

Uso de subproductos industriales en la nutrición de bovinos de leche: una oportunidad para la lechería nacional

Pablo Chilibroste, Ing. Agr. PhD.

Facultad de Agronomía (UdelaR), Departamento de Producción Animal y Pasturas, EEMAC

Introducción

En los últimos años, con el aumento de los precios de los granos (maíz, soja, trigo, etc.) destinados a la alimentación de los rumiantes, se observa un creciente interés por el uso de alimentos alternativos, tanto en producción de carne como de leche. En este grupo de alimentos alternativos, los subproductos agroindustriales tienen un papel destacado a cumplir. Los sistemas intensivos de producción animal exploran permanentemente alternativas para disminuir los costos de alimentación. La inclusión de subproductos de cosecha o industriales constituye una oportunidad única desde esta perspectiva, sustituyendo fuentes demandadas por la nutrición humana (maíz, trigo) por fuentes que no compiten en este mercado (afrechillos, expellers, residuos de cosecha). Adicionalmente, en la mayoría de los casos, los subproductos industriales tienen alto potencial contaminante, lo que obliga a incorporarlos en costosos procesos de tratamiento, de no tener una fuente alternativa de uso.

Los sistemas de producción se enfrentan al desafío de aumentar los niveles de productividad utilizando alimentos de menor densidad energética que los granos, valorizando el uso de residuos de cosechas y/o subproductos industriales. En este desafío, quien está llamado a jugar un rol clave es **“el potente fermentador natural”** con que carga cada uno de los millones de rumiantes que producen carne, lana y leche en Uruguay. Tienen las vacas (tenemos nosotros) la enorme responsabilidad de ser cada vez más eficientes en la conversión de toneladas de celulosa, hemicelulosa y pectinas (provistos por diferentes fuentes de forraje y subproductos industriales) en toneladas de lactosa y proteína animal (y la grasa que los acompaña). Esta **“visión del problema”** está en la base de nuestra propuesta de investigación para integrar la producción animal en el marco del desarrollo agroindustrial del Uruguay.

Los objetivos de este trabajo son: 1. demostrar desde una mirada nutricional la inevitabilidad de una complejidad creciente en el proceso de alimentación de vacas lecheras de alta producción, 2. ubicar a los subproductos industriales como potenciales viabilizadores de este proceso, 3. repasar algunos antecedentes del grupo de lechería de la EEMAC en esta área de investigación y 4. analizar el potencial de uno de los nuevos co-productos disponibles en Uruguay (glicerina cruda) en la alimentación del ganado lechero.

Alta producción de leche individual implica alta complejidad en el proceso de alimentación

En vacas lecheras los carbohidratos constituyen la principal fuente de nutrientes que aportan energía ya sea como polisacáridos estructurales (pectinas, celulosas y hemicelulosa), polisacáridos de reservas (almidones y fructosanos) o polisacáridos simples. Constituyen además la fuente primaria de energía para el desarrollo de la población microbiana y últimamente tienen un rol fundamental en la estabilización o desestabilización del funcionamiento del rumen. Tanto carbohidratos estructurales como no estructurales difieren en su comportamiento en el rumen (Tamminga et al., 1990) en términos de tasa y extensión de fermentación y por tanto en producción y acumulación de ácidos grasos volátiles los que por un lado constituyen una fuente significativa de sustrato cetogénico y glucogénico para el rumiante (una vez que pasan del rumen al metabolismo intermediario) pero también un factor de inestabilidad del medio ambiente ruminal dada su estrecha asociación con los valores de pH en el rumen (Chilibroste et al., 2008).

Las proteínas vegetales en la dieta de los rumiantes también juegan dos roles fundamentales: proveen N para el crecimiento y síntesis de proteína microbiana de los microorganismos del rumen (principal fuente de aminoácidos esenciales para el animal huésped) y constituyen también una importante fuente de aminoácidos. Los aminoácidos de origen alimentario absorbidos a nivel intestinal más los aminoácidos aportados por la población microbiana constituyen el pool de sustrato aminogénico del que dispone la vaca lechera para procesos de mantenimiento, producción y reproducción.

La intensificación de la producción lechera lleva a un uso cada vez más alto de concentrado en las dietas de las vacas lecheras (Chilibroste, 2011). Los diferentes ingredientes en las dietas dan lugar a diferentes perfiles de fermentación y condiciones de ambiente ruminal dada las propiedades fermentativas de los mismos. Esta situación ha impulsado intensivamente desde los años 1980 a la fecha (ej. De Visser et al. 1980; Nocek y Russell, 1988; Tamminga et al., 1990) el estudio del comportamiento a nivel ruminal de las fracciones fibra, almidón y nitrógeno de granos y subproductos industriales. Tanto la necesidad de combinar alimentos con perfiles de nutrientes y comportamiento nutricionales diferentes, como las limitantes que poseen diferentes alimentos en forma individual (ej. nivel y fermentabilidad del almidón, concentración de grasas poli-insaturadas, concentración de minerales, etc.) han determinado que los alimentos para vacas lecheras de alta producción se complejicen en forma creciente. Esto puede ser visto como un freno al avance de la lechería de alta producción o como una oportunidad de repensar los modelos de intensificación de la producción de leche. A la complejidad natural que ha ido incorporando la ganadería lechera de alta producción se suma en los últimos años la competencia por insumos tradicionalmente utilizados en la alimentación animal y humana por otros destinos tales como la producción de etanol y biodiesel.

Uno de los ejemplos paradigmáticos de reconversión es la lechería de California que pasó de un sistema de producción basado en la suplementación con granos a un sistema de muy alta producción individual basado en suplementación con fibra de alta digestibilidad (tanto forrajes como subproductos industriales). No deja de ser también un buen ejemplo de integración entre una industria horti-frutícola intensiva y

una industria láctea eficiente y competitiva (en el contexto de la economía americana). Para ilustrar este concepto se presenta los ingredientes (Cuadro 1) y composición química (Cuadro 2) que forman parte de las dietas de vacas de alta producción en 10 tambos de California (tomado de Swanepoel et al., 2010). Como se puede observar se combinan diferentes fuentes de forraje, tipos de granos y una multiplicidad de residuos de la agro-industria horti-frutícola de la región. Además de utilizar muchos ingredientes como fuente de energía y proteína se hace un uso intensivo del conocimiento tanto en nutrición de rumiantes como en el comportamiento nutricional de los alimentos y sus fracciones. Son llamativos los niveles de almidón en torno al 15 % de la MS total, contrastantes con los obtenidos en dietas comúnmente utilizadas en la suplementación de ganado lechero de alta producción en la región (30 % o mayor). Otro aspecto remarcable es la cantidad de alimentos caracterizados como misceláneos donde algunos son usados en forma generalizada y otros muy puntualmente. Esta estrategia de alimentación le permite a los tambos de California reportados por Swanepoel et al. (2010) niveles de producción de 41.5 L promedio en unidades de producción que oscilan entre 1000 y 5000 animales lactando. El fin de esta sección no es un alegato a favor de la lechería californiana que ciertamente tiene muchos puntos débiles sino la ilustración del concepto de complejización del proceso de alimentación y las oportunidades que le brinda a la lechería la integración con una agro-industria de productos vegetales en este caso horti-frutícola.

La industria animal uruguaya es importadora de subproductos industriales especialmente fibras y proteínas de origen vegetal. Para el período 2008-2011 hay registrados permisos de importación por 53039 toneladas por año de afrechillo de trigo, 84449 toneladas año de harina de girasol, 32186 toneladas año de harina de soja y 113256 toneladas de residuos de soja (que no son harina de soja) (Fuente: ALUR en base a Sistema Monitoreo Importaciones). Con la puesta en marcha de la nueva ley de biocombustibles y los consecuentes planes de producción de biodiesel y etanol, Uruguay pasará a ser autosuficiente en disponibilidad de sub-producto industriales provenientes de los procesos involucrados. Harinas de soja, canola y girasol, granos de destilería de sorgo y maíz y glicerina cruda serán los subproductos dominantes.

Cuadro 1

Perfil de ingredientes (g/100 g DM) en dietas de grupos de alta producción en 10 tambos de California (Adaptado de Swanepoel et al., 2010)

Farm number	1	2*	3	4	5	6	7	8	9	10
Forages										
Lucerne chop	22.62	16.85	19.27	18.9	9.73 8.18	21.75		24.17	23.82	20.52 5.13
Lucerne hay		7.24	4.69							
Lucerne silage										
Maize earlage	16.31	19.56	23.14		18.39	13.43	12.04	21.79	16.5 23.26	23.8
Maize silage									1.65	
Oat straw/hay										
Rice straw				14.81			14.65			
Wheat silage					1.52					
Wheat straw/hay										
Plant products, grains and seeds										
Almond hulls	7.24	10.90	2.80	8.70	13.39	22.01	4.94	6.99		
Barley, rolled							5.43			
Beet pulp shreds							7.90			
Brandy pomace										
Canola pellets		6.10		4.54			7.42			
Carrot pulp				4.66						
Citrus pulp	3.37									
Maize grain, flaked	15.02	10.03	18.43	24.77	17.64	15.18	18.69	15.70	8.40	19.81
Maize grain, ground			1.64							
Maize gluten feed		6.12								
Maize gluten meal			0.34							
Cottonseed, whole linted	4.50		8.48	6.52	6.25	6.62		6.51	6.67	7.75
Cottonseed, ground pima		6.24					11.39			
Cottonseed, meal										6.27
Distillers grains, dry	8.97	9.22	3.50	7.35	6.77	8.53	7.12	4.98	6.58	5.95
Distillers grains, wet										
Linseed, meal									7.79	
Linseed, pellets					6.76					
Rice bran	2.64									
Soy hulls			1.69							
Soybean, meal	6.17		6.63	5.47		6.71		6.70		
Soyplus			1.09					0.41		
Wheat midds/millrun	5.28				8.15		7.61	4.27		
Miscellaneous										
Almond shells										
Blood meal			0.72							
Maize/distillers syrup							0.88			
Fat (animal)										
Fat (liquid)	0.97									
Fat (rumen inert)								0.69		
Fish meal			1.09	1.28			1.41	0.36	0.77	1.81
Generator D ^a								0.40		
Millrun+tallow mix			0.0004							
Mineral mixes										
Molasses	0.69	7.73**	2.19	1.51	1.78	2.1	0.52	0.35	0.96	2.19
Prolac			0.97		1.42			3.45	2.33	
Salt									0.69	
Sodium Bicarbonate	0.49		0.74	0.99		0.73		0.45	0.59	0.92
Urea	0.29		0.14	0.46		0.60		0.37		0.56
Water										
Whole Cottonseed replacer			0.02	0.03	0.01					
Whey (liquid)	5.13		2.38			2.34		2.31		5.30
Yeast	0.3									
Total amount of maize products used	40.30	44.93	47.05	32.12	42.80	37.14	38.73	42.47	54.74	49.56

Cuadro 2

Composición química de las dietas de grupos de alta producción en 10 tambos de California (Adaptado de Swanepoel et al., 2010)

Farm number	1	2	3	4	5	6	7*	8*	9	10
DM	55.20	61.63	55.51	57.20	61.65	59.60	63.10	59.29	62.22	52.00
OM	92.40	91.89	90.87	90.99	92.54	92.17	93.15	90.59	91.59	91.40
CP	17.31	18.16	17.47	16.28	16.00	15.88	17.13	17.38	17.98	16.84
ADICP¹	5.44	5.88	5.72	7.29	6.45	7.30	6.38	6.30	4.45	5.57
SolCP²	39.42	38.39	37.31	37.92	35.70	39.68	34.82	40.39	40.92	39.16
aNDFom³	27.05	31.40	27.70	28.95	31.90	28.80	31.25	29.90	30.65	29.05
dNDF₃₀⁴	47.72	52.40	44.26	46.49	44.11	41.18	53.75	41.27	46.85	46.87
ADFom³	18.30	20.00	19.10	21.25	20.75	19.60	19.65	20.80	19.30	20.15
Lignin(sa)	3.50	4.80	2.75	4.95	4.85	4.90	4.40	4.75	3.43	4.25
Starch	15.90	15.35	22.10	19.50	18.25	16.30	19.40	20.40	20.63	20.60
Fat	5.47	5.39	4.68	4.84	5.14	5.19	5.95	5.04	5.09	5.09
Sugars	4.90	3.25	2.95	3.25	4.55	4.90	3.55	3.25	2.03	1.60
NE_L (MJ/kg)⁵	7.50	7.35	7.07	7.09	6.98	7.04	7.60	6.80	7.11	7.19
Ca	0.96	0.82	1.03	0.91	0.79	0.72	0.64	1.04	0.76	0.94
P	0.43	0.53	0.36	0.42	0.44	0.48	0.44	0.50	0.43	0.42
K	1.48	1.55	1.73	1.74	1.60	1.84	1.53	2.06	1.63	1.77
Mg	0.35	0.29	0.42	0.33	0.36	0.30	0.27	0.33	0.40	0.37
S	0.25	0.35	0.25	0.27	0.27	0.22	0.29	0.27	0.34	0.24
Na	0.35	0.36	0.43	0.52	0.26	0.38	0.21	0.41	0.32	0.50
Cl	0.57	0.54	0.65	0.73	0.59	0.58	0.48	0.83	0.64	0.46
<i>ppm DM</i>										
Zn	59.5	63.0	78.5	103.5	73.5	43.0	52.5	103.0	71.5	67.5
Mn	40.5	46.0	77.5	69.0	69.0	32.0	38.5	95.5	62.8	58.5
Fe	282.0	313.5	410.0	272.5	164.5	304.5	188.5	286.0	385.3	193.5
Cu	10.3	21.4	18.2	24.3	12.6	8.0	6.8	25.7	12.2	23.2
Co	0.2	0.5	1.3	1.2	0.7	0.2	0.2	1.1	1.2	0.3
Se	0.35	0.44	0.39	0.46	0.52	0.25	0.25	0.60	0.44	0.22

c Materia Orgánica.

d Proteína (PC) insoluble en detergente ácido como estimador de PC indigestible (g/100 g of CP).

e PC Soluble (g/100 g of CP).

f Fibra Detergente Neutro tratada con amilasa (aNDF) expresada libre de cenizas.

g 30 h digestibilidad in vitro de aNDF (g/100 g of aNDF).

h Fibra Detergente Acido libre de cenizas

i Lignina extraída con ácido sulfúrico

j Energía Neta de Lactación estimada en base a Robinson et al. (2004).

Utilización de subproductos industriales como alimento para ganado lechero: antecedentes del grupo lechería EEMAC

El grupo realizó un número importante de trabajos de evaluación de las propiedades fermentativas y valor nutritivo de subproductos industriales que cubrieron la industria citrícola (pellet de citrus, pulpa fresca), azucarera (pellets de remolacha), arroceras (puntita de arroz), cervecera (brote de malta), lechera (suero de leche) y hortícola (brócoli y coliflor). En todos los casos los trabajos tuvieron como objetivo principal responder a demandas del sector industrial, principalmente del área de influencia de la EEMAC aunque también se realizaron trabajos en acuerdo con industrias ubicadas al norte (Calnú y Calagua) y Este (Industria Arroceras) del país.

Quizás uno de los trabajos de mayor impacto en ésta área fue el realizado en acuerdo con Azucitrus S.A. en torno a la evaluación nutricional del pellets de citrus subproducto resultante de la producción de jugos para exportación. En el año 1988 Azucitrus S.A. exportaba el 100 % del pellet producido, proceso que consumía muchos recursos de la empresa y dejaba márgenes muy reducidos. Una primera evaluación a nivel analítico de la composición química y la cinética de fermentación ruminal del pellet de citrus determinó la necesidad de ajustes en el proceso industrial durante el secado y pelleteado del material. Una vez realizado estos ajustes las evaluaciones del pellet de citrus desde el punto de vista nutricional resultaron altamente satisfactorias. El siguiente paso consistió en la realización de pruebas a campo con vacas lecheras con la hipótesis de que era factible sustituir los suplementos más comúnmente utilizados por los productores de leche en esos momentos por pellets de citrus sin deprimir la producción de leche y eventualmente con mejoras en los contenidos de sólidos de la misma. Estas hipótesis fueron probadas directamente a nivel comercial (Bidegain et al., 1992; Raddicioni et al., 1993) y rápidamente el pellet de citrus fue adoptado como suplemento energético por los productores de leche de la región.

El vínculo con la industria citrícola tuvo una segunda etapa que contempló trabajar con la pulpa de citrus fresca (previo al proceso de deshidratado y pelleteado). En esa oportunidad se evaluaron distintas alternativas de ensilaje de la pulpa de citrus sola o en mezclas con diferentes proporciones de pasturas, obteniendo excelentes resultados desde el punto de vista de las características fermentativas y del valor nutritivo del producto final. La mezcla de pulpa de citrus con forraje verde premarchitado resultó en reducciones significativas en los niveles de pérdidas por efluentes durante el proceso de ensilado y en un producto final de muy buen valor nutritivo (Bruni et al. 2000). Arocena y Benia en el año 2000 utilizando ensilaje de pulpa de citrus mezclada con forraje verde premarchitado como única fuente de alimentación reportaron ganancias de peso mayores a 1.2 kg de peso vivo por día en recría holando durante un periodo de 90 días. Los trabajos desarrollados en esta etapa permitieron concluir que la pulpa de citrus es de fácil ensilabilidad y que la utilización de inoculantes reduce las pérdidas del proceso de fermentación en forma significativa (Bruni et al. 2000). Adicionalmente se estableció que la técnica de ensilar la pulpa fresca mezclada con pasturas de leguminosas y gramíneas premarchitas mejora significativamente la ensilabilidad del forraje fresco, permite preservar muy bien las fracciones nutricionalmente importantes determinando finalmente un alimento mejor balanceado en la relación energía:proteína y de alto valor nutritivo. Es de destacar que la reducción significativa ($p < 0.01$) en la

producción de efluentes del ensilaje es una característica deseable no sólo desde el punto de vista nutricional sino también desde el ambiental ya que el efluente de ensilajes tiene un potencial contaminante hacia al medio ambiente muy alto y de difícil control. Si bien estos trabajos no se continuaron quedaron una serie de tecnologías maduras para ser incorporadas a la producción animal en cuanto las relaciones de precio, de mercado o ambientales las justifiquen.

De menor impacto a nivel productivo pero igualmente interesante desde el punto de vista técnico y académico fueron las evaluaciones de potencial de ensilabilidad de subproductos resultantes del procesamiento de productos hortícolas como brócoli y coliflor (Bruni et al. 2001). El brócoli puede ser ensilado fácilmente con buenas características de fermentación y organolépticas. El uso de melaza como aditivo incrementó las pérdidas de materia seca (9.44 vs 38 % para tratamientos sin y con agregado de melaza). Al igual que con la pulpa de citrus se evaluaron absorbentes naturales como heno de moha y despunte de caña de azúcar incorporados durante el procesos de ensilado en distintas proporciones. En este caso los absorbentes evaluados no lograron retener los efluentes generados por los tratamientos que incluyeron la suplementación del material con melaza. Al incrementar los niveles de inclusión de despunte de caña mejoraron las características fermentativas de la mezcla dado las buenas características de ensilabilidad del despunte de caña (Bruni et al. 2001).

En el año 2008 el grupo de Lechería EEMAC comenzó una nueva etapa en la investigación de subproductos industriales en acuerdo con ALUR S.A. El **objetivo general del proyecto es valorizar el uso de subproductos y co-productos de los procesos agrícolas y agroindustriales vinculados al complejo agroindustrial de producción de azúcar, alcohol y biodiesel a través de su integración a las cadenas de producción de carne y leche realizando un uso intensivo de conocimiento y recursos que el país ya posee.**

La estrategia de investigación se apoya en una secuencia lógica de experimentos, en los que primero se evaluaron los productos desarrollados en diferentes categorías de hembras Holando. Si los productos se comportaban de acuerdo al concepto con que fueron diseñados, debían producir dos efectos principales: 1. lograr que los animales suplementados tengan una mejor ganancia de peso que los animales control y 2. que una parte significativa de esa ganancia se deba a que la suplementación mejora (o al menos no deprime) el consumo de la dieta base (o sea el forraje de baja calidad). Inmediatamente posterior a los trabajos controlados de ganancia de peso se realizaron estudios detallados *in-vivo* e *in-vitro* para determinar los efectos de estos productos sobre la microflora ruminal, la eficiencia de los procesos de fermentación ruminal y por tanto sobre la disponibilidad de nutrientes para los microorganismos del rumen y el animal huésped. Esencialmente, constituyen experimentos donde se reproducen los tratamientos aplicados a los animales en crecimiento ya sea en condiciones de laboratorio (experimentos *in vitro*) o con animales fistulados de rumen (experimentos *in situ*), y se analiza el efecto de los tratamientos sobre la fermentación ruminal y la cinética de digestión. Finalmente con los resultados ya consolidados se pasa a la evaluación a nivel de campo (ej. ver Iriñiz et al., 2011a, 2011b, 2011c).

El primer producto desarrollado fue el ACTIBIOL que es un suplemento energético-proteico activador de la fermentación ruminal elaborado fundamentalmente en base

a subproductos industriales. El activador de la fermentación ruminal (AFR) es un estimulante biológico que favorece el metabolismo ruminal, a través del suministro a los microorganismos de nutrientes esenciales para su crecimiento, lo que deriva en una mayor degradación de partículas de alimentos fibrosos de baja y media calidad. El AFR es un suplemento de lento consumo, capaz de controlar la velocidad de ingesta de los alimentos a través de los componentes del mismo, lo que permite estabilizar el pH ruminal y mantenerlo en límites adecuados para la actividad celulolítica. También se utilizaron microorganismos eficientes benéficos activados (MEBA), que promueven la fermentación ruminal aumentando la digestibilidad de la MS (Elías y Herrera, 2008).

En un primer experimento se determinó el efecto de la suplementación con un AFR, MEBA y la combinación de los dos suplementos sobre el consumo de MS y la GMD en terneras Holando alimentadas con ensilaje de sorgo como dieta base. El AFR se elaboró en base a puntina de arroz (32,0%), harina de maíz (21,4%), afrechillo de trigo (16,1%), expeller de girasol (17,9%), melaza (4,8%), urea (4,8%), minerales (1,4%) y sulfato de amonio (1,7%). El MEBA se preparó en base a melaza (10,0%), urea (0,5%), minerales (0,5%), sulfato de amonio (0,3%), maíz molido (4,0%), soja molida (4,0%), agua (78,7%) y yogurt comercial (2,0%) y se dejó fermentar durante 48 horas. Los microorganismos activos presentes en el MEBA fueron varias especies de levaduras y *Lactobacillus sp.* provenientes de la melaza y del yogurt, respectivamente.

En el Cuadro 3 se presenta la composición química del ensilaje de sorgo y de los suplementos, mientras que en el Cuadro 4 se muestra la composición química de los tratamientos experimentales.

Cuadro 3: Composición química de ensilaje de sorgo (ES), activador de la fermentación ruminal (AFR), microorganismos eficientes benéficos activados (MEBA) y AFR y MEBA utilizados en el experimento.

	ES	AFR	MEBA	AFR + MEBA
MS (g.kg ⁻¹)	324,1 ± 18,7	906,8 ± 19,4	92,6 ± 22,0	499,7 ± 17,7
MO ¹	924,3 ± 8,3	959,4 ± 4,3	-----	-----
PB ¹	87,6 ± 4,7	353,2 ± 82,4	421,6 ± 58,4	382,3 ± 42,1
aFDNmo ¹	406,6 ± 23,7	208,4 ± 22,5	-----	-----
FDAmo ¹	229,9 ± 17,7	86,5 ± 9,9	-----	-----

¹(g.kg⁻¹ MS); MS= Materia seca; MO= Materia orgánica; PB= Proteína bruta; aFDNmo= Fibra detergente neutro corregida por cenizas con amilasa; FDAmo= Fibra detergente ácido corregida por cenizas.

Cuadro 4: Composición química de los tratamientos experimentales.

	Tratamientos			
	C	CAFR	CMEBA	CAM
MS (g.kg ⁻¹)	324,1	428,9	319,5	355,7
MO ¹	924,3	930,6	905,8	757,9
PB ¹	87,6	135,4	94,3	140,8
aFDNmo ¹	406,6	370,9	398,4	334,4
FDAmo ¹	229,9	204,1	225,3	188,5

¹(g.kg⁻¹ MS); MS= Materia seca; MO= Materia orgánica; PB= Proteína bruta; aFDNmo= Fibra detergente neutro corregida por cenizas con amilasa; FDAmo= Fibra detergente ácido corregida por cenizas; C= Control (ensilaje de sorgo y núcleo mineral - vitamínico *ad libitum*); CAFR= C + AFR; CMEBA= C + MEBA; CAM= C + AFR + MEBA. Letras diferentes indican diferencias significativas (p<0,05). E.E.= Error estándar; C= Control (ensilaje de sorgo y un núcleo mineral - vitamínico *ad libitum*); CAFR= C + AFR; CMEBA= C + MEBA; CAM= C + AFR + MEBA.

En el Cuadro 5 se presenta el PV inicial, final y la GMD de las terneras según los tratamientos. No hubo diferencias significativas (p>0,05) para el PV inicial entre los tratamientos, que indica una buena uniformidad entre los animales al comienzo del experimento. Los tratamientos CAFR y CAM presentaron mayor PV final y no difirieron entre sí, mientras que los mismos fueron superiores (p<0,05) a C y CMEBA. Los consumos promedios diarios de ensilaje de sorgo, AFR, MEBA, AFR y MEBA y MS total se presentan en el Cuadro 6. El consumo de MS de ensilaje de sorgo fue significativamente más alto (p<0,05) al avanzar el experimento, presentando como valor inicial de 3,73 ± 0,05 kg MS.animal.día⁻¹ y final de 5,81 ± 0,07 kg MS.animal.día⁻¹. El consumo de MS de ensilaje de sorgo no fue significativamente diferente (p>0,05) entre los tratamientos CAFR, CMEBA y CAM.

Cuadro 5. Peso vivo inicial, final y ganancia de peso de los tratamientos evaluados

Indicadores	Tratamientos				
	C	CAFR	CMEBA	CAM	E.E.
PV inicial, kg	147,25 a	146,94 a	146,06 a	145,31 a	6,83
PV final, kg	156,27 b	190,14 a	162,27 b	189,08 a	2,68
GMD, kg	0,075 c	0,640 a	0,206 b	0,654 a	0,037

Cuadro 6: Consumo de ensilaje de sorgo (ES), activador de la fermentación ruminal (AFR), microorganismos eficientes benéficos activados (MEBA), AFR y MEBA y consumo total (CMS) en terneras holando alimentadas con ensilaje de sorgo como dieta base.

Consumo	Tratamientos				E.E.
	C	CAFR	CMEBA	CAM	
ES (kg MS.día ⁻¹)	5,07 b	5,26 a	5,19 ab	5,24 a	0,04
AFR (kg MS.día ⁻¹)	-----	1,17	-----	-----	-----
MEBA (kg MS.día ⁻¹)	-----	-----	0,10	-----	-----
AFR + MEBA (kg MS.día ⁻¹)	-----	-----	-----	1,16	-----
CMS total (kg.día ⁻¹)	5,07 c	6,42 a	5,28 b	6,40 a	0,05

Medias con letras diferentes en la misma hilera indican diferencias significativas ($p < 0,05$). E.E.= Error estándar; C= Control (ensilaje de sorgo y un núcleo mineral – vitamínico *ad libitum*); CAFR= C + AFR; CMEBA= C + MEBA; CAM= C + AFR + MEBA.

Los activadores de la fermentación ruminal también fueron evaluados experimentalmente con vacas lecheras en producción (Chilibroste et al., 2010) pastoreando sorgo forrajero como principal fuente de fibra. Los resultados obtenidos fueron consistentes con los obtenidos con terneras en crecimiento.

Una vez consolidada esta gama de productos se trabajó en la inclusión de glicerina cruda en la formulación del Actibiol con el objetivo de sustituir el grano de maíz como fuente de energía dando lugar al Actibiol G20 y Actibiol G30 con 20 o 30 % de glicerina cruda en la formulación, respectivamente. En el marco de la estrategia de investigación planteada la primer etapa fue comparar el Actibiol con Actibiol G20 en un ensayo controlado de crecimiento y luego el estudio in-vivo consecuente. El experimento de ganancia de peso se llevó a cabo entre Octubre y diciembre del año 2010. Veinte y cuatro terneras holando de 6.6 ± 1.2 meses de edad y 181.5 ± 14.2 kg de peso vivo fueron asignadas al azar a uno de los siguientes tratamientos: TS = ensilaje de sorgo *ad libitum*, TSC = TS más Actibiol (maíz como fuente de energía), TSG= TS mas ActibiolG20 (glicerina cruda como fuente de energía). Tanto TSC como TSG fueron ofrecidos al 1 % del peso vivo en base seca. La composición de las dietas experimentales se presenta en el cuadro 7. La ganancia diaria de peso fue significativamente mayor ($P < 0.01$) para TSC (0.518 kg/día) y TSG (0.571 kg/día) respecto a TS (0.189 kg/día). El consumo medio de ensilaje de sorgo fue de 16.6 ± 2.84 kg/día sin diferencias significativas entre tratamientos. En este experimento se concluyó que el maíz puede ser sustituido por glicerina cruda en la recría de vaquillonas Holando sin comprometer ni ganancia de peso ni eficiencia (Chilibroste et. al., 2010).

Cuadro 7. Composición química de los alimentos utilizados

Composición química de los alimentos			
Fracción	Ensilaje de sorgo	Actibiol	Actibiol G20
CP %	7.0±0.67	31.6±3.2	30.3±5.6
NDF %	73.9±1.62	22.3±2.3	16.5±0.7
ADF %	45.9±2.5	9.15±1.2	9.05±2.76

Al igual que con los otros productos el Actibiol G20 y Actibiol G30 ha sido evaluado en condiciones de campo con otros animales y otros materiales como fuente de forraje (Iriñiz et al., 2011a, 2011b y 2011c). En el período 2009-2012 se han reportado más de 12 trabajos controlados donde se han evaluado los AFR en condiciones muy variadas de alimentación, animales y fuente de fibra.

Los buenos resultados de la inclusión de glicerina cruda en sustitución de maíz u otras fuentes de energía (ej. Melaza) en la formulación de los AFR nos condujo a la necesidad de evaluar la posibilidad de utilizar glicerina cruda como un ingrediente más en la alimentación de vacas lecheras. Esta propuesta integra la proyección de producción de volúmenes muy altos de glicerina cruda en Uruguay (actualmente se producen 2240 toneladas por año y se prevén para 2014 unas 10000 toneladas anuales; fuente ALUR). Adicionalmente, tanto en ganadería de carne como de leche se está realizando una incorporación más intensiva de Mixers que brindan la posibilidad de mezclar ingredientes en los propios sistemas de producción. En este contexto el uso de glicerina cruda proveniente de la producción de biodiesel es una opción muy atractiva en cuanto: 1. diversifica el menú de alimentos disponibles, 2. saca presión sobre los granos como fuente de energía (cuyo destino natural debería ser la alimentación humana), 3. permitiría bajar costos de alimentación (el costo estimado actual del producto es de 160 U\$S la Ton., Sánchez com pers.) y 4. refuerza el vínculo entre la producción animal y la producción industrial en un modelo sinérgico.

Análisis del potencial de uso de la Glicerina Cruda como alimento para vacas lecheras

Como se produce y que características tiene la glicerina cruda ¿?

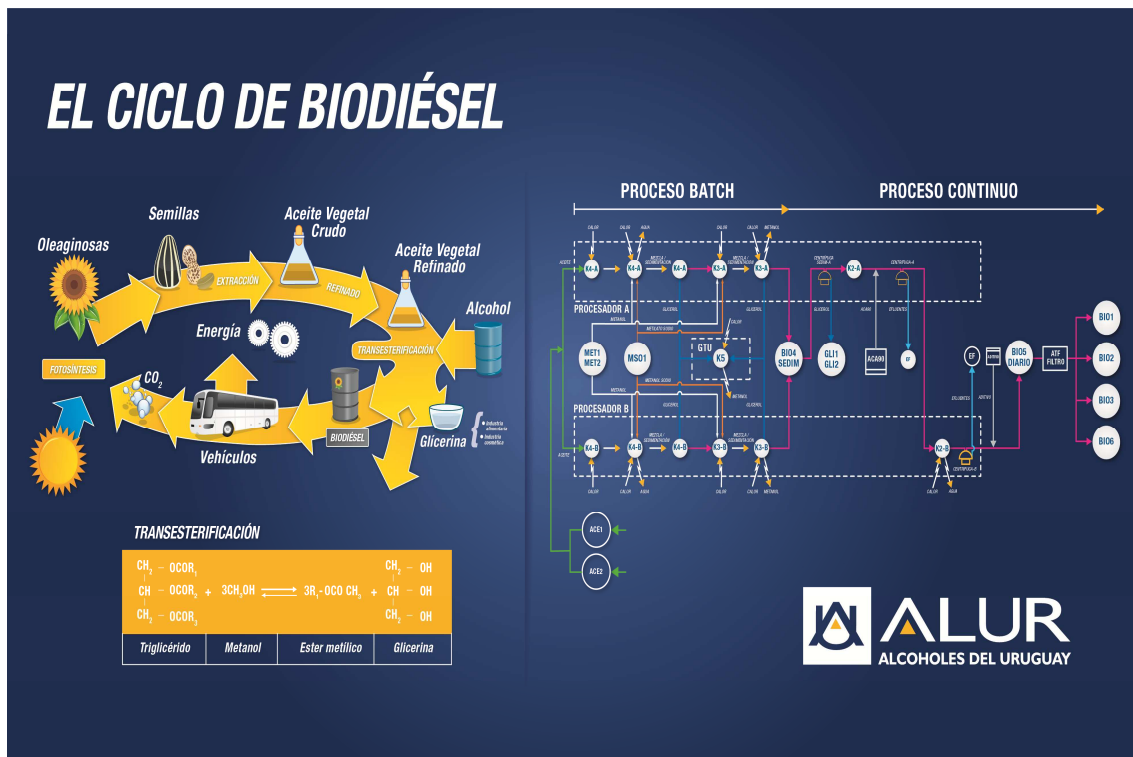
En el diagrama 1 se esquematiza el proceso de producción de biodiesel y el de glicerina cruda como subproducto. El biodiesel en Uruguay se produce a partir de materias primas vegetales tales como aceite de canola, girasol y soja. También se utiliza sebo animal. En todos los casos se utiliza metanol como reactivo y metilato de potasio (o de sodio) como catalizadores. La glicerina cruda que surge del proceso tiene las características que se detallan en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Características físico-químicas de la Glicerina Cruda (gentileza de ALUR S.A.)

Características	Especificación	Unidad
Punto de Inflamación	40-60	°C
Contenido de agua	0.5-5.0	%(m/m)
Viscosidad a 20 °C	350-550	cSt
Densidad a 20 °C	1.15-1.23	g/ml
Cenizas	3.0-6.0	%(m/m)
Valor Calórico Bruto	4100-4800	Kcal/kg
Contenido de Glicerol	78-82	%(m/m)
Contenido de Metanol	2.5-3.0	%(m/m)

Nota: la materia orgánica que no es glicerina está compuesta por jabones y biodiesel.

Diagrama 1. Producción de Biodiésel (gentileza de ALUR S.A.)



Efectos de la glicerina cruda sobre la fermentación ruminal

El glicerol es un subproducto de la trans-esterificación del aceite en la formación de los ésteres metílicos de los ácidos grasos, en la producción de biodiesel y es un subproducto principal del proceso de la fermentación del etanol (Donkin et al, 2009). El glicerol es un importante componente estructural de los triglicéridos y fosfolípidos y sus propiedades glucogénica están bien establecida (Wang et al., 2009a). durante el proceso de fermentación ruminal el glicerol se reduce a ácidos grasos volátiles.

Los primeros estudios de la fermentación del glicerol indicaron que éste fue fermentado casi enteramente a propionato (Johns et al. 1953, Garton et al. 1961, citados por Donkin y Doane, 2007). Otros estudios indican un aumento en los ácidos acéticos y propiónicos o aumentos de los ácidos propiónicos y butíricos (Donkin y Doane, 2007). Khalili (1997) también encontró que, dietas con glicerol alteraron el tipo de fermentación ruminal, disminuyendo la proporción molar de acetato y aumentando las proporciones de propionato, butirato y valerato. Según Hippen et al. (2008) resultados de estudios de la fermentación “In vitro” e “In vivo” indican que el glicerol es rápidamente fermentable, y dependiendo cual sea la dieta de las vacas, aumentará propionato y butirato en líquido ruminal. Estudios realizados usando el glicerol marcado con C¹⁴ indican que la mayor parte del glicerol fue encontrado en el propionato. Hippen et al. (2008) y Khalili (1997) coinciden en que la inclusión de glicerol en las dietas como suplemento no alteró significativamente la digestibilidad de la MS. El consumo de FDN en tanto disminuyó linealmente con la adición de glicerol a la dieta. La digestibilidad de nitrógeno en tanto mostró una respuesta cuadrática al aumentar la inclusión de glicerol en la dieta (Donkin et al., 2009).

Respuestas en producción de leche

Alimentación con dietas que contenían un 3,6 % de glicerol en vacas lecheras en la mitad de la lactancia, no tuvo ningún efecto sobre la producción de leche, o la composición de la leche (Khalili, 1997). Según De Frain et al. (2004), no hay efecto en la producción de leche cuando se suplementa con 0,86 kg por día, o 5,4 % de la ración en base seca. Wang et al. (2009b) reportaron que hay diferencias en producción de leche cuando se suplementa con glicerol hasta 300 grs./día. La proporción de grasa tiende a disminuir en tanto la lactosa no se ve afectada por la suplementación con glicerol.

Chung et al. (2007), suplementando vacas holando a razón de 250 g/día de glicerina cruda seca (162.5 grs./día de glicerol) durante las tres primeras semanas post parto, al igual que De Frain et al. (2004), tampoco encontraron respuestas en producción de leche. Si notaron aumentos en la producción en la tercer semana después de terminada la suplementación con glicerina seca. El porcentaje de grasa en la leche presentó una tendencia a disminuir más fuertemente en vacas suplementadas con glicerol. Bodarski et al., citado por Donkin et al. (2009), alimentando por un período más prolongado que Chung et al. (2007), desde 3 semanas antes del parto hasta 70 días después, con 500 ml de glicerol al día, o 3.1% de la ración en base seca, encontró que la suplementación provocó un aumento en la producción de leche y el contenido de proteínas en la leche. Donkin et al. (2009), no encontraron diferencias en producción de leche cuando sustituyeron al grano de maíz por glicerol a razón de 0, 5, 10 y 15 % de la materia seca que consumían las vacas, así como tampoco en la composición de leche. Sí encontraron diferencias en la concentración de nitrógeno como urea en la leche que disminuyó a medida que se incrementaba la dosis de glicerol.

La conversión del alimento no presentó variación entre los diferentes tratamientos durante los 56 días del experimento (Donkin et al., 2009). Chung et al. (2007) en un experimento donde suplementaron vacas holando durante tres semanas con glicerina seca, encontraron una tendencia hacia una mayor eficiencia de conversión del alimento en leche, durante el período de la sexta semana. Esta eficiencia más alta fue notoria durante la semana 4 a 6 de lactancia, después de que la suplementación con glicerina finalizara. Vacas suplementadas con glicerol mostraron un estado de energía más positivo durante la segunda semana de la lactancia, indicando una mayor concentración de glucosa en plasma (Chung et al., 2007). Según Wang et al. (2009b) las concentraciones de glucosa en sangre aumentan a medida que la suplementación con glicerol se incrementa. Las vacas suplementadas con glicerol presentaron un 7 % más de glucosa en sangre que las vacas control.

En la EEMAC se han realizado hasta el momento dos experimentos en los que se evaluó el uso de glicerina cruda como alimento animal. El primero fue en acuerdo con la empresa BIOGRAN S.A. e involucró glicerina cruda con alto contenido de metanol (Echeverría et al., 2010). Veinte y seis vacas Holando de 585 ± 57.5 kg de PV y con 25.2 ± 3.5 litros de leche fueron asignadas a uno de los tres tratamientos que siguen: T0 = alimentación basal, T1 = T0 más 0.72 kg de glicerina cruda/vaca/día y T2 = T0 más 1.44 kg of glicerina cruda/vaca/día. La alimentación basal consistió de pastoreo de avena más la suplementación con 5 kg de MS de un concentrado comercial (18.2% PC, 14% FDA, 25% FDN and 96.7 % MO) ofrecido en partes iguales en cada ordeño. La glicerina cruda tenía 3.7 % de humedad, 93 % de MO, 1,5 % de grasa y 17 % de metanol. Las vacas suplementadas con glicerina cruda produjeron 2.15 L extra de leche sobre el tratamiento control (T0=23.5 L; $P < 0.05$). No se detectaron diferencias significativas en producción de leche entre los dos niveles de glicerina cruda (T1 vs. T2). La respuesta en litro de leche por kilogramo de suplemento fue de 2.6 L para el primer nivel de inclusión de glicerina cruda sin diferencias significativas en componentes de la leche.

El segundo trabajo fue en acuerdo con ALUR S.A en el que se evaluó el efecto de incluir niveles crecientes de glicerina cruda sobre la producción y composición de la leche de vacas de parición de primavera. Este trabajo se encuentra en fase de procesamiento y análisis de información. Resultados preliminares serán presentados durante la Jornada de Buiatría. Este año a su vez está comenzando un proyecto detallado de investigación sobre el comportamiento a nivel ruminal y metabólico de la glicerina cruda suministrado a vacas lecheras a inicio de lactancia. Adicionalmente se realizarán estudios a nivel de órganos específicos para descartar cualquier efecto secundario del uso continuado de glicerina cruda en vacas lecheras de alta producción.

Conclusiones

La intensificación de la producción de leche en Uruguay determina niveles crecientes en el uso de suplementos por las vacas en ordeño. Niveles altos de

utilización de concentrados “determinan” mayor complejidad en el proceso de alimentación. La complejidad se expresa en el campo operativo y también en la necesidad de contar con un menú de alimentos significativamente más amplio que el que se ha utilizado tradicionalmente.

Uruguay es importador de harinas y subproductos vegetales cuyo destino es la alimentación animal. Los planes de producción e industrialización de diferentes cultivos que se están implementando para producir las cantidades de etanol y biodiesel que establece la ley 18195 determinan que Uruguay será autosuficiente y/o eventualmente exportador de harinas vegetales.

Los subproductos industriales adecuadamente integrados a la cadena de producción de leche pueden tener un efecto importante en términos de dar soporte al proceso de intensificación competitiva del sector lácteo. Por otra parte una integración inteligente de los proyectos agroindustriales con la industria animal dotará a los primeros de mayor competitividad.

Literatura

Arocena, S; Benia, P. 2000. Evaluación de la ganancia de peso de terneros holando, suplementados con henolaje de pradera, ensilaje de pulpa de citrus pura o mezclada con forraje. Tesis Facultad de Agronomía – Universidad de la República. Uruguay.

Bidegain, J.; Sánchez, P.; Díaz, J. 1992. Efecto del tipo de suplemento sobre la performance productiva de vacas Holando pastoreando sorgo forrajero (Sudax 121). Tesis Facultad de Agronomía – Universidad de la República. Montevideo. Uruguay.

Bruni, M. A., Chilibroste, P., y Mattiauda, D. 2000. Alternativas de conservación de pulpa de citrus fresca como ensilaje In: XVI Reunión Latinoamericana de Producción Animal. III Congreso Uruguayo de Producción Animal. (CD). Montevideo, Uruguay.

Bruni, M. A. y Chilibroste, P. 2001 Alternativas de conservación de residuos de brócoli como ensilaje. XVII Reunión de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal. Resúmenes. Palacio de las Convenciones. 20-23 Noviembre. La Habana, Cuba. pp: 314-315.

Chilibroste, P., Soca, P. y Mattiauda, D.A. 2011a. Balance entre oferta y demanda de nutrientes en sistemas pastoriles de producción de leche: potencial de intervención al inicio de la lactancia. In: XV Congreso Latinoamericano de Buiatría, XXXIX Jornadas Uruguayas de Buiatría. Eds. Centro Médico Veterinario de Paysandú – Sociedad Uruguaya de Buiatría. Paysandú, Uruguay. 8-10 Junio 2011. Pp. 91-97.

Chilibroste, P.; Elías, A., Marchelli, J. P. 2011b. Use of corn or crude glycerol as energy source to supplement holstein calves fed with sorghum silage ad-libitum. ADSA-ASAS Joint Annual Meeting, New Orleans. *Journal of Dairy Science*, 94:199.

Chilibroste, P., Marchelli, J. P., Rodriguez, F., Motta, G., Mattiauda, D., Elías, A. 2010. Comportamiento productivo de vacas holando en pastoreo de sorgo forrajero

suplementadas con un activador de la fermentación ruminal. In III Congreso de Producción Animal Tropical. Instituto de Ciencia Animal Cuba , Habana, Cuba. Pp. 115-116.

Chilibroste, P., Dijkstra, J., Robinson, P.H. and Tamminga, S. 2008. A simulation model "CTR Dairy" to predict the supply of nutrients in dairy cows managed under discontinuous feeding patterns. *Animal Feed Science and Technology* 143:148–173.

Chung, Y.; Rico, D.E.; Martinez, C.M.; Cassidy, T.W.; Noirot; Ames, A.; Varga, G.A. 2007. Effects of Feeding Dry Glycerin to Early Postpartum Holstein Dairy Cows on Lactational Performance and Metabolic Profiles. *Journal of Dairy Science* 90:5682–5691

DeFrain, J.M.; Hippen, A.R.; Kalscheur, K.F.; Jardon, P.W. 2004. Feeding Glycerol to Transition Dairy Cows: Effects on Blood Metabolites and Lactation Performance. *Journal of Dairy Science* 87:4195–4206.

Donkin, S. y Doane, P. 2007. Glycerol as a Feed Ingredient in Dairy Rations. Indiana. Estados Unidos. Purdue University. 97-103.

Donkin, S.; Koser, S.L.; White, H.; Doane, H.; Cecava, J. 2009. Feeding value of glycerol as a replacement for corn grain in rations fed to lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 92:5111–5119.

Echeverria, R., Mackinnon, A., Rotulo, J., Chilibroste, P. 2010. Milk production response to incremental levels of crude glycerol on diets of grazing dairy cows. Joint annual meeting of the American Dairy Science Association, Denver. *Journal of Dairy Science*, 93:713.

Elías, A. y Herrera, F. R. 2008. Producción de alimento para animales a través de procesos biotecnológicos sencillos con el empleo de Microorganismos Beneficiosos Activados (MEBA). Vitafert. Instituto de Ciencia Animal. Habana. Cuba. 82 p.

Hippen, A.; DeFrain, J.; Linke, P. 2008. Glycerol and Other Energy Sources for Metabolism and Production of Transition Dairy Cows. Florida Ruminant Nutrition Symposium. 17 p.

Iriñiz, J., Elías, A., Michelena, J., Galindo, J. y Chilibroste, P. 2011a. Uso de activadores ruminales con glicerina en el comportamiento productivo de novillos hereford alimentados con paja de arroz. XXII Reunión de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal, Montevideo. CD-Rom.

Iriñiz, J., Elías, A., Michelena, J., Rodriguez, D. y Chilibroste, P. 2011b. Efecto de un activador de la fermentación ruminal sobre vaquillonas que consumen paja de arroz en pastoreo. XXII Reunión de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal, Montevideo. CD-Rom.

Iriñiz, J., Elías, A., Michelena, Juan., Rodriguez, D., y Chilibroste, P. 2011c. Terneros a corral alimentados con despunte de caña y un activador de la fermentación ruminal (actibiol m45). XXII Reunión de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal, Montevideo. CD-Rom.

Khalili, H.; Varvikko, T.; Toivonen, V.; Hissa, K.; Suvitie, M. 1997. The effects of added glycerol or unprotected free fatty acids or a combination of the two on silage intake, milk production, rumen fermentation and diet digestibility in cows given grass silage based diets. *Agricultural and Food Science in Finland* 6: 349-362.

Noceck, J.E. and Russell, J.B. 1988. Protein and energy as an integrated system. Relationship of ruminal protein and carbohydrate availability to microbial synthesis and milk production. *Journal of Dairy Science* 71:2070-2077.

Radiccioni, D.; V. Taranto y S. Zibils. 1993. Efecto de la suplementación de vacas lecheras en pastoreo. I- Ambiente ruminal y composición de la leche. Tesis. Facultad de Agronomía – Universidad de la República. Uruguay.

Swanepoel, N., Robinson, P.H. and Erasmus, L.J. 2010. Amino acid needs of lactating dairy cows: Predicting limiting amino acids in contemporary rations fed to high producing dairy cattle in California using metabolic models. *Animal Feed Science and Technology* 161:103–120.

Tamminga, S., Van Vuuren, A.M., van der Koelen, C.J., Ketelaar, R.S and van der Togt, P.L. 1990. Ruminal behaviour of structural carbohydrates, non-structural carbohydrates and crude protein from concentrates ingredients in dairy cows. *Netherland Journal of Agricultural Science* 38: 513-526.

Visser, H. and Groot, A.A.M. 1980. The influence of the starch and sugar content of concentrates on feed intake, rumen fluid, production and composition of milk. In. D. Giesecke, G. Dirksen and M. Stangassinger (Eds). *Metabolic disorder of farm animals*. Institute of Physiology, Physiological Chemistry and Nutritional Physiology, University of Munich, Faculty of Veterinay Studies, pp. 41-48.

Wang, C.; Liu, Q.; Huo, W.J.; Yang W.Z.; Dong K.H.; Huang Y.X.; Guo, G. 2009a. Effects of glycerol on rumen fermentation, urinary excretion of purine derivatives and feed digestibility in steers. *Livestock Science* 121:15-20.

Wang, C.; Liu, Q.; Yang, W.Z.; Huo, W.J.; Dong, K.H.; Huang, Y.X.; Yang, X.M.; He, D.C. 2009b. Effects of glycerol on lactation performance, energy balance and metabolites in early lactation Holstein dairy cows. *Animal Feed Science and Technology* 151:12-20.