

Utilización de sales de ácido málico en rumiantes cebados en intensivo

C. Carrasco¹, S. Garrido¹ y M. Puyalto².

¹Imasde Agroalimentaria SL. ²Norel, S.A.

En los rumiantes, una gran parte de los componentes orgánicos de la dieta son degradados y fermentados en el rumen, de tal modo que la principal fuente de energía la constituyen los ácidos grasos volátiles (AGV) difundidos a través de la pared ruminal. La proporción entre los AGV producidos varía en función de la naturaleza de los hidratos de carbono empleados como sustrato y su velocidad de degradación.

Los hidratos de carbono de función estructural se degradan más lentamente en el rumen, obteniendo ácido acético como principal producto final, mientras que el almidón es rápidamente fermentado por las bacterias amilolíticas, produciendo mayoritariamente ácido propiónico, que sirve como fuente energética y precursor en la síntesis de glucosa, proteína y grasa corporal. No obstante, la velocidad de degradación del almidón depende mucho de

de la degradación de los hidratos de carbono, tiene gran importancia debido a que el ácido láctico es su principal producto de fermentación, y a que reduce la disponibilidad de sustratos necesarios para otros microorganismos amilolíticos (Asanuma e Hino, 2002). A concentraciones bajas, el ácido láctico producido es metabolizado por otras bacterias, entre ellas *Selenomonas ruminantium*, evitándose así su acumulación excesiva. Sin embargo, cuando se administran dietas ricas en carbohidratos

el origen de la acidosis ruminal (Figura 1), causando una disminución de la digestión de la fibra, el descenso de la ingestión de alimentos, diarreas, úlceras ruminales e incluso la muerte. La incidencia de acidosis subclínica en rumiantes, aunque no llegue a presentar estos síntomas tan drásticos, sí puede reducir la absorción de ácidos grasos volátiles durante un periodo prolongado de tiempo (Krehbiel *et al*, 1995), debido a una queratinización anormal del epitelio ruminal, reduciendo el aporte de energía

de acidosis subclínica eran muy eficazmente controlados por la adición de monensina sódica, que además tenía otras ventajas adicionales como la optimización de la fermentación, o la reducción de la producción de gases con efecto invernadero. Sin embargo, como es sabido, su uso está prohibido desde enero de 2006, por lo que es necesario desarrollar estrategias que permitan superar el efecto de la eliminación de este aditivo.

La inclusión de sales de ácido málico en las raciones Unifeed de terneros produjo un aumento significativo del pH ruminal

la fuente y por tanto de su naturaleza, siendo el almidón harinoso (tipo de la cebada o el trigo) mucho más rápidamente fermentable que el almidón vítreo (tipo maíz o sorgo), aportando por tanto perfiles de fermentación diferentes en función de la cantidad y tipo de fermentación.

El aporte masivo de carbohidratos fácilmente fermentables al metabolismo ruminal, estimula el crecimiento de las bacterias amilolíticas, principalmente *Streptococcus bovis*. Esta bacteria, a pesar de no ser la única responsable

rápidamente fermentables, se puede producir una acumulación de ácido láctico en el rumen y, en consecuencia, un descenso rápido del pH (Slyter, 1976; Russell e Hino, 1985; Russell y Strover, 1989). Si el pH desciende por debajo de seis, las bacterias *S. bovis* y *Lactobacillus spp.* se multiplican y sustituyen a los bacilos Gram negativos, lo que a su vez aumenta la concentración ruminal de ácido láctico (Kimberling, 1988; Zorrilla y Rowe, 1993; Goad *et al*, 1998). Este descenso acusado del pH rumi-

metabolizable. Estas alteraciones ocasionan pérdidas económicas no sólo debidas a la disminución de la producción, sino también a los problemas sanitarios, que además de tener importancia económica, afectan al bienestar de los animales (Cerrato-Sánchez *et al*, 2006).

En España, los sistemas habituales de producción de rumiantes de carne están basados en dietas concentradas más o menos ricas en energía (0,85-1,05 UFC/kg), y en paja a libre disposición. Tradicionalmente los problemas

Métodos alternativos a la utilización de monensina en dietas para rumiantes

Parte de la investigación en la alimentación de rumiantes dentro del marco europeo se ha orientado a la búsqueda de productos alternativos a los antibióticos ionóforos (monensina sódica) para evitar la incidencia de la acidosis ruminal en rumiantes en cebo intensivo. Las principales líneas de investigación se han centrado por un lado, en el estudio del efecto de los ácidos orgánicos o sus sales, bien como reguladores de la acidez, bien como metabolitos intermedios. Por otro lado se están evaluando otros aditivos, como pueden ser los aditivos de carácter microbiano, por ejemplo *Saccharomyces cerevisiae* (Nisbet y Martin, 1991; Garín *et al*, 2001)

o los extractos vegetales (Hristov *et al*, 1999; García-López *et al*, 1996; Evans y Martin, 2000; Cardozo *et al*, 2003; Busquet *et al*, 2004). Asimismo, recientemente se han abierto nuevas líneas de investigación basadas en los "Direct Feed Microbials" (Cerrato-Sánchez *et al*, 2006), que son bacterias vivas inoculadas en rumen, como *Megaesphaera elsdenii* o *Propionobacterium* (Ghorbani *et al*, 2002).

Efecto del malato sobre el metabolismo ruminal

Selenomona ruminantium representa hasta un 51% del recuento de bacterias ruminales viables en animales que reciben raciones con altas proporciones de concentrados (Caldwell y Bryant, 1966). Cuando esta bacteria se cultiva con glucosa, tiene lugar la fermentación homoláctica (Hobson, 1965). Sin embargo, una vez que se ha agotado la glucosa del medio, algunas subespecies (*S. ruminantium lactilytica*) son capaces de fermentar el lactato y emplearlo como fuente de energía (Scheifinger *et al*, 1975; Stewart y Bryant, 1988). Para comprender estos efectos debemos partir de que la *S. ruminantium* emplea la vía succínica, en la que tanto el malato como el fumarato son metabolitos intermedios (Gottschalk, 1986). El efecto de aspartato, el fumarato y el malato sobre el crecimiento de *S. ruminantium* se debe a que éstos compensan la falta de oxalacetato asociada con la gluconeogénesis, bien transformándose en éste, en el caso de fumarato y malato, o sustituyéndole, en el caso del aspartato (Lineham *et al*, 1978; Martin y Park, 1996). Además, el malato puede ser un sumidero de electrones para el hidrógeno, lo que aumenta la utilización de lactato por parte de *S. ruminantium*

La adición de malato a la dieta de rumiantes con una acidosis subclínica (pH ruminal ≤ 6,0) debida a la administración de carbohidratos rápidamente fermentables puede mejorar la capacidad de la bacteria *S. ruminantium* HD4 para utilizar el lactato a ese pH, lo que permite a su vez evitar un descenso drástico del pH y los problemas asociados a esta patología.

Al mismo tiempo, niveles crecientes de malato (0, 4, 7, 10 mM) aumentan significativamente la tasa de fermentación *in vitro* del maíz, la cebada, el trigo y el sorgo (Carro y Ranilla, 2003), aumentando además el crecimiento microbiano para una dosis de 8 mM (Tejido *et al*, 2005). Este mayor creci-

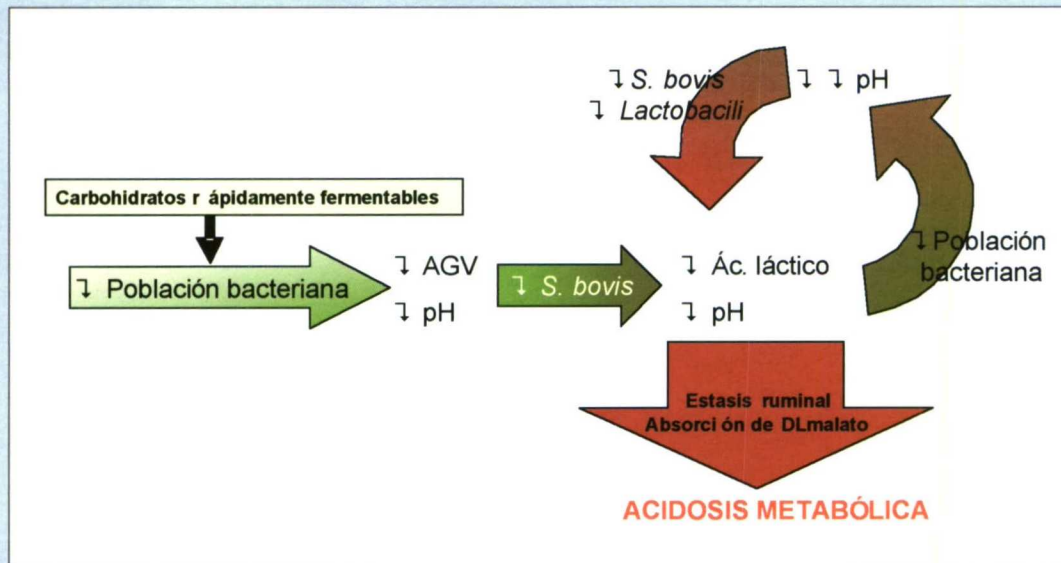


Figura 1. Principales factores que intervienen en el desarrollo de la acidosis láctica (adaptado de Cerrato-Sánchez *et al*, 2006).

(Nisbet y Martin, 1991; Martin y Park, 1996).

De manera resumida, una vez que el ácido láctico penetra en una célula bacteriana será transformado en oxalacetato y posteriormente en fumarato. El malato actúa aportando un electrón al hidrógeno del medio, el cual constituirá el poder reductor necesario para la transformación de fumarato en succinato, que posteriormente será transformado en propionato (Figura 2).

La adición de malato a la dieta de rumiantes con una acidosis subclínica (pH ruminal ≤ 6,0) debida a la administración de carbohidratos rápidamente fermentables puede mejorar la capacidad de la bacteria *S. ruminantium* HD4 para utilizar el lactato a ese pH, lo que permite a su vez evitar un descenso drástico del pH y los problemas asociados a esta patología.

Al mismo tiempo, niveles crecientes de malato (0, 4, 7, 10 mM) aumentan significativamente la tasa de fermentación *in vitro* del maíz, la cebada, el trigo y el sorgo (Carro y Ranilla, 2003), aumentando además el crecimiento microbiano para una dosis de 8 mM (Tejido *et al*, 2005). Este mayor creci-

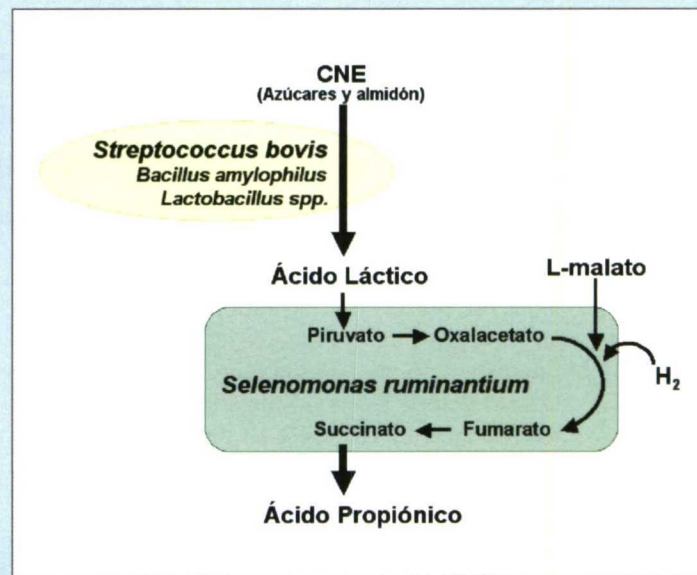


Figura 2. Metabolismo ruminal del ácido láctico y papel del L-malato en el mismo.

miento puede deberse al aumento significativo de la producción de ácidos grasos volátiles obtenido, principalmente debido a la fermentación del propio malato (Tejido *et al*, 2005). En concreto, se produce un aumento significativo de la producción de ácidos butírico y propiónico, mientras que la relación acético:propiónico disminuye linealmente con niveles crecientes de malato (Carro y Ranilla, 2003). Un aumento en la producción de ácido propiónico implica un incremento en la disponibilidad de sustrato para la síntesis de glucosa, y por tanto de

la energía disponible para el crecimiento del animal.

Por otro lado, la inclusión de malato reduce un 5,4% la producción de metano en dietas con una proporción de forraje:concentrado elevada (20:80; Tejido *et al*, 2005) lo que aumenta el rendimiento energético de la ración, y reduce el impacto ambiental producido por las emisiones de metano.

Efecto del malato en rumiantes explotados en sistemas de cebo intensivo

La adición de ácidos orgánicos a la dieta, se puede reali-

Cuadro I. Efecto de la inclusión de sales de ácido málico sobre la productividad: ganancia media diaria (GMD), consumo medio diario (CMD), e índice de conversión (IC) de terneros en cebo.

Referencia	Periodo experimental (rango de kg PV)	Tratamiento	Parámetros Productivos*		
			GMD (kg/d)	CMD (kg/d)	IC (kg/kg)
Carrasco <i>et al</i> , 2007 Experimento 1	214-337	Control (cebada 21%; trigo 28%)	1,06	6,45	6,10
		Control + 0,2% sales de á. málico	1,08	6,42	5,93
		Probabilidad	NS	NS	NS
Carrasco <i>et al</i> , 2007 Experimento 2	400-680	Dieta Unifeed Control con silo de maíz	1,57	-	7,62
		Dieta Unifeed Control + 20 g/ternero/d sales á. málico	1,72	-	7,19
		Probabilidad	<0,05	-	NS
Carrasco <i>et al</i> , 2007 Experimento 3	438-680	Dieta Unifeed Control sin silo de maíz	1,73	-	4,67
		Dieta Unifeed Control + 20g/ternero/d sales de á. málico	1,90	-	4,42
		Probabilidad	<0,10	-	<0,10

* Letras diferentes en una misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos (P<0,05). NS: no significativo (P>0,05).

Los productos que contienen malato son aditivos de uso potencial en la alimentación de los rumiantes en intensivo que palían parcialmente la retirada de la monensina sódica

zar tanto en su forma de ácido, en este caso ácido málico (C₄H₆O₅), como en forma de sal, principalmente malato cálcico o malato disódico (Castillo *et al*, 2006). Estudios previos realizados *in vitro* (Martín y Streeter, 1995), indican que el efecto del ácido málico libre en rumen es similar al del malato disódico, aunque su estructura química implique diferentes efectos sobre el líquido ruminal, puesto que el ácido málico aporta protones al medio, lo que contribuye al descenso del pH ruminal. Asimismo, otro factor clave es la mayor facilidad en el manejo de las sales de ácido málico en las fábricas de pienso que el ácido orgánico, lo que en la actualidad supone un factor claro a la hora de adquirir una u otra fuente.

Recientemente, se han realizado estudios *in vivo* para comparar el efecto del ácido y sus sales en terneros en cebo (Castillo *et al*, 2006), sin encontrar diferencias en los parámetros productivos

debido a la utilización de una u otra fuente del ión malato. Por otro lado, estudios metabólicos indican que sólo las sales de ácido málico son capaces de contrarrestar el descenso natural del pH sanguíneo en una dieta acidogénica (Castillo *et al*, 2006). De hecho, el malato disódico puede ser efectivo como buffer no sólo por las propiedades del ácido orgánico, sino por el aporte del catión de sodio, que puede ayudar a aumentar del pH (Castillo *et al*, 2004). Así pues, existe una acción sinérgica de tal modo que concentraciones de sodio entre 25 y 100 mM estimulan el consumo de L-lactato por *S. ruminantium* en presencia del 10 mM de ión malato (Nisbet y Martin, 1994).

Los primeros ensayos realizados estudiaron el efecto de la inclusión de diferentes dosis de malato en terneros en cebo. En algunos ensayos, se observó una mejora de los parámetros productivos, y especialmente de la eficiencia

de los terneros al incluir 27,2 g/d (Sanson y Stallcup, 1984) y 80 g/d (Martin *et al*, 1999) de malato en la dieta. Asimismo, Martin *et al* (1999), observaron un aumento lineal del crecimiento de los animales a mayor inclusión de malato en los primeros 84 días de cebo. En cuanto a los efectos metabólicos de malato, Streeter *et al* (1994) y Martin *et al* (1999) comprobaron cómo éste evita el descenso del pH ruminal una hora después de la ingestión del alimento, sin afectar a la concentración de propionato, butirato o L-lactato. Por otro lado, Kung *et al* (1982) observó un aumento en la concentración total de AGV, y especialmente del ácido propiónico al incluir en la dieta 100 ó 200 mg de malato por kilogramo de peso vivo en la dieta. No obstante, en otros ensayos no se observó ningún efecto sobre los parámetros productivos (Hill *et al*, 1997; Martin *et al*, 1999), ni sobre la producción de AGV (Montaño *et al*, 1999),

ni sobre la ingestión de materia seca, ni la calidad de la canal (Martin *et al*, 1999; Kung *et al*, 1982) al incluir malato en la dieta.

Estudios más recientes realizados siguiendo el sistema de cebo típico de España (Carrasco *et al*, 2007. Experimento 1) encontraron mejoras numéricas en los parámetros productivos cuando se incluyó en la dieta malato (**Cuadro I**). Por otro lado, la inclusión de sales de ácido málico en dietas Unifeed con o sin ensilado de maíz, mejoró el crecimiento de los terneros de cebo, especialmente en el caso en el que la ración no incluyó en ensilado de maíz (Carrasco *et al*, 2007. Experimentos 2 y 3). Asimismo, la inclusión de sales de ácido málico en las raciones Unifeed produjo un aumento significativo del pH ruminal del 2,3% como media en ambos ensayos a partir de los 30 primeros días de administración de las dietas.

En corderos de cebo (**Cuadro II**), los primeros resultados obtenidos por Garín *et al* (2001) indicaron un incremento de la ingestión de concentrado y una mejora del índice de conversión del pienso cuando se añadía una mezcla de levaduras (*Saccharomyces*

cerevisae) y sales de ácido málico en diferentes concentraciones (0,2 y 0,3%). En este caso, la respuesta fue más elevada a dosis moderadas del producto, ya que la dosis de 0,2% mejoró el índice de conversión en un 7%. Sin embargo, el pH ruminal y el grado de paraqueratinización de la mucosa ruminal al sacrificio no se vieron afectados por la adición de la combinación de malato y *S. cerevisae*, así como tampoco el rendimiento y el grado de conformación de la canal. Posteriormente, Flores *et al* (2003abc) estudiaron el efecto de la inclusión de un 0,2% de sales de ácido málico en el concentrado, que produjo un aumento de la velocidad de crecimiento y una mejora del índice de conversión cuando los animales recibieron pienso granulado, con altos contenidos en maíz o cebada, y paja *ad libitum*. Los efectos obtenidos fueron más marcados para la ración basada en cebada, apreciándose cambios significativos en el pH del rumen, que fue más elevado, y en las características del epitelio ruminal. Asimismo,



las sales de ácido málico redujeron la gravedad de la paraqueratosis ruminal y aumentaron el número de las papilas ruminales funcionales. Además, produjeron importantes mejoras en la digestibilidad del pienso en condiciones *ad libitum*, en especial de la fibra, y puso en evidencia el bajo consumo de paja por los corderos y su incapacidad de modificarlo para compensar los efectos de la acidosis ruminal (Flores *et al*, 2003a).

Por el contrario, en estudios recientes (Cuesta *et al*, 2003; Carro *et al*, 2006) no se observaron efectos posi-

vos de la suplementación de raciones basadas en cebada (60%) y maíz (30%) con malato en una dosis de 0,4% ó 0,4% y 0,8% respectivamente.

Conclusiones

Se concluye que los productos que contienen malato son aditivos de uso potencial en la alimentación de los rumiantes y que parcialmente palían la retirada de la monensina sódica. Además, el uso de las sales de ácido málico impide la aportación de protones al rumen, aporta sodio que puede favorecer la regulación del pH ruminal, y reduce el ma-

nejo y la peligrosidad del producto en fábrica. No obstante, los resultados de los trabajos *in vitro* e *in vivo* indican que la respuesta depende de las características de la ración y el sistema de producción, por lo que probablemente sean más efectivos en determinadas situaciones. Por otro lado, con la información disponible es difícil determinar la dosis óptima en función de las diferentes condiciones productivas. Es necesario realizar más ensayos para determinar las dosis óptimas de malato en función de las características de la ración y del sistema de producción. ●

Cuadro II. Efecto de la inclusión de sales de ácido málico sobre la productividad -ganancia media diaria (GMD), consumo medio diario (CMD) e índice de conversión (IC)-, y el pH ruminal de corderos en cebo.

Referencia	Tratamiento	Parámetros Productivos*			
		GMD (g/d)	CMD (g/d)	IC (g/g)	pH rumen
Carro <i>et al</i> , 2006	Control (50% cebada, 30% maíz)	278	784	3,03	-
	Control + 0,4% sales de ác. málico	307	861	2,94	-
	Control + 0,8% sales de ác. málico	276	787	3,03	-
	Probabilidad	NS	NS	NS	-
Cuesta <i>et al</i> , 2003	Control (50% cebada, 30% maíz)	292	821	3,01	-
	Control + 0,4% sales de ác. málico	308	891	3,10	-
	Probabilidad	NS	NS	NS	-
Flores <i>et al</i> , 2003bc	Control (cebada 66%)	259 ^b	948 ^a	3,81 ^a	6,87 ^b
	C - cebada + 0,2% sales de ác. málico	330 ^a	923 ^a	2,88 ^b	7,05 ^{ab}
	Control (maíz 60%)	299 ^a	913 ^a	3,25 ^b	6,94 ^{ab}
	C - maíz + 0,2% sales de ác. málico	307 ^{a^b}	844 ^b	2,90 ^a	7,13 ^a
	Probabilidad	0,01	0,01	<0,01	0,02
Garín <i>et al</i> , 2001	Control	262	846	3,26 ^a	6,71
	Control + 0,2% sales de ác. málico y <i>S. cerevisae</i>	263	743	3,03 ^b	6,68
	Control + 0,3% sales de ác. málico y <i>S. cerevisae</i>	254	805	3,17 ^{a^b}	6,68
	Probabilidad	NS	0,05	0,05	NS

* Letras diferentes en una misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos (P<0,05). NS: no significativo (P>0,05).