada, para secano ó regadío

Alfalfa **TIERRA DE CAMPOS**, rústica y adaptada al secano



Como ocurre con el resto de los nutrientes en los rumiantes, el perfil de ácidos grasos de la dieta no tiene nada que ver con el perfil de ácidos grasos que llegan al intestino para ser absorbidos. En condiciones normales, la proporción de ácido esteárico (C18:0) de la dieta es muy baja en comparación con el palmítico (C16:0) y, sin embargo, la cantidad de C18:0 que sale del rumen es 3 veces mayor que la de C16:0 como consecuencia de la biohidrogenación ruminal del oleico (C18:1), linoleico (C18:2) y linolénico (C18:3).

Tanto el palmítico como el esteárico son ácidos grasos con un alto punto de fusión (62,8 y 69,4 °C, respectivamente) que los hace insolubles en el líquido ruminal y no tóxicos para el ecosistema microbiano, y no interfieren en la digestión de la fibra; son ácidos grasos ruminalmente inertes. Sin embargo, su elevado punto de fusión hace que sea muy complicada su digestibilidad intestinal, puesto que también son insolubles en el líquido intestinal; sin embargo, y gracias a las sales biliares y jugos pancreáticos, en condiciones normales de dietas bajas en grasa, alcanzan digestibilidades del 75 % para el ácido palmítico (C16:0) y 72 % para el esteárico (C18:0). Además, los ácidos grasos insaturados que escapan de la biohidrogenación y llegan al intestino ayudan a mejorar la digestibilidad de los saturados.

Por eso, el mayor o menor aprovechamiento de un suplemento graso depende no solo de su estructura química y perfil de ácidos grasos sino de la cantidad y tipos de ácidos grasos que lo acompañen, y debemos tener muy claro que hay dos barreras que limitan este aprovechamiento, su transformación ruminal en el caso de los insaturados y su baja digestibilidad en el caso de los saturados, especialmente el ácido esteárico.

Protección ruminal de las grasas

Las grasas saturadas son naturalmente inertes por su baja solubilidad, ligada a su alto punto de fusión y se presentan como ácidos grasos libres saturados o triglicéridos saturados. Los ácidos grasos saturados pueden presentarse de forma individual (palmítico, C16:0, esteárico C18:0) o combinando diferentes

proporciones de ellos mientras las grasas saturadas son triglicéridos de origen animal (sebo) o vegetal (aceite de palma) que han sido hidrogenados, transformando sus ácidos insaturados en saturados pero manteniendo su estructura como triglicéridos.

Los ácidos grasos insaturados adquieren protección ruminal cuando son saponificados, formando sales y modifican sus propiedades físicas aumentando su punto de fusión. El producto disponible en el mercado es el jabón cálcico, insoluble en el rumen cuando se mantiene como sal, contiene un 84 % de grasa, de la cual el 85 % son ácidos grasos, con un perfil aproximado 50 % saturados/50 % insaturados.

Sobre la “inercia ruminal” de las grasas saturadas no hay discusión posible, pero pensar que los jabones cálcicos son completamente inertes en el rumen o 100 % *by-pass* no es correcto. Su disociación como sales en iones de calcio y ácidos grasos libres es dependiente del pH del rumen. A un pH ruminal normal, entre el 60-90 % de las sales de calcio permanecen estables y pasan el rumen como grasas inertes, especialmente en vacas de alta producción con altos niveles de ingesta y rápida velocidad de tránsito.

Las investigaciones consideran que el 50 % del oleico (C18:1) de los jabones cálcicos son biohidrogenados frente al 80 % de los alimentos (Wu *et al.*, 1991), lo que permite aumentar la cantidad de ácidos grasos insaturados que llegan al intestino para ser absorbidos y que llegarán intactos a los órganos que lo necesiten.

Digestibilidad intestinal de las grasas añadidas

Está muy demostrado que la digestibilidad de los ácidos grasos saturados es significativamente menor que la de los insaturados y que, a medida que aumentamos la cantidad de ácido esteárico en la dieta, se reduce la digestibilidad del conjunto de la grasa que llega al intestino. En el caso de los rumiantes, la biohidrogenación ruminal asegura que el esteárico es el ácido graso principal que alcanza el intestino. A pesar de ello, como el nivel de grasa en las raciones es normalmente bajo (menor del 3 % por kg de materia seca)

► LA DIGESTIBILIDAD DEL ÁCIDO PALMÍTICO ES BUENA Y NO SE VE AFECTADA NEGATIVAMENTE CUANDO SE EMPLEA EN DOSIS ALTAS EN LA DIETA

► UN AUMENTO DE GRASA EN LA RACIÓN AUMENTA EL NIVEL DE PROGESTERONA EN SANGRE Y, POR TANTO, AYUDA A MEJORAR LA TASA DE PREÑEZ

y gracias a la acción de sales biliares y jugo pancreático, la digestibilidad del conjunto de la grasa intestinal ronda un valor aceptable del 75 %.

Sin embargo, cuando aumentamos la cantidad de grasa activa en la ración buscando una mayor densidad energética, aumentamos mucho la cantidad de esteárico en el intestino y reducimos la digestibilidad del conjunto, siendo más ineficientes. Por eso, es necesario seleccionar muy bien el tipo de suplemento graso que vamos a emplear para prevenir una reducción de la digestibilidad.

En este sentido, es muy interesante un trabajo realizado por Chalupa en 2005 donde compara cómo diferentes tipos de grasas pueden afectar a la digestibilidad del total de la grasa de la dieta. Los datos están sacados de 11 trabajos de investigación realizados en los Estados Unidos y publicados en el *Journal of Dairy Science*. En la mayoría de estas pruebas, los suplementos grasos representan entre el 40 y el 60 % de la grasa total de la dieta, y se observa cómo el tipo de grasa añadida afecta de forma diferente a la digestibilidad del conjunto.

Tomando como referencia teórica que la digestibilidad normal de la grasa en rumiantes es del 75 %, podemos ver cómo a medida que aumentamos la saturación de la grasa se reduce la digestibilidad, aunque en la mayoría de los casos no es una reducción muy acusada, lo que pone de relieve el alto nivel de adaptación del sistema. Hay que exceptuar el caso de la grasa hidrogenada, pues son triglicéridos saturados muy ricos en esteárico, con alto punto de fusión y que al ser insolubles en el rumen no sufren

1. Reported digestibilities of total dietary LCFA for diets containing five different types of fat supplements

Diet type	Number	Reported diet fatty acid digestibility, mean (SD)
Tallow	9	70.2 (7.18)
Hydrogenated glycerides	7	57.0 (5.72)
Whole cottonseeds	8	74.7 (1.92)
Prilled fatty acids	5	71.0 (3.39)
Calcium salts of palm fatty acids	5	77.6 (2.82)

lipólisis (no se liberan los ácidos grasos del glicerol) y llegan intactos al intestino (alto poder inerte o *by-pass*). Los rumiantes no están adaptados a la digestión intestinal de los triglicéridos, y mucho menos si el contenido en esteárico es muy alto, por lo que su digestibilidad es muy baja y reducen el aprovechamiento de la grasa intestinal de forma muy significativa (hasta el 57 % en el artículo de Chalupa).

Hay otra forma de emplear grasa saturada sin mermar tanto su digestibilidad y es hacerlo como ácidos grasos libres. En el mismo trabajo de Chalupa que mencionaba antes, el autor hace una revisión de los trabajos publicados en revistas científicas con el empleo de estos productos y concluye que frente a una digestibilidad promedio de la grasa de la dieta control de 72,1 % la incorporación de los ácidos grasos hidrogenados se mantiene en un 69,6 %, lo cual demuestra que el empleo de ácidos grasos saturados en la dieta debe hacerse como ácidos grasos libres.

Actualmente disponemos en el mercado de muchos suplementos grasos que deberemos emplear en función de los objetivos que tengamos y del tipo de ácidos grasos que mejor nos ayude a conseguirlos.

Efectos sobre la reproducción

A la vez que las vacas iban incrementando su capacidad productiva se observaba una mayor pérdida de peso y una menor fertilidad, asociado al balance energético negativo. La necesidad de aumentar la densidad energética de las raciones con el empleo de grasa y evitar que afectaran a las fermentaciones ruminales, impulsó el empleo de las grasas inertes o *by-pass*, y muchos trabajos se centraron en demostrar que estos productos mejoraban la reproducción, como así fue. En principio se pensó que era debido exclusivamente

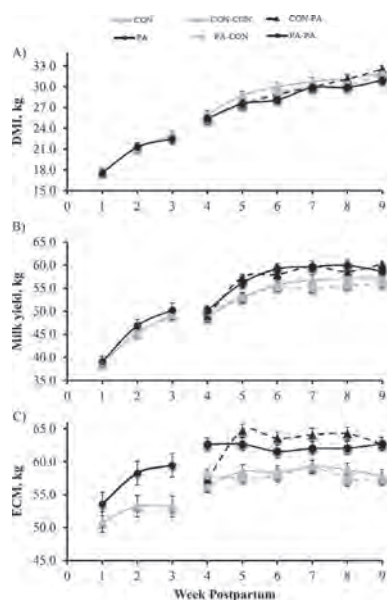
al mayor aporte de energía que permitía una menor pérdida de peso; sin embargo, se ha demostrado que no siempre que hay mejora reproductiva con grasa añadida se reduce la pérdida de peso, lo que evidencia que otros factores relacionados con la grasa permiten mejorar la reproducción.

La progesterona, responsable de mantener la implantación del embrión en el tejido uterino, se sintetiza a partir del colesterol. Un aumento de grasa en la ración incrementa el nivel de progesterona en sangre y, por tanto, ayuda a mejorar la tasa de preñez.

Investigaciones posteriores han puesto de manifiesto que el enriquecimiento de la dieta con ácidos grasos poliinsaturados, tanto de la serie omega-6 (ácido linoleico, C18:2) como omega-3 (ácido linolénico, C18:3), está muy relacionado con su implicación sobre la síntesis de la prostaglandina y sus efectos sobre el rendimiento reproductivo en las vacas de leche. La función principal de la prostaglandina es destruir el cuerpo lúteo. La inhibición de la prostaglandina por el enriquecimiento de la dieta con ácido linolénico (C18:3) inerte ruminalmente ha sido asociada a una mejora de la tasa de preñez por la reducción de las reabsorciones embrionarias.

Efectos sobre la producción y calidad de leche

Está demostrado que la incorporación de grasa en las raciones resulta en un aumento de la producción de la leche por un efecto energético directo, aunque no todas las grasas lo consiguen con la misma eficacia, e incluso el mismo producto varía en su respuesta en función del tipo de dieta y estudio. Durante años se han estado comparando productos con diferente composición en ácidos grasos y la variación en la respuesta se asociaba a las diferencias en la ►►



inercia ruminal y la digestibilidad. Sin embargo, en los últimos años se están comercializando nuevos productos de ácidos grasos puros que han multiplicado los trabajos de investigación y han conseguido diferenciar las funciones metabólicas de ácidos grasos concretos y la forma en que contribuyen a la función productiva de la vaca por diferentes caminos.

Así, es conocido que en líneas generales los ácidos grasos insaturados pueden disminuir la ingesta de materia seca, incrementar la insulina plasmática y desviar el reparto de energía hacia el incremento de las reservas corporales, mientras que los ácidos grasos saturados tienen poca influencia en la ingesta y, en general, aumentan el reparto de energía hacia la producción de leche y grasa en la leche.

El ácido palmítico (C16:0), ácido esteárico (C18:0) y ácido oleico (C18:1) son los componentes mayoritarios de la grasa de la leche y del tejido adiposo y, aunque tienen funciones metabólicas diferentes, interactúan unos con otros según su aporte en la dieta.

El ácido palmítico

Sin duda, el que ha recibido más atención en los últimos años por sus excelentes resultados en el incre-

mento de la producción de leche y de grasa en leche comparado a dietas control ha sido el ácido palmítico (Lock *et al.*, 2013; Souza *et al.*, 2017; Piantoni *et al.*, 2013). No en vano, es de forma natural completamente inerte en el rumen y, a pesar de ser un ácido graso saturado, su digestibilidad es buena y no se ve afectada negativamente cuando se emplea en dosis altas en la dieta.

Recientemente ha sido publicado un trabajo muy interesante por parte de profesores de la Universidad de Michigan (Souza y Lock, 2019) para profundizar en su efecto en dos periodos concretos, desde el día 1 a 24 posparto (recién paridas) y del 25 al 67 (pico de producción). En este trabajo, las 52 vacas multíparas se dividen en dos grupos posparto, uno control sin grasa añadida y otro experimental con el 1,5 % de palmítico. Pasados los 24 días, cada grupo de vacas se divide a su vez en otros, de tal manera que se puede comparar el efecto de añadir o no palmítico en la dieta desde el día 0 del parto al 67 posparto, pero también comprobar si hay variaciones en su comportamiento en función del momento en que se empieza a utilizar. Este trabajo demuestra, una vez más, que los ácidos grasos saturados no reducen la ingesta de materia seca.

► EL ÁCIDO PALMÍTICO HA RECIBIDO MUCHA ATENCIÓN EN LOS ÚLTIMOS AÑOS POR SUS EXCELENTE RESULTADOS EN EL INCREMENTO DE LA PRODUCCIÓN Y DE GRASA EN LECHE

En cuanto a la producción de leche, los resultados confirman otra vez que el palmítico aumenta la producción de leche, aunque la novedad en este estudio es que no hay una diferencia significativa durante los primeros 24 días posparto y, sin embargo, pasado este periodo, el grupo alimentado con P palmítico produce 3,45 kg/día más de leche al día.

No ocurre lo mismo con la concentración de grasa en leche; en ambos periodos experimentales, la incorporación de palmítico a la dieta sube muy significativamente el porcentaje de grasa en leche, un 0,41 % durante el periodo inicial (1 a 24 días) y un 0,22 % durante el pico (25 a 67 días). Esto es debido al aumento de la síntesis de grasa en leche en ambos periodos (+280 g/día y +210 g/día, respectivamente). Cuando se emplea palmítico al 1,5 % de la SS durante al menos 10 semanas, Souza y Lock (2018) observaron un incremento en la producción de grasa láctea de 150 g/día; en línea con este trabajo también señalan que la producción de grasa en leche aumenta linealmente con la dosis de palmítico empleada, proponiendo una solución muy interesante para evitar las penalizaciones por calidad de la industria lechera.

Tzompa-Sosa *et al.* (2014) sugieren que un aumento en la disponibilidad de palmítico para la síntesis de grasa en las células epiteliales de la glándula mamaria puede aumentar la actividad de la enzima glicerol 3-P acyltransferasa que inicia la síntesis de triglicéridos en la misma.

Como consecuencia del aumento de grasa y producción de leche en las vacas alimentadas con ácido ►►

RATIBROM[®]

Nº1
EN VENTAS

¡TENEMOS LA SOLUCIÓN! LA DIETA DEL RATIBROM LAS RATAS Y LOS RATONES **MUEREN** POR ELLA



NUEVA
CONCENTRACIÓN



RESISTE
AL CALOR Y LA HUMEDAD



GAMA VERSÁTIL

Permite manejar diferentes alternativas según las necesidades del tratamiento o las condiciones ambientales.

ALTA APETENCIA

Elaborados con ingredientes de alta calidad y la mayor apetencia del mercado (hasta el 97%).

NUESTROS CEBOS



 **impex** EUROPA S.L.

Avda. de Pontevedra, 39 | 36600 Vilagarcía de Arousa - Pontevedra - SPAIN | T. +34 986 501 371 | info@impexeuropa.es | www.impexeuropa.es

Tabla 2. Producción y composición de la leche, peso corporal (BW*) y condición corporal (BCS*) para vacas alimentadas con dietas control durante el periodo de producción inicial (día 1-24 posparto)

VARIABLE	TRATAMIENTO ¹	
	CON	PA
Ingesta de materia seca (DMI*) kg/d	22,3	22,1
Rendimiento lácteo, kg/d		
Leche	47,2	48,6
3,5 % Leche con la grasa corregida/modificada (FCM) ²	52,2	57,5
Leche con correcciones/modificaciones energéticas (ECM) ³	51,9	56,6
Composición de la leche		
Grasa, kg/d	2,01	2,29
Grasa, %	4,48	4,89
Proteína, kg/d	1,50	1,60
Proteína, %	3,37	3,41
Lactosa, kg/d	2,16	2,23
Lactosa, %	4,75	4,72
Rendimiento acumulado, kg		
Leche	1,111	1,145
Grasa	49,8	56,0
Proteína	36,7	38,6
FCM/DIM*	2,34	2,60
BW*, kg	701	680
BW* cambio, kg/d	-1,89	-2,65
BCS*	3,34	3,25

¹Las dietas durante el periodo de producción inicial (FR) (1-24 DIM) fueron una dieta de control (CON) o una dieta con un suplemento de ácido graso enriquecido en C16: 0 que reemplaza a las cáscaras de soja (PA; 1,5 % de la dieta DM).

²3,5 % FCM = (0,4324 × kg de leche) + (16,216 × kg de grasa en leche)

³ECM = (0,327 × kg de leche) + (12,95 × kg de grasa en leche) + (7,20 × kg de proteína en leche)

DIM (días en leche) | (DMI (ingesta de materia seca)

*Por sus siglas en inglés

Fuente: *Journal of Dairy Science*, vol. 102 N.º 1, 2019

palmítico, hay un aumento muy marcado de la leche corregida en grasa (3,5 % FCM) y en energía (ECM); este efecto está muy ligado a la interacción del palmítico con el balance energético posparto, y se observa una mayor pérdida de peso y condición corporal, así como un aumento de los NEFA circulantes y bajada de los niveles de insulina en sangre.

Matthews *et al.* (2016) sugieren la posibilidad de que una alimentación prolongada con este ácido genera resistencia a la insulina en el tejido adiposo, lo que hace aumentar la lipólisis y movilización grasa, y permite a los animales aumentar el re-

parto de nutrientes hacia la glándula mamaria (Bell, 1995; Bell y Baumen, 1997). La alimentación con palmítico en arranque de lactación incrementa rápidamente la circulación de ceramida (C24:0) [Davis *et al.*, 2017], que está inversamente relacionada con la tasa de desaparición de glucosa (Rico *et al.*, 2017b).

Basándose en estos estudios los autores sugieren que el grupo alimentado con este ácido aumenta el reparto de energía hacia la leche a expensas de las reservas corporales por los cambios en la resistencia a la insulina.

Por último, me gustaría destacar otra de las virtudes del palmítico

en este trabajo y es el incremento de la digestibilidad de la FND; hay dos teorías que pueden explicar este efecto: la primera es que se produce un aumento de la secreción de colecistoquinina (Piantoni *et al.*, 2013), la cual aumenta el tiempo de retención ruminal de la comida, y la segunda, que las bacterias del género *Butyrivibrio*, que necesitan sintetizar ácido palmítico “de novo” para los componentes de su membrana (Hackmann y Firkins, 2015), pueden usar directamente el palmítico de la dieta ahorrando energía y favoreciendo el crecimiento bacteriano que aumentaría a su vez la digestibilidad de la FND.

El ácido esteárico

Con respecto al ácido esteárico, no hay tantos estudios sobre su empleo de forma individual pero se está trabajando cada vez más para conocer sus funciones metabólicas concretas. Aunque es químicamente muy parecido al palmítico, parece que su metabolismo en los tejidos es bastante diferente y que tiene más peso sobre la producción de leche que sobre la producción de grasa láctea que el palmítico (Loften *et al.*, 2014). Hay datos que indican que el esteárico no se acumula en los tejidos en la misma cantidad que otros ácidos grasos y que las vacas lo emplean como fuente de energía en el hígado y tejido muscular, o se secreta en grandes cantidades en la leche como esteárico y oleico.

Tabla 3. Producción y composición de la leche, BW* y BCS* para vacas alimentadas con dietas control durante el periodo de máxima producción (días 25-67 posparto)

VARIABLE	TRATAMIENTO ¹			
	CON-CON	CON-PA	PA-CON	PA-PA
Ingesta de materia seca (DMI*) kg/d	30,4	30,8	29,1	29,6
Rendimiento lácteo, kg/d				
Leche	54,2	57,8	55,0	58,3
3,5 % Leche con la grasa corregida/modificada (FCM) ²	58,0	62,9	57,6	61,7
Leche con correcciones/modificaciones energéticas (ECM) ³	57,0	61,6	56,8	61,4
Composición de la leche				
Grasa, kg/d	2,07	2,31	2,05	2,23
Grasa, %	3,66	3,94	3,67	3,82
Proteína, kg/d	1,65	1,74	1,66	1,85
Proteína, %	2,93	2,96	2,99	3,07
Lactosa, kg/d	2,74	2,85	2,81	2,87
Lactosa, %	4,98	4,84	4,91	4,87
Rendimiento acumulado, kg				
Leche	2,493	2,658	2,530	2,681
Grasa	94,3	106	95,2	103
Proteína	75,9	80,0	76,4	85,1
FCM/DMI*	1,91	2,08	1,93	2,10
BW*, kg	698	691	682	669
BW* cambio, kg/d	0,29	0,27	0,20	0,16
BCS*	3,10	2,93	3,03	2,98

¹CON-CON = vacas que recibieron la dieta de control para los periodos de producción inicial (FR) y de máxima producción (PK); CON-PA = vacas que recibieron la dieta de control durante el periodo FR y se cambiaron a la dieta de PA (1,5 % de suplemento de ácido graso enriquecido en C16: 0 que reemplaza a las cáscaras de soja) durante el periodo PK; PA-CON = vacas que recibieron la dieta PA durante el periodo FR y cambiaron a la dieta CON durante el periodo PK; PA-PA = vacas que recibieron la dieta de AP para los periodos FR y PK.

²3,5% FCM = (0,4324 × kg de leche) + (16,216 × kg de grasa en leche).

³ECM = (0,327 × kg de leche) + (12,95 × kg de grasa en leche) + (7,20 × kg de proteína en leche)

*Por sus siglas en inglés

Fuente: *Journal of Dairy Science*, vol. 102 N.º1, 2019

El ácido oleico

En cuanto al ácido oleico (C18:1), también tiene un papel importante en el metabolismo lipídico de las vacas y en la composición de la leche (mantiene su fluidez) pero a nivel ruminal, al igual que otros ácidos grasos insaturados, es biohidrogenado a ácido esteárico mediante la adición de una molécula de hidrógeno al doble enlace presente en su cadena. Su uso tiene interés siempre y cuando podamos protegerlo a nivel ruminal de la acción de las bacterias y pueda ser absorbido como tal a nivel intestinal. Debido a su mayor carácter polar tiene una buena digestibilidad y su energía se dirige fundamentalmente al aumento de las reservas corporales del animal (Souza, 2017).

CONCLUSIÓN

En cualquier caso, los ácidos grasos pueden alterar su metabolismo o incluso modificar el de otros compuestos relacionados con la producción de energía por su interacción con la transcripción de genes (Nakamura *et al.*, 2014), y parece que en este sentido, en los rumiantes, son más relevantes los saturados (palmítico y es-

teárico) que los insaturados. White *et al.* (2011) sugieren, por ejemplo, que la presencia de los NEFA tan habitual en el periodo de transición pueden aumentar la expresión enzimática que estimula la gluconeogénesis.

Sin duda, el papel potencial de ácidos grasos individuales sobre el

reparto de nutrientes para sostener la producción y la composición de la leche, así como los mecanismos empleados para ello, abren un enorme campo de trabajo a los centros de investigación que nos enseñarán el camino para ser cada vez más precisos y ganar en eficiencia. ■

AgroBank

**Asesoramiento
y servicio para
el sector agrario**

