

## FISIOLOGÍA DIGESTIVA Y USO DE ADITIVOS ALIMENTICIOS RUMIANTES

Michael F. Hutjens, Ph.D.  
Professor of Animal Sciences Emeritus  
University of Illinois, Urbana. 217-333-0978.  
[Hutjensm@illinois.edu](mailto:Hutjensm@illinois.edu)

### 1.- INTRODUCCIÓN

La alimentación de vacas de alto nivel productivo continúa siendo un desafío para granjeros y nutricionistas. Además, los márgenes de beneficio de las explotaciones lecheras varían con el precio de la leche y los costes alimenticios que a su vez se modifican notablemente de un año a otro. El coste de alimentación representa el mayor input para la producción de leche (alrededor de un 45-60%). Los aditivos alimenticios son un grupo de ingredientes que pueden causar una respuesta beneficiosa del animal en aspectos tales como el pH ruminal, el crecimiento o en la modificación del metabolismo. El cuadro 1 enumera una serie de aditivos alimenticios utilizados por los gerentes de las granjas de leche sobre la base de un encuesta de lectores de Hoard's Dairyman Magazine. Algunos aditivos alimenticios contienen nutrientes tales como el sodio en el bicarbonato sódico o la proteína en el cultivo de las levaduras. Los aditivos alimenticios no son una garantía de productividad o de rentabilidad.

**Cuadro 1.- El uso de aditivos alimenticios en granjas lecheras de USA, %  
(Hoards, 2013)**

<b>Aditivos alimenticios utilizados</b>	<b>2006</b>	<b>2010</b>	<b>2012</b>
Buffers	41	42	39
Yeast products	28	30	32
Monensina	15	21	25
Niacina	9	11	12
Probióticos (DFM)	11	13	12
Secuestrantes de micotoxina	11	23	22
Sales aniónicas	3	5	6
Ninguno	11	9	9

## 2.- VALORACIÓN DE LOS ADITIVOS ALIMENTICIOS A NIVEL DE GRANJA

Los cuatro factores que pueden considerarse para determinar si un aditivo alimenticio debería ser utilizado son: respuesta prevista, retorno económico, investigación disponible y referente en condiciones de campo. *Respuesta* se refiere a los cambios de rendimientos esperados o anticipados por el usuario cuando se incluye un aditivo en la ración. Los ejemplos incluyen una mañoyor producción de leche (pico de lactación y/o persistencia de producción), incremento en la concentración de componentes de la leche (proteína y/o grasa), incremento de consumo, estimulación del crecimiento microbiano en el rumen, aumento de la fermentación o digestión, estabilización del medio ruminal y del pH mejora de la eficiencia alimenticia, minimización de la pérdida de peso, reducción del efecto del estrés térmico, mejora de la salud (reducción de la incidencia de cetosis y acidosis, mejora de la respuesta inmune). *Retornos* refleja el beneficio económico del uso de un determinado aditivo. Si la respuesta medible es una mayor producción de leche puede calcularse un valor umbral. Por ejemplo, un consultor recomienda un aditivo que aumente el coste alimenticio en 10 centavos/día. Si la leche tiene un valor de 20 centavos por cada libra (0,45 kg), cada vaca debe producir 0,5 libras (0,23 kg) más de leche para cubrir el coste adicional asociado al aditivo. Otra consideración es que frecuentemente todas las vacas reciben el aditivo, pero solo responden positivamente las novillas y las vacas al principio de la lactación (100 primeros días). Las vacas donde se obtiene respuesta deben en este caso cubrir el coste del suministro del aditivo a todas las vacas (tanto las que responden como las que no). Una norma es que un aditivo debería retornar dos dólares o más por cada dólar invertido para cubrir la falta de respuesta en algunos animales y condiciones de campo que podrían minimizar la respuesta esperada. *La investigación* es esencial para determinar si respuestas observadas en condiciones experimentales pueden también esperarse en condiciones de campo. Los estudios deberían ser realizados bajo condiciones controladas y no sesgadas, haber producido resultados analizados estadísticamente (determinando si las diferencias son repetibles), y haber sido conducidos utilizando diseños experimentales que reflejen situaciones similares a las condiciones prácticas de las granjas. *Los resultados* obtenidos en una granja individual son la base del cálculo económico. Los gerentes y nutricionistas deben tener datos para comparar y medir las respuestas. Algunas herramientas para evaluar las respuestas en una granja incluyen registro de la producción de leche (pico de producción, persistencia, composición de la leche y curvas de lactación), parámetros reproductivos, conteos de células somáticas, consumo de materia seca, curvas de crecimiento de las novillas, gráficos de condición corporal y perfil sanitario del rebaño, etc, lo que permitirá una valoración completa y crítica de un determinado aditivo.

Los gerentes y consultores de las fábricas de pienso pueden evaluar los aditivos alimenticios utilizando una aproximación ligeramente diferente, incluyendo, como criterios adicionales de variación la seguridad, la repetibilidad y la relatividad. *La seguridad* debe estar basada en trabajos básicos de investigación que hayan sido publicados sobre el aditivo alimenticio considerado. La capacidad de predecir si el producto puede dar lugar a una respuesta positiva en un amplio rango de condiciones de alimentación es importante. *La repetibilidad* se establece a partir de resultados del análisis estadístico de los datos (media y desviación estándar). Cada consultor debe determinar qué nivel de riesgo está dispuesto a

asumir cuando selecciona un aditivo alimenticio. El punto clave es la probabilidad de que la respuesta sea beneficiosa económicamente. *La relatividad* se refiere a otros productos, cambios de manejo o prácticas que pudiese sustituir el uso del aditivo. Por ejemplo, las sales aniónicas pueden excluirse de la ración si el nutricionista consigue reducir los niveles de potasio a menos de un 1%. Adicionalmente puede utilizarse en la valoración de un aditivo la *confianza* en su uso basada en los datos de trabajos publicados sobre ese aditivo. La capacidad de predicción de las respuestas positivas del producto en un amplio rango de condiciones de alimentación es importante.

### 3.- MEDIDA DE LA VARIACIÓN

La desviación estándar y la probabilidad estadística son medidas que pueden utilizarse para determinar la probabilidad de obtener una respuesta deseada. Otra herramienta habitual es el análisis de errores de tipo I/tipo II. Los estudios de investigación publicados son resumidos, las desviaciones estándar calculadas y los factores económicos se incorporan a los cálculos. Un error de tipo I es el coste asociado con el suministro de un aditivo sin obtener respuesta económica, lo que constituye una decisión inadecuada. Un error de tipo II es el coste asociado con la decisión de no utilizar un aditivo que hubiera dado lugar a una respuesta positiva, lo que supone una pérdida de coste de oportunidad. El coste o riesgo de cada error debe ser interpretado por el usuario. En el cuadro 2 se relaciona una lista de errores de tipo I y tipo II para varios aditivos alimenticios.

**Cuadro 2.- Comparación de errores tipo I y tipo II con aditivos alimenticios**

Aditivo alimenticio	Tipo I	Tipo II
	\$/vaca/día	
Bicarbonato sódico	0,05	0,30
Niacina	0,14	0,20
Cultivo de levaduras	0,01	0,35

El meta-análisis es otra herramienta que resume estadísticamente los trabajos de investigación publicados sobre un aditivo alimenticio para ganar potencia estadística mediante la combinación de trabajos publicados, informando sobre las respuestas y valoración esperados. En contraste con un estudio individual, un meta-análisis evalúa la base de datos completa de estudios en un solo análisis. Cada trabajo seleccionado (normalmente publicado en revistas con revisores) es ponderado sobre la base de su tamaño y de la variación obtenida en ese estudio. Un beneficio adicional del meta-análisis es permitir al usuario determinar si la falta de significación debida a un tratamiento es real o es debida a la baja potencia del análisis, diferencias en las respuestas o factores externos que influyen en el resultado. Un ejemplo de meta-análisis para colina protegida en el rumen se muestra en el cuadro 3.

**Cuadro 3.- Meta-análisis de 13 estudios examinando los efectos de la colina protegida en el rumen (CPR) en vacas en transición (Grummer, 2013)**

Item	Control	CPR	Probabilidad
Consumo de materia seca (kg/d)	18,2	18,9	0,0042
Producción de leche (kg/d)	32,2	35,3	< 0,0001
Leche corregida por energía (kg/d)	34,9	37,6	0,0038
Producción de grasa (kg/d)	1,27	1,38	0,021
Producción de proteína (kg/d)	1,05	1,12	0,010

#### 4.- SELECCIÓN ENTRE PRODUCTOS COMERCIALES DE ADITIVOS ALIMENTICIOS

Un segundo aspecto es la selección de un aditivo, ¿qué producto comercial debería adquirirse? “Me too feed additive” es un término que se refiere a un producto que está apoyado por un número limitado de trabajos de investigación, pero que se comercializa sobre la base de que tiene un efecto similar a los aditivos estándar producidos por la industria. La realización de experimentos bien planeados y desarrollados en universidades o empresas y publicados en revistas científicas y técnicas puede costar entre 25.000 y 60.000 dólares por ensayo y precisar entre uno y tres años. Existen tres tipos diferentes de situaciones de “me too” en la práctica.

##### *Situación 1: Aditivo idéntico*

El bicarbonato sódico es un ejemplo de este tipo. El producto “me too” puede ser idéntico estructural o químicamente. En esta situación, la compañía inicial ha realizado numerosos estudios, publicados en revistas científicas, y ha establecido una base sólida para la toma de decisiones a nivel de campo. Un segundo producto aparece en el mercado indicando que tiene una composición idéntica pero un menor precio. El bicarbonato sódico es un producto definido químicamente. El dilema sobre qué producto escoger es crítico para el desarrollo futuro del producto. Si los gerentes de las granjas y nutricionistas escogen el producto nuevo y más barato, las compañías no continuarán desarrollando su producto.

##### *Situación 2: Productos similares*

Los cultivos de levaduras son ejemplos de este tipo. Los productos “me too” funcionan de manera similar pero no son idénticos como en el caso de la situación 1. Los granjeros y los nutricionistas deberían solicitar datos sobre ensayos de investigación específicos realizados con el producto sustitutivo para determinar el grado de respuesta conseguido en ensayos controlados.

##### *Situación 3: Producto general*

Los inoculantes de los silos son ejemplos de este tipo de productos “me too”. Aseguran dar lugar a beneficios y resultados similares pero no tienen la misma estructura química o la misma base microbiológica o los mismos ingredientes alimenticios. En el caso de los inoculantes de los silos, su uso es para facilitar su conservación, reducir las pérdidas

de materia seca, mejorar su digestibilidad y/o disminuir las pérdidas. Estos productos pueden tener una concentración bacteriana variable (número de unidades formadoras de colonias), diferentes tipos de bacterias y/o diferentes métodos recomendados para almacenar y aplicar los microorganismos. Los granjeros y nutricionistas deben solicitar datos específicos de investigación sobre el producto comercializado.

## 5.- ACTUALIZACIÓN DE ADITIVOS ALIMENTICIOS

### 5.1.- Biotina

La biotina ha sido asociada con la formación del casco de la pezuña. Los síntomas de deficiencia en terneros incluyen pezuñas blandas, lesiones en la piel y pérdida de pelo. En porcino y en caballos, una deficiencia resulta en roturas y fisuras en el pie y en los dedos. La biotina es necesaria para los rumiantes y se sintetiza por los microorganismos del rumen. Si las raciones son ricas en concentrado, la síntesis de biotina en el rumen se reducen debido a la acidificación del medio y a cambios en el tipo de flora. Diferentes estudios realizados con vacuno de carne y de la suplementación con biotina en el pienso se resumen a continuación:

- La marca de separación con una línea blanca se redujo desde un 27 hasta un 10% en la garra lateral posterior y desde un 20 a un 2% en la garra media posterior cuando se suministraron 20 mg de biotina durante 100 días a vacas Holstein en su primera lactación.
- Las úlceras en la planta se redujeron desde un 3,3 hasta un 0,7% en 180 vacas lecheras que recibieron 10 mg de biotina por día durante 24 meses en comparación con vacas no suplementadas.
- Las verrugas en el talón se redujeron entre un 20,2 y un 37,3% en 56 vacas de leche suplementadas con 20 mg de biotina por día en un estudio realizado a lo largo de 11 meses.
- Las lesiones en las garras (236 garras en 160 vacas en 82 granjas lecheras) mejoraron y su curación a largo plazo se aceleró suministrando 20 mg de biotina por día. Las concentraciones de biotina en plasma estuvieron correlacionadas con un crecimiento del casco más rápido en estas lesiones en el caso de las vacas suplementadas.
- Las fisuras verticales se redujeron desde un 29,4 hasta un 14,3% en 265 vacas Hereford que recibieron 10 mg de biotina por vaca y día. Las vacas suplementadas tenían una probabilidad 2,5 veces menor de desarrollar fisuras con respecto a las vacas no suplementadas.

Junto a la mejora de la salud de las pezuñas, un estudio realizado en Ohio reportó un incremento de la producción de leche de 314 kg (11.794 kg en vacas control vs. 12.108 en vacas suplementadas con biotina;  $P < 0,05$ ). En otro estudio vacas suplementadas con biotina tenían un menor intervalo hasta la concepción (116 vs. 99 d) y un menor número de servicios por concepción (3,02 vs. 2,69). En un segundo ensayo realizado en Ohio se observó un

incremento en la producción de leche de 2,3 kg por día, lo que sugiere que la biotina podría estimular una ruta metabólica regulada por enzimas, incrementar la síntesis de glucosa y/o aumentar la digestión de la fibra. Los niveles recomendados para la suplementación de biotina es de 10-20 mg por día comenzando a los 15 meses de edad en el caso de novillos. Las vacas deberían ser suplementadas con 20 mg por día a lo largo de la lactación y 10 mg durante el periodo seco. Los animales donde cabe esperar más respuesta son las vacas con problemas crónicos de pezuñas, las de alta producción, las que reciben raciones con una alta proporción de grano y los novillos desde la cubrición hasta el parto. El coste de la suplementación se sitúa en 8-10 céntimos de dólar por vaca y día. La relación beneficio/coste es de 3:1 sobre la base de un incremento de la producción de leche de 2 kg. Las ventajas económicas son más evidentes si se mejora la reproducción y se reducen los problemas de cojeras. Las respuestas relacionadas con las cojeras a la suplementación con biotina pueden requerir varios meses antes de que se produzcan.

## 5.2.- Colina protegida

La colina protegida de la fermentación ruminal (CPR) se clasifica habitualmente dentro de las vitaminas B, pero no cumple con la función tradicional de la vitamina. Su papel en la nutrición de las vacas de leche incluye minimizar la formación de hígado graso, mejorar la transmisión nerviosa y servir como donante de grupos metilo. La falta de respuesta a la suplementación con colina en el pienso se debe a una degradación ruminal muy importante (entre un 85 y un 95%). En cambio, cuando la colina se infunde de forma post-ruminal (entre 15 y 90 g por día), la respuesta productiva fue un incremento de 1 kg por día de la producción de leche de 0,17 unidades porcentuales del contenido en grasa y 1,5 g por día de leche corregida por el contenido en grasa. El mecanismo primario de interés en vacas de leche es el efecto de la colina sobre la transferencia de triglicéridos desde el hígado, especialmente al principio de la lactación, cuando los ácidos grasos libres del tejido liposo son movilizados e incorporados a lipoproteínas que es un proceso que requiere un donante de grupos metilos. La colina también permite ahorrar metionina (10 g de colina proporciona el equivalente en grupos metilo a 44 g de metionina). En raciones con un bajo contenido en metionina pueden mejorarse con la adición de 30 g de colina protegida frente a la fermentación ruminal, aunque la colina es más difícil de proteger que los aminoácidos por ser extremadamente higroscópica.

Recientemente se han conseguido elaborar fuentes de colina protegida en el rumen por encapsulación y recubrimiento con grasa. Investigaciones de la universidad de Cornell han demostrado que la CPR reduce significativamente la conversión de ácidos grasos libres no esterificados a triglicéridos y aumenta el glicógeno en el hígado de vacas de leche en el momento del parto y en el principio de la lactación. Estos cambios metabólicos pueden reducir el riesgo de cetosis clínica. Ensayos de campo realizados en el estado de Nueva York han determinado un incremento medio de 2,2 kg de leche por día durante el período de alimentación post-parto. Típicamente los productos comerciales se suministran a un nivel de 15 g de colina protegida por día (presente en 60 g de producto encapsulado) en el período comprendido entre 21 días antes del parto y 50 días después con un coste de alrededor de 30 centavos de dólar por vaca y día. Mejoras en la encapsulación permiten que la colina protegida se mezcle con otros ingredientes alimenticios secos sin pérdida de potencial. Un meta-análisis sobre el uso de CPR se muestra en el cuadro 3.

### 5.3.- Sales y productos anionicos

Las sales y productos anionicos (cloruro amónico, sulfato amónico, sulfato de aluminio, sulfato de magnesio, cloruro cálcico y alimentos comerciales trabajos con ácido clorhídrico) conducen a que las raciones sean más acidogénicas, incrementado la absorción de calcio de la dieta y estimulando la movilización de calcio de los huevos como consecuencia de una mayor secreción de hormona paratiroidea. Cuando hay más calcio disponible la vaca tiene más capacidad de mantener los niveles de calcio en sangre si una gran cantidad de calcio se utiliza para la síntesis de la leche. Trabajos realizados en Canadá indicaron un 48% de incidencia de fiebre de la leche cuando se suministraron dietas catiónicas (control) y una incidencia nula cuando se usaban dietas aniónicas. Trabajos realizados en la Universidad de Colorado reportaron una disminución de 13 unidades porcentuales (desde un 17 a un 4%) de fiebre de la leche cuando las vacas recibían sales aniónicas incluso con consumos de calcio elevados (150 g/día). El suministro de 100 g de cloruro amónico y 100 g de sulfato de magnesio durante las 2-3 semanas previas al parto resultó en respuestas favorables en cuanto a la reducción de fiebre de la leche e hipocalcemia, menores problemas de retención de placenta e incremento del consumo de materia seca después del parto. Las sales aniónicas son poco palatables y deberían mezclarse con 1-2 kg de productos apetecibles tales como granos de destilería, melazas o gránulos de soja procesados térmicamente, y granuladas para evitar que los animales puedan separarlas. El control del pH de la orina es una forma efectiva de determinar si se están consumiendo niveles adecuados de productos anionicos en relación con los niveles de potasio de la ración. Los valores objetivos para el caso de vacas Holsteins son pHs comprendidos entre 6,2-6,8. En el caso de vacas Jerseys, un pH entre 5,5 y 6 podría ser necesario para una respuesta óptima. Si el pH está por encima de 7 no se encuentran beneficios para la suplementación con productos anionicos. Si el pH de la orina es demasiado bajo, podría resultar en una excesiva acidosis metabólica que podría conducir a problemas renales. Recientemente se ha demostrado que las fuentes de sales aniónicas basadas en cloro son más eficientes para acidificar la orina en comparación con los sulfatos. El ácido clorhídrico (pulverizado en spray sobre el alimento) mejora la palatabilidad con respecto a las sales y resulta igualmente efectivo en la reducción del pH de la orina. Existen disponibles varios productos comerciales con resultados de campo que demuestran una mejor palatabilidad.

### 5.4.- Productos de levaduras

Los productos de levaduras pueden consistir en levaduras vivas y/o un cultivo de levaduras que incluye el medio en el que han crecido. Existen varios tipos de productos disponibles obtenidos a partir de procesos fermentativos (tales como levadura de cerveza o de destilería). Un resumen de 51 trabajos publicados ha concluido que las vacas alimentadas con levadura producen como media 1,5 litros más de leche con respecto a vacas control. En vacas al principio de la lactación se ha observado un mayor incremento en la producción de leche mientras que en la lactación más tardía lo que se ha apreciado es una mejora de la eficiencia alimenticia. La respuesta en cuanto a composición de la leche (niveles de grasa y de proteína) es variable. Trabajos realizados en la Universidad de

Illinois y en Canadá han mostrado aumentos significativos en el consumo de materia seca cuando un cultivo de levaduras fue suministrado en el período de transición, lo que resultó en mayores producciones de leche y menores pérdidas de peso después del parto. El principal efecto del cultivo de levaduras es estabilizar el medio ruminal. Las concentraciones de bacterias fibrolíticas y anaerobióticas fueron más altas tanto en estudios in vitro como in vivo. El pH ruminal aumentó en varios estudios pero los cambios de pH no fueron consistentes. Se ha observado igualmente una reducción en las concentraciones de ácido láctico en el rumen. Los cultivos de levaduras están siendo estudiados para determinar su modo de acción, su nivel óptimo de inclusión y el estado de lactación más adecuado para ser suministrados. La lactación temprana (desde 2 semanas antes hasta 12 semanas después del parto) parece ser el momento óptimo para suplementar la ración con cultivos de levaduras al objeto de estabilizar el ambiente ruminal de vacas que cambian desde raciones típicas de vacas secas a raciones de alta concentración energética. Existen varias formas y concentraciones de productos de cultivos de levadura disponibles comercialmente.

## 6.- RECOMENDACIONES DE SUMINISTRO DE ADITIVOS ALIMENTICIOS

El interés en el uso de aditivos alimenticios va a continuar en los próximos años en función de nuevos resultados de investigación y de los márgenes de beneficio. En el cuadro 4 se relacionan seis categorías de aditivos con información que ayuda a decidir a productores técnicos, nutricionistas y veterinarios si un aditivo debería incluirse en el alimento. Los status actuales se clasifican en las siguientes categorías:

- Recomendado: Incluir en la dosis recomendada.
- Experimental: Aún son necesarios investigaciones y estudios adicionales.
- Evaluativo: Monitorizar en situaciones específicas.
- No recomendado: Ausencia de respuestas económicas para su uso.

### Cuadro 4.- Directrices para el uso de aditivos alimenticios en vacas lecheras

#### *Sales y productos aniónicos*

1. Función: Conducen a que la dieta sea más ácida aumentando los niveles de calcio en sangre, estimulando la movilización del calcio de los huesos y la absorción de calcio en el intestino delgado.
2. Dosis: Reducir DCAD de 0 a 50 meq/kg ó 5 meq/100g usando fuentes de cloro (cloruro cálcico, cloruro amónico, BioChlor, Animate, SoyChlor, y alimentos tratados con ácido clorhídrico).
3. Coste: 40 a 75 centavos por vaca seca y día dependiendo del producto utilizado.
4. Ratio beneficio:coste = 10:1.
5. Pauta de suministro: A las vacas secas dos o tres semanas antes del parto. Ajustar los niveles de calcio en la dieta a 120-150 g/d (30 g inorgánico). Elevar los niveles de magnesio en la dieta un 0,4 por ciento.
6. Estado: Recomendado.



*Aspergillus oryzae*

1. Función: Estimula la población de bacterias que digieren la fibra, estabiliza el pH ruminal y reduce el estrés calórico.
2. Dosis: 3 g al día.
3. Coste: 3 centavos por vaca y día.
4. Ratio beneficio:coste = 6:1
5. Pauta de suministro: En dietas altas en granos, con bajo pH ruminal, bajo condiciones de estrés por calor en vacas y en terneros que reciben una dieta líquida.
6. Estado: Evaluativo.

*Biotina*

1. Función: Mejoran las pezuñas al reducirse las verrugas en el talón, las lesiones en garra, separaciones, grietas y úlceras en la suela y aumentan la producción de leche a través de las rutas metabólicas.
2. Dosis: 10 a 20 miligramos por vaca y día durante 6 meses-1 año.
3. Coste: 8 a 10 centavos por vaca y día.
4. Ratio beneficio:coste = 4:1
5. Pauta de suministro: Vacas en lactación y rebaños con problemas crónicos de pezuñas pueden requerir la administración de suplementos durante 6 meses, seguido de una evaluación de la composición productiva. Se recomienda comenzar la suplementación a los 15 meses de edad.
6. Estado: Recomendado.

*Beta-caroteno*

1. Función: Mejora la reproducción, aumenta la digestión de la fibra, la respuesta inmune y el control de mastitis.
2. Dosis: 300 mg/d (niveles en sangre 1,5-3,5 microgramos/ml); 500 mg/d (niveles en sangre < 1,5 microgramos/ml).
3. Coste: 30-50 centavos por vaca y día.
4. Ratio beneficio:coste = No disponible.
5. Pauta de suministro: En la lactación temprana y durante períodos de peligro de mastitis.
6. Estado: Experimental.

*Propionato cálcico*

1. Función: Aumenta la glucosa en sangre y los niveles de calcio.
2. Dosis: 120-225 gramos (pienso); 450 gramos (húmedo)
3. Coste: 0,80 \$ por libra.
4. Ratio beneficio:coste = No disponible.
5. Pauta de suministro: Desde 7 días preparto hasta 7 días después del parto o hasta que vuelva a tener apetito; poco palatable.
6. Estado: Recomendado para suministro en húmedo.

*Colina (de la fermentación ruminal)*

1. Función: Donante de metilo utilizado para minimizar la formación de hígado graso y para mejorar la movilización de la grasa, lo que conduce a una mejora de la producción de leche y del rendimiento reproductivo.
2. Dosis: 15 a 30 g por día
3. Coste: 30 centavos por vaca y día
4. Ratio beneficio:coste = 2:1 (si está protegido)
5. Pauta de suministro: Dos semanas preparto hasta ocho semanas después del parto para vacas que experimenten cetosis, pérdida de peso, y alta producción de leche.
6. Estado: Experimental.

*Enzimas (fibrolíticas)*

1. Función: Aumentan la digestibilidad de la fibra (actividad celulásica, xilanásica) y el consumo de materia seca.
2. Dosis: No claramente definida (unidades enzimáticas por unidad de consumo de materia seca), amilasa (300 KNU).
3. Coste: 15 a 30 centavos por vaca y día
4. Ratio beneficio:coste = 2 a 3:1 (datos canadienses)
5. Pauta de suministro: Aumenta la digestibilidad de la fibra tratada 12 horas antes de la alimentación. Pulverizar sobre el producto es más eficaz cuando se aplica a dietas secas. Puede ser incluido en los inoculantes de ensilado para mejorar la digestibilidad de la FND.
6. Estado: Experimental.

*Enzimas (almidón-amilasa)*

1. Función: Las enzimas basadas en amilasa pueden mejorar la digestibilidad total de almidón y aumentan la producción de leche y la eficiencia alimenticia.
2. Dosis: 300 kNU por kg de consumo de materia seca. 1 kNU = approx 6 “Unidades Ceralpha” usando el ensayo Megazyme International para amilasa.
3. Coste: 15 centavos por día
4. Ratio beneficio:coste = 3:1 (estudio realizado en Wisconsin)
5. Pauta de suministro: Mejora la utilización de almidón de maíz.
6. Estado: Experimental.

*Compuestos de aceites esenciales (aceite de canela, aceite de clavo, y/o aceite de ajo)*

1. Función: Mejora la fermentación en el rumen mediante la reducción de la desaminación de proteínas, aumenta la producción de propionato, aumenta la eficiencia alimenticia.
2. Dosis: 0,5 a 1,5 g/vaca y día (niveles más altos pueden tener un impacto negativo)
3. Coste: Variando alrededor de seis centavos por vaca y día.
4. Ratio beneficio:coste = 7:1 (datos de Wisconsin)
5. Pauta de suministro: Aumenta la producción de propionato en el rumen y la eficiencia alimenticia.
6. Estado: Experimental.

*Estimulador de la inmunidad (OmniGen AF)*

1. Función: Impacto en la función inmune estimado por los cambios en la actividad de los neutrófilos, incluyendo la migración a través de las reacciones de la L-selectina, la fagocitosis, reacciones de oxidación que conducen a madominución de la SCC y alta producción de leche en relación con la mejora de la inmunidad. Puede reducir HBS o pérdidas intestinales de sangre.
2. Dosis: 56 gramos por día.
3. Coste: 13 centavos por día.
4. Ratio beneficio:coste = 7:1 al comienzo del periodo de lactación; 3:1 durante la lactación.
5. Período de tiempo: Desde el secado hasta 60 días después del parto.
6. Estado: Experimental.

*Óxido de magnesio*

1. Función: Alcalinizante (aumenta el pH del rumen) y aumenta la absorción de los metabolitos de la sangre por la glándula mamaria incrementado el contenido en grasa.
2. Dosis: 45 a 90 g por día
3. Coste: 21 centavos por 0,45 kg.
4. Ratio beneficio:coste = No disponible.
5. Pauta de suministro: Con buffers a base de sodio (relación de 2 a 3 partes de bicarbonato de sodio/S-Carb por cada de óxido de magnesio).
6. Estado: Recomendado como fuente de magnesio y asociado con bicarbonato en productos buffers.

*Metionina hidroxianálogo*

1. Función: Minimiza la formación de hígado graso, controla la cetosis, actúa como donante de metilo y mejora el nivel de grasa en la leche.
2. Dosis: 30 g
3. Coste: 10 centavos por vaca y día (1,60 \$ por libra)
4. Ratio beneficio:coste = 2:1
5. Pauta de suministro: Alimentar a las vacas en lactancia temprana cuando reciben altos niveles de concentrado incrementando el nivel de grasa en la leche.
6. Estado: Evaluativo.

*Monensina*

1. Función: Mejorar la eficiencia alimenticia de vacas en lactación, reducir la cetosis y desplazamiento del abomaso en vacas en transición al cambiar la fermentación ruminal y la composición de la fibra. La producción de leche puede aumentar. Control de cocci en terneros y terneras de recría.
2. Dosis: 11 g a 22 g por tonelada de porción de materia seca de la ración total consumida (250-400 mg/vaca y día), siendo los niveles más bajos para terneros y terneras de recría.
3. Coste: 1 centavo por 100 mg y día.
4. Ratio beneficio:coste = 5:1

5. Pauta de suministro: Alimentar a las vacas secas (reduce los trastornos metabólicos) y vacas en lactación (eficiencia de la alimentación) mientras se monitoriza los componentes de la leche para evaluar los niveles óptimos de monensina.
6. Estado: Recomendado.

*Niacina (B<sub>3</sub>, ácido nicotínico y nicotinamida)*

1. Función: Sistemas de coenzima en reacciones biológicas; mejora del balance energético en vacas al principio de la lactación, control de cetosis, y estimulación de los protozoos del rumen.
2. Dosis: 6 g no protegidos por vaca (preparto), 12 g no protegidos por vaca (después del parto), ó 3 g de rumen protegida (un gramo de rumen protegida sustituye a 8 g de niacina no protegida) y 3 g de no protegida para la función del rumen.
3. Coste: Un centavo por gramo de niacina no protegida; diez centavos para protegida.
4. Ratio beneficio:coste = 3:1 (12 gramos de nivel)
5. Pauta de suministro: Vacas de alta producción con balance negativo de energía, vacas secas (BCS > 3,5), y vacas propensas a sufrir cetosis alimentadas desde dos semanas preparto hasta el pico de consumo de materia seca (10-12 semanas después del parto).
6. Estado: Evaluativo.

*Prebióticos (probióticos no viables)*

1. Función: Estimular el crecimiento bacteriano o reducir el crecimiento de bacterias que puedan disminuir el rendimiento del animal. Los ejemplos incluyen la inulina (carbohidratos de reserva), oligofruktosa, productos de la pared celular de levadura, productos MOS, butirato (0,16 g/ litro de leche), lactoferrina (2 mg / ml de calostro).
2. Dosis: Varía según el producto y la marca.
3. Coste: 4 a 15 centavos por día.
4. Ratio beneficio:coste = No disponible.
5. Estrategia de alimentación: Suministrar a los terneros y a los animales expuestos a bacterias indeseables en el tracto digestivo.
6. Estado: Experimental.

*Probióticos (Bacterial direct-fed microbes)*

1. Función: Producir compuestos metabólicos que destruyan organismos indeseables, proporcionar enzimas que mejoren la disponibilidad de nutrientes, o desintoxicar metabolitos dañinos.
2. Dosis: No claramente definida.
3. Coste: 5 a 15 centavos por vaca y día.
4. Ratio beneficio:coste = No disponible.
5. Estrategia de alimentación: Suministrar a terneros con dieta líquida, vacas en transición, con altos niveles de almidón/hidratos de carbono fermentables en rumen y durante condiciones de estrés.
6. Estado: Evaluativa para las vacas; recomendado para terneros con dieta líquida (sustituto leche/lácteo).

*Propilenglicol*

1. Función: Fuente de glucosa en la sangre, estimular respuesta de insulina y reducir la movilización de grasa.
2. Dosis: 250 a 400 ml por vaca y día.
3. Coste: 1,25 por 0,45 kg.
4. Ratio beneficio:coste = No disponible.
5. Estrategia de alimentación: Suministrar comenzando a la semana preparto (papel preventivo) o después del parto, cuando se observan signos de cetosis. No es tan eficaz cuando se suministra líquida y puede reducir la ingesta de alimentos debido a la palatabilidad.
6. Estado: Recomendado.

*Inoculantes bacterianos del ensilaje*

1. Función: Estimular la fermentación del ensilaje, reducir la pérdida de materia seca, disminuir la temperatura de ensilaje, aumentar la digestibilidad de los alimentos, mejorar la estabilidad de la superficie forrajera, y aumentar la producción de AGV (lactato).
2. Dosis: 100.000 unidades formadoras de colonias (UFC) por gramo de ensilaje en húmedo. Bacterias recomendadas incluyen *Lactobacillus plantarium*, *Lactobacillus buchneri*, *Lactobacillus acidilacti*, *Pediococcus cereviseai*, *Pediococcus pentacoccus*, y/o *Streptococcus faecium*.
3. Coste: 0,80 a 3 \$ por 1.000 kg de ensilaje tratado.
4. Ratio beneficio:coste = 3:1 (recuperación de la alimentación) hasta 7:1 (mejora de la producción de leche).
5. Estrategia de alimentación: Aplicar a ensilaje húmedo (más del 65 por ciento de humedad); ensilaje de maíz, henolaje y maíz con alto contenido de humedad, condiciones de campo con bajos recuentos de bacterias naturales y en situaciones de fermentación pobres.
6. Estado: Recomendado.

*Bentonita sódica*

1. Función: Mineral de arcilla que se utiliza como aglutinante, reorienta el patrón de AGV, ralentiza la velocidad de tránsito, e intercambia los iones minerales. Puede

- captar micotoxinas como aglutinante (no legal para USDA - agencia reguladora FDA).
2. Dosis: 450 a 700 g por día (efecto rumen), 110 gramos como captador de micotoxinas.
  3. Coste: 15 centavos por vaca y día.
  4. Ratio beneficio:coste = No disponible.
  5. Estrategia de alimentación: Para dietas con alta concentración de granos, heces líquidas, presencia de moho y bajo contenido en grasa.
  6. Estado: Evaluativo.

#### *Bicarbonato sódico/sesquicarbonato de sodio (buffer)*

1. Función: Aumentar la ingesta de materia seca y estabilizar el pH ruminal.
2. Dosis: 0,75 por ciento del total de la ración de materia seca (200 a 300 g)
3. Coste: 6 centavos por vaca y día.
4. Ratio beneficio:coste = 4:1 a 12:1.
5. Estrategia de alimentación: En dietas altas en ensilaje de maíz (más del 60% de la ingesta total de forraje), raciones húmedas (más del 55% de humedad), raciones bajas en fibra (< 27% de FND), ingesta de heno limitada (< 2,2 kg), forraje picado en trozos pequeños, mezclas de granos granuladas y en condiciones de estrés por calor.
6. Estado: Recomendado.

#### *Cultivo de levadura y levadura*

1. Función: Estimular las bacterias que digieren la fibra, estabilizar el ambiente ruminal y utilizar ácido láctico.
2. Dosis: 10 a 120 g dependiendo de la concentración de cultivo de levadura (seguir las recomendaciones de la empresa).
3. Coste: 5 a 8 centavos por vaca y día.
4. Ratio beneficio:coste = 5:1.
5. Estrategia de alimentación: Dos semanas preparto a diez semanas postparto, pienso de arranque de terneros y períodos de estrés.
6. Estado: Recomendado.

#### *Extracto de yuca*

1. Función: Disminuir el nitrógeno de urea en el plasma y leche mediante la unión del amoniaco con el extracto de la planta *Shidigera Yucca*, mejorando la eficiencia del nitrógeno en rumiantes.
2. Dosis: De 800 miligramos a 9 gramos por día (dependiendo de la fuente).
3. Coste: 2 a 4 centavos por vaca y día.
4. Ratio beneficio:coste = No disponible.
5. Estrategia de alimentación: Para vacas con altos niveles de BUN y MUN.
6. Estado: Evaluativo.

#### *Metionina de zinc*

1. Función: Mejorar la respuesta inmune, endurecer los cascos de las pezuñas y producir menor SCC.

2. Dosis: 9 g por día.
3. Coste: 2 a 3 centavos por vaca y día.
4. Ratio beneficio:coste = 14:1.
5. Estrategia de alimentación: Para rebaños con trastornos de las pezuñas, con recuentos elevados de células somáticas y ambiente húmedo.
6. Estado: Recomendado.

## 7.- REFERENCIAS

- BEEDE, D.K., WANG, C., DONOVAN, G.A., ARCHBALD, L.F. y SANCHEZ, W.K. (1991) En: *Proc. FL Dairy Prod. Conf.* p. 1.
- DOWNER, J.F. y CUMMINGS, K.R. (1987) *J. Dairy Sci.* 70 (Suppl 1): 198.
- ERDMAN, R.A. (1988) *J. Dairy Sci.* 71: 3246.
- GALLIGAN, D.T., CHALUPA, W. y RAMBERG JR., C.F. (1991) *J. Dairy Sci.* 74: 902:910.
- GRUMMER, R.R. (2013) Choline: a limiting nutrient for transition dairy cows. Florida Ruminant Nutrition and Management Conf. Proc. pp.27-34.
- HOARD'S DAIRYMAN (2013) *Hoard's Dairyman 2013 continuing market survey.* Fort Atkinson, WI. p12.
- HUTJENS, M.F. (2008) *Feeding Guide*, 3<sup>rd</sup> edition. Hoard's Dairyman Book Department, Fort Atkinson, WI.
- HUTJENS, M.F. (1991) *Vet Clinics North Am.: Food Animal Practice.* 7:2:525.
- KUNG, L. JR. y MUCK, R.E. (1997) En: *Silage; Field to Feedbunk.* NRAES-99. p. 175.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (2001) *Nutrient Requirement of Dairy Cattle*, 7<sup>th</sup> edition. National Academy Press. Washington, D.C. p. 192.
- OVERTON, M.W. (2006) *Annual Convention Proceedings of AABP.* 39: 190.
- ROBINSON, P.H. y GARRETT, J.E. (1999) *J. Animal Sci.* 77: 988.
- RODES, L.M. y BEAUCHEMIN, K.A. (1998) En: *Western Canadian Dairy Seminar Proc.* Volume 10. p. 167.
- SANCHEZ, W. (2009) En: *Four State Conf Proc.* pp. 30-38.
- SEYMOUR, W.M. (1998) *Feedstuffs.* 70: 19:1.
- WEISS, W.P. y ZIMMERLY, C.A. (2000) *Effects of biotin on metabolism and milk yield of dairy cows.* Cornell Nutrition Conf. Proc. Cornell University. p. 22..

FEDONA