

UTILIZACIÓN DE SUBPRODUCTOS DE BIODIESEL EN LA ALIMENTACIÓN DE
RUMIANTES

DIEGO ALEXANDER RODRIGUEZ MUNEVAR

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
FACULTAD CIENCIAS AGROPECUARIAS
PROGRAMA ZOOTECNIA
FUSAGASUGÁ
2015

UTILIZACIÓN DE SUBPRODUCTOS DE BIODIESEL EN LA ALIMENTACIÓN DE
RUMIANTES

Trabajo de grado opción monografía,
como requisito parcial para la obtención
del título de Zootecnista.

DIEGO ALEXANDER RODRIGUEZ MUNEVAR

Director

Luis Antonio Cuadros Moreno

Zootecnista UN.

Especialista en nutrición y alimentación animal UDEC.

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
FACULTAD CIENCIAS AGROPECUARIAS
PROGRAMA ZOOTECNIA
FUSAGASUGÁ

2015

NOTA DE ACEPTACIÓN

Jurado

Dra. LAURA ALEXANDRA ROMERO SOLORZANO

ZOOTECNISTA UDEC

MSc EN NUTRICIÓN Y PRODUCCION ANIMAL USP.

Jurado

Dr. LUIS ALFONSO BOCANEGRA M.

ZOOTECNISTA UN.

ESPECIALISTA EDUCACIÓN AMBIENTAL UDEC.

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico primero que todo a Dios por darme el entendimiento y la sabiduría para culminarlo, a mis padres que con todo su esfuerzo, trabajo y dedicación, me motivaron a salir adelante en la carrera y a todas las personas que de una u otra forma me apoyaron en este camino.

Diego Alexander Rodríguez Munevar

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo va dirigido con una expresión de gratitud antes que nada a Dios; a todos los docentes de la universidad de Cundinamarca que con esmero cumplieron el objetivo de enseñar todo lo necesario para el futuro ejercicio profesional; un especial agradecimiento además a Hernando Rodríguez y Luz Marina Munevar, mis padres, ya que ellos conocen más que nadie mi camino hasta aquí y todo el esfuerzo que coloqué en este proyecto; por ultimo a mis amigos y a todas las personas que de una u otra forma hicieron posible este logro.

Diego Alexander Rodríguez Munevar

ÍNDICE

	Pag
RESUMEN	
ABSTRAC	
INTRODUCCIÓN.....	9
2. OBJETIVOS.....	11
2.1 Objetivo general	
2.2 Objetivos específicos	
3. MARCO REFERENCIAL.....	12-13
3.1 Producción en Colombia	
3.2 Metabolismo ruminal del glicerol.....	17
3.3 Degradación del glicerol.....	18
3.4 Producción de bovinos con diferentes niveles de inclusión de glicerina cruda.....	19
3.5 Degradabilidad de la dieta al suplementar animales con glicerol.	21
3.6 Torta de palmiste.....	24
3.7 Composición de la torta de palmiste extraída por solvente vs la extraída por prensado mecánico.....	24
3.8 Suplementación con diferentes niveles de inclusión de la mezcla torta de palmiste y glicerol en la dieta.....	25
3.9 Suplementación con diferentes niveles de inclusión de la mezcla torta de palmiste y glicerol en la dieta.....	28
4. CONCLUSIONES.....	29
5. BIBLIOGRAFÍA.....	30

ÍNDICE DE TABLAS.

1. Tabla 1. Composición de glicerol de diferentes calidades.....Pag 14

ÍNDICE DE IMÁGENES.

1. Imagen 1. Composición química del glicerol y el propilen glicol.....Pag 15

RESUMEN

La sequía prolongada consecuencia del cambio climático, afectará significativamente a la ganadería colombiana, debido a la escasez de forrajes.

Los subproductos de la industria de biodiesel pueden reemplazar la materia seca y demás nutrientes que aportan los pastos y así mantener o evitar la disminución de la producción; por esta razón esta monografía busca revisar los trabajos realizados en el mundo con estos materiales, además de rescatar y difundir los resultados de trabajos de investigación que no son conocidos por ganaderos, profesionales y demás personas vinculadas al sector, brindando una oportunidad para mejorar el ingreso, la producción y la productividad del sector ganadero en esta época crítica, además de contemplar la posibilidad de utilizarlos cotidianamente en la producción zotécnica nacional. El objetivo de la presente revisión fue profundizar los conceptos de efectos de subproductos de biodiesel en la alimentación de rumiantes.

Palabras claves: .Biodiesel, Glicerol, Glicerina, Palmiste.

ABSTRAC

The prolonged drought due to the climate change will effect significantly the Colombian Cattle livestock, because the low amount of forage. The biodiesel industry products may replace the dry matter, and also, the nutrients that provide the gras, that way it will be possible to keep an avoid the reduction in production. For that reason, this monograph tries to review previous investigations developed in the world whit this materials, also, rescue, and spread the results obtained in previous investigations that so far are not know by ranchers, professionals and other people linked to this area, providing an opportunity to increase the income, the production, and the rancher area in this critic season, but also check out the possibility to use them daily in the national Zoo technical production. The main object in the present review was to get deeper in the concept about biodiesel sup products for rumiants feeding.

KEY WORDS: Biodiesel, glycerol, glycerin, kernel.

INTRODUCCIÓN

En 1800 el alemán Rudolf Diesel inventó y patentó el motor que lleva su nombre, después, en 1900 lo presentó en la Exposición Mundial de París como el primero construido para funcionar con aceites de palma, coco o maní.

Actualmente la palma origina el 50% de la producción mundial de aceite, la soya un 25%, el otro 25 % proviene de algodón colza, maní, girasol y otros menores. (Convenio Interinstitucional de Cooperación, 2003).

Con el ánimo de resaltar que después del Protocolo de Kioto, en el que 163 países ratificaron su preocupación por los daños ecológicos causados por el calentamiento global, se puso en consideración la necesidad de reducir emisiones de gases de origen antropogénico, que son los mayores responsables de estos cambios climáticos (García, 2009). Se buscó fomentar la mezcla de combustibles con biocombustibles, tanto para la gasolina como para el diesel, para obtener una mezcla contaminante y más compatible con el medio ambiente, porque aunque tanto los biocombustibles como los hidrocarburos producen CO₂, el primero es un subproducto vegetal que absorbe CO₂ y luego lo expulsa para después volverlo a recoger manteniéndose así el ciclo, mientras que el petróleo expulsa CO₂ pero no lo reintegra; es por este beneficio como surge la producción del biodiesel (García, 2009).

Teniendo en cuenta que el Biodiesel es un combustible conformado por monoalquilésteres, resultado de la transesterificación de ácidos grasos de fuentes vegetales y/o animales con un alcohol, comúnmente etanol (Zuleta et al., 2007). Cada país, lo elabora de acuerdo a las materias primas disponibles. Por ejemplo, en países como Estados Unidos, Argentina, Uruguay, Brasil y parte de Europa, se usa aceite de soya, colza, girasol, coco, palma, entre otros.

La producción mundial de aceite, proviene en un 50% del aceite de palma, un 25% del aceite de soya y el restante del aceite de colza, maní, girasol, algodón y otros menores (Convenio Interinstitucional de Cooperación, 2003), por consiguiente, el aumento de la producción mundial de biodiesel es simultánea a la producción de un efluente resultado de su obtención: la glicerina cruda o glicerol, ya que por cada 50 litros de biodiesel producido se generan cerca de 4.5 kilogramos de glicerina

cruda, o por cada 100 litros de aceite de palma se producen 10 litros de glicerol (Donkin, 2008)

Cabe agregar que la producción de biodiesel de aceite de colza (metil ester), deja al glicerol (glicerina 1, 2,3 propanotriol) como un valioso subproducto y una promesa para la suplementación alimenticia de animales de granja, con una disponibilidad aproximada de 15 millones de galones.

Con este precedente y teniendo en cuenta que los biocombustibles son combustibles líquidos de origen agrícola, susceptibles de ser empleados en motores de combustión interna, etanol anhidro para los motores a gasolina y Biodiésel (alquil éster) para los motores diésel y a sabiendas que pueden sustituir parte del consumo de combustibles líquidos de origen fósil derivados del petróleo y del carbón, se realizó la presente monografía, recopilando información de producción de biodiesel a nivel mundial y la utilización del glicerol como suplemento alimenticio en alimentación de rumiantes.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

- Recopilar información sobre la utilización de subproductos de biodiesel en la alimentación de rumiantes.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Presentar información actualizada de la producción de aceite de palma para fabricación de biodiesel a nivel mundial.
- Recopilar datos cuantificables que muestren estadísticamente los efectos positivos o negativos de suplementar rumiantes con glicerol desde su metabolismo hasta la obtención del producto final.
- Dar a conocer resultados de parámetros productivos como la ganancia diaria de peso en rumiantes, al ser suplementados con torta de palmiste como coproducto de la fabricación de biodiesel y con la mezcla de torta de palmiste y glicerol.

3. MARCO REFERENCIAL

En abril de 2015 el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) estimó la producción mundial de aceite de palma 2015/2016 en de 65.17 millones de toneladas, cerca de 3.58 millones de toneladas más de lo estimado el mes pasado.

De otra parte, la producción mundial de aceite de Palma del año 2014 fue de 61.65 millones de toneladas. Los 65.17 millones de toneladas estimados este año podrían significar un incremento de 3.51 millones de toneladas o un 5.69% en la producción de aceite de palma alrededor del mundo. (Aceite de palma producción mundial 2015/2016.)

Los principales productores de aceite de palma son: Indonesia y Malasia con 35.000.000 y 21.000.000 de toneladas métricas respectivamente lo que representa el 86% de la producción global.

El continente europeo produce y consume el 80% de biodiesel global con una cantidad aproximada de 11,2 millones de toneladas en 2010 (Biodiesel 2020,2008)

3.1 Producción en Colombia

En el año 2007, Colombia produjo 30'000.000/L/d de biodiesel a partir del aceite de palma, logrando un rendimiento por hectárea cultivada/año de casi 5550L de este combustible. (Donkin, 2008).

De otra parte, durante el año 2013 más de 503.300 toneladas de biodiesel de palma, a partir de 508.400 toneladas de aceite crudo de palma fueron colocados en el mercado. Este es un volumen comparable a la producción equivalente a un Caño Limón, con inversión nacional y privada, lo que significa el ahorro de unos 19.600 millones de pesos en el costo adicional que significa la importación de diésel al país. El 9% del combustible diésel consumido en el país corresponde a la generación de empleo directo en regiones con problemas de seguridad pública. (Donkin et al., 2009)

En la actualidad, Colombia produce 1.100.000 toneladas métricas con una participación del 2% a nivel mundial. De cada hectárea de palma en Colombia se cosechan alrededor de 3,5 Ton de CPO al año. Es decir que para la producción

nacional de biodiesel se requirieren aproximadamente de 145.250 hectáreas en producción (sin contar aquellas que están en etapas de siembra, desarrollo o renovación) y cada cosechero trabaja un aproximado de 9 hectáreas, por lo que en el área del cultivo se generan al menos 16.138 empleos directos. Con la producción de 152 millones de galones, esto significa que por cada 784 galones de biodiesel que se comercializan se está asegurando el ingreso a una familia en el campo colombiano (Mateus, 2014)

De acuerdo con lo anterior, Colombia cuenta con 49 plantas extractoras de aceite de palma ubicadas así: Zona oriental: 22 plantas extractoras en los departamentos de Caquetá, Casanare y Meta; Zona norte: 14 plantas extractoras en: Antioquia, Bolívar, Cesar y Magdalena; Zona central: 6 plantas extractoras en Cesar, Norte de Santander y Santander; Zona occidental, 7 plantas extractoras en el departamento de Nariño.

Las plantas ubicadas en los departamentos del Cesar, Magdalena Atlántico, Meta y Santander producen 480 mil toneladas anuales de biodiesel. Adicional a esto, la legislación colombiana ha reglamentado una mezcla de biodiesel con diésel del 10% para el país, sin embargo, en lugares como la capital y el Oriente, la mezcla es del 8%. Así mismo, el promedio nacional de mezcla de biodiesel con el ACPM es del 9,2%. Por otro lado, hay una proyección de crecimiento cercana al 5% en la producción de biodiesel para el año en curso, con el fin de superar las 500 mil toneladas.

De otro lado, Colombia participa con 16 departamentos dedicados solo al cultivo de palma africana, donde la región centro-oriental produce un 75% del total nacional, logrando así, un incremento de la producción de glicerina como subproducto de la obtención del biodiesel a partir del aceite de palma africana.

Para el año 2008 se propuso poner en marcha en Colombia seis plantas de manufactura de biodiesel en la costa norte y los llanos orientales, los cuales consumieron alrededor de 365.000 ton/año de aceite de palma, lo que implica la co-producción de 36.500 ton/año de glicerina, que deben ser debidamente aprovechadas para mitigar las enormes implicaciones ambientales y económicas que traería su almacenamiento y/o descarte. Una de las alternativas para enfrentar este cuello de botella, es la utilización de la glicerina cruda en la alimentación de rumiantes, lo que podría conllevar a obtener mayor producción de leche y/o carne de mejor calidad composicional (Giraldo, 2008).

Uno de los principales motivos por los que los ganaderos no suplementan con materias primas no convencionales, son los efectos negativos que puede traer a los animales el consumo de estas. El glicerol no se escapa de esto, por lo tanto, en la siguiente tabla se muestran diferentes calidades de glicerol en cuanto a contenidos de metanol.

Tabla 1. Composición de glicerol de diferentes calidades.

Item	Glycerol	Glycerol, crude	Crude glycerol (Paper 1)
Glycerol	≥ 99.0	≥ 80	88.1
Water	0.5 - 1	10 -15	9.3
Ash	≤ 0.1	≤ 10	0.9
Methanol	0 ¹	≤0.5	0.8
Other ¹	-	No value stated	0.9

¹Numbers indicates concentrations below detection limit.

²Other = sodium, calcium, magnesium, potassium, phosphorous, sulphur *etc.*

Fuente: Werner, 2013.

El biodiesel resulta de unir una aceite con alcohol (metanol por lo regular) a través de un proceso químico: aceite + alcohol → biodiesel + glicerol.

Las principales impurezas del glicerol, son los ácidos grasos libres (por una reacción entre la materia prima inicial y el catalizador) y metanol (por los excesos de este mismo usados en el proceso de transesterificación). Además de esto, contiene agua y algunas sales dependiendo de la materia prima de fabricación del biodiesel. (Thompson y He, 2006)

Con el fin de evitar posibles efectos negativos en los animales por el consumo de metanol, se recomienda tener menos de un 0,5% de este en el producto. (Südekum, 2008). Por lo general, en el glicerol comercial los niveles de metanol son de menos 800mg/Kg, además este se evapora a temperaturas mayores a 65°C. La FDA permite un máximo de 200 ppm, mientras que la legislación alemana un máximo de 500 ppm de metanol. También se debe tener en cuenta que el metanol es producido por las bacterias del rumen, especialmente cuando los animales son alimentados con dietas que contengan pectinas. (Neumann et al., 999; Vantchev et al., 1970).

El Metanol es metabolizado en el hígado y eliminado de forma lenta y variable, su

presencia en cantidades elevadas en el organismo, produce problemas de acidosis metabólica.

Aclarado lo anterior, se debe saber que desde hace varios años se han venido investigando los diferentes usos que se le puede dar a la glicerina cruda en alimentación animal y sus beneficios, a continuación encontramos algunos de ellos.

Desde 1954, el glicerol fue utilizado como un tratamiento para tratar trastornos metabólicos alrededor del parto, por ejemplo, la cetosis (Johnson, 1954), pues su composición química es muy similar a la del propilenglicol y posee una disponibilidad casi que inmediata en el organismo. (Fisher et al., 1973; Johnson, 1954).

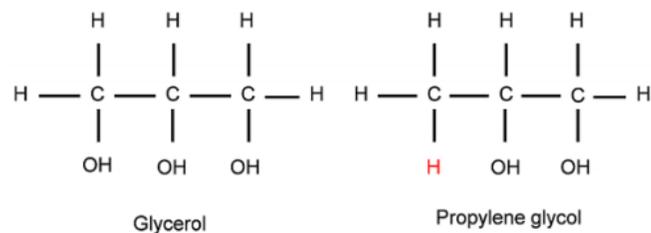


Imagen 1. Composición química del glicerol y el propilen glicol. Fuente: Werner, 2013.

Ya en los años 70 se empezó a investigar más en detalle encontrado un efecto positivo en el consumo total de energía y se empezó a suministrar durante la lactancia temprana para contrarrestar los efectos del balance energético electronegativo, actuando como sustrato para la gluconeogénesis (Fischer et al., 1973). Teniendo en cuenta que el período de transición es crucial en los animales, pues demanda una gran cantidad de energía y comprende la etapa final de crecimiento del parto y el inicio de la producción de leche. La gran demanda de energía a nivel de glándula mamaria debe ser suplida con alimentación y movilización de depósitos grasos del cuerpo de la madre. (Grummer et al., 2004). Casi todas las vacas lecheras de alto rendimiento, tienen niveles bajos de glucosa e insulina y altos de NEFA y BHBA (≥ 0.7 mmol/L y ≥ 1.4 /L respectivamente) en sangre (Ingvarsen y Andersen, 2000) durante la etapa de transición. Este alto

nivel de exigencia de glucosa y gluconeogenesis y la respuesta lenta del organismo del animal hacen que aumenten los niveles de cuerpos cetónicos en

sangre, por lo que algunas vacas pueden llegar a presentar cetosis clínica. (Holtenius y Holtenius, 1996).

En el año 2009, Wang et al., encontraron que al suplementar con glicerol en niveles de 100g/d 200 g/d y 300 g/d, la concentración de NEFA y BHBA disminuyó de forma lineal y los animales presentaron un aumento en el peso corporal respecto a las vacas que no fueron suplementadas.

Ebert et al. (2008) han demostrado que al menos 38% de la lactosa de los lactorreemplazadores puede sustituirse por glicerina cruda sin efectos adversos en los terneros, así mismo, se puede usar la glicerina cruda para sustituir sueros orales o como componente de sales de rehidratación oral útiles para mantener los fluidos del ternero con diarrea en buena concentración en el organismo (Constable et al., 2001), en dosis de al menos de 1,0g/kg de glicerol BW (> 99% de pureza) diluido en 800mL de agua. Así mismo, la hiperglucemia y la hiperinsulinemia no se presentan en terneros rehidratados de forma oral usando glicerol, lo que sugiere una respuesta metabólica favorable en estos individuos. (Werner, 2013)

Varios estudios han reportado que la concentración plasmática de glicerol aumenta notablemente post administración oral; tanto la glucosa como el glicerol fueron encontrados en plasma en un lapso de tiempo de máximo 1 hora tras la ingesta, lo que significa que la glicerina cruda es absorbida en el tracto gastrointestinal tan rápido como la glucosa. Este es el mismo comportamiento que se presenta en el ser humano, pues el glicerol ingerido, llega rápidamente el torrente sanguíneo (Massicotte et al., 2006; Murray et al., 1991). En otro estudio, al suministrar el glicerol o la glucosa a través de sonda esofágica, el aumento en las concentraciones plasmáticas de estos, aumentó a un lapso de 90 a 180 minutos (Kaske et al., 2005)

El glicerol en rumiantes proporciona un poco más de 2.000 Kcal/Kg. Un litro de glicerol libre de impurezas equivale a 1.250g de glicerol, gracias a su densidad. Investigadores Alemanes determinaron que su valor en energía neta es de 2,27 a 2,31 Mcal/Kg de M.S este valor depende del nivel de pureza que contenga la glicerina, a mayor pureza mayor será el aporte energético, siendo muy similar al grano de maíz (2,7Mcal/Kg) y a la melaza (3,2 Mcal/Kg). (Schroeder et al, 1.999)

Mach et al., en el 2009 calcularon un valor energético estimado de 16,2MJ EM/kg de MS para rumiantes.

3.2 METABOLISMO RUMINAL DEL GLICEROL

El metabolismo del glicerol, se realiza principalmente en el rumen, por bacterias del grupo Selenomonas, que requieren un tiempo de adaptación para que puedan proliferarse y aumentar su capacidad de absorción (Daza, 2009).

Khanna et al reportaron en 2012 que los lactobacilos y los miembros de la familia Enterobacteriaceae -Citrobacter, Klebsiella, Clostridium y Enterobacter, pueden usar glicerol en su metabolismo.

Los *Lactobacilos reuteri* se encuentran en el tracto gastrointestinal de mamíferos y aves y convierten el glicerol en reuterina, una sustancia antimicrobiana (Axelsson et al., 1989) que tiene la capacidad para inhibir el crecimiento de bacterias patógenas incluyendo *Escherichia coli* Enterotoxigenica y *Salmonella*, como se evidencia en experimentos in vitro (Spinler et al, 2008; Axelsson et al., 1989). Los *Lactobacillus* son uno de los grupos de bacterias dominantes de la microbiota intestinal y heces de terneros (Karney et al., 1986) han sido recuperadas cepas de *Lactobacillus reuteri* del intestino de terneros (Busconi et al., 2008), sin embargo, no hay hasta ahora ninguna información sobre si el glicerol aumenta la producción de reuterina en terneros.

Lo anteriormente mencionado, se puede evidenciar en un estudio realizado por Aperce et al, en 2011, en el que se realizaron muestreos coprológicos que arrojaron resultados de 5.8% del hato positivo para *E. coli*, teniendo en cuenta que los animales eran alimentados con dietas exentas de glicerol. Se realizó un segundo muestreo, después de suplementar los animales con el 4% y 8% de inclusión de glicerina cruda en base seca en la dieta, y se encontró que el porcentaje del hato positivo para *E. coli* disminuyó al 4.3% y 2.4%, respectivamente (P <0.01).

Así mismo, Bergner et al., en 1995 usando C14 como marcador midieron la transformación de la glicerina por los microorganismos ruminales observando que la mayoría del glicerol fue convertido en propionato, y cantidades pequeñas en acetato, de manera similar, en un estudio encontraron que un animal lechero alimentado con una dieta que compuesta por 50% de alimento balanceado, el glicerol disminuyó parcialmente la producción de acetato (Trabue et al., 2007). En contraste, Wright (1969), determinó que la glicerina que fue marcada

radiactivamente se convirtió en acetato, propionato y butirato. El inóculo utilizado en el estudio fue extraído de ganado en pastoreo consumiendo trébol y ryegrass.

Se puede decir que el metabolismo de la glicerina cruda se puede dividir en dos etapas; la primera de ellas consiste en un proceso de hidrólisis en el que se separa el glicerol de sus tres ácidos grasos; en la segunda etapa, se fermenta el glicerol para producir ácidos grasos volátiles y los tres ácidos grasos insaturados liberados en el proceso anterior, sufren un proceso de biohidrogenación en el que se vuelven saturados. Es importante tener en cuenta que el pH ruminal juega un papel fundamental en los procesos de biohidrogenación, pues a mayor acidez, las bacterias que se encargan de este proceso son inhibidas.

Cabe anotar que a partir del ácido linoleico (contenido en la palma africana) se puede sintetizar ácido rumenico y vaccenico, que son los principales componentes del ácido linoleico conjugado contenido en carne y grasa leche de excelente calidad y que es exigido en mercados como el del país de China.

El glicerol tiene varias rutas metabólicas: un 13% atraviesa las paredes ruminales, va al intestino y se elimina; un 44% se fermenta a nivel del rumen por cuenta de las Selenomonas y un 43% restante se absorbe directamente, lo que significa que el glicerol tiene una digestibilidad mayor al 80% (Daza, 2009; Trabue et al, 2007)

3.3 Degradación del glicerol.

En un estudio realizado por Bergner et al., en 1995 en el que se usó glicerol en una proporción de 20% a 25% del contenido ruminal en animales, el glicerol tuvo un tiempo de degradación de seis horas post administración.

De otra parte, según Kijora et al., en 1998, suministrando 200g del glicerol en novillos vía cánula, se observó que a las dos horas se había degradado el 85% de este.

También se realizó una comparación de la tasa de degradación de glicerina cruda in vitro versus in vivo en el que Remond en 1993 encontró que la máxima tasa de degradación in vitro fue de 0.62g por hora frente a 2.4g por hora in vivo.

En 2007, Kristensen y Raun reportaron que se recobraron 9,25g de glicerol vía porta de 925g suministrados a los animales por lo que se presume que este glicerol es sintetizado en el hígado como precursor de la glucosa. Por otro lado en el mismo año Trabue et al., indicaron que el 80% del glicerol es metabolizado por

los microorganismos ruminales bajo fermentación in vitro. Siendo gluconeogénico por convertirse en precursor del ácido propiónico.

Además, en ovinos en el año 2009 Ferraro et al., realizaron un experimento in vitro en botellas de fermentación de 90mL de volumen, con una inclusión de 0.36g y 0.72g de glicerol obteniendo como resultado un periodo de colonización por parte de los microorganismos al sustrato o período lag de 10,23h y 12,85h respectivamente, con una baja tasa de producción de gas. Importante hallazgo, ya que los rumiantes aportan más del 40% de la producción de metano, uno de los gases de efecto invernadero (IPCC, 2007). Además de contaminar, el animal pierde energía para producir dicho gas (del 2% al 12% de la ingesta de energía bruta) (Johnson y Johnson, 1995).

3.4 Producción de bovinos con diferentes niveles de inclusión de glicerina cruda.

La suplementación animal con fuentes no convencionales como el glicerol, ha sido y seguirá siendo objeto de estudio en todo el mundo.

Por ejemplo, Pyatt et al., en el 2007 realizaron un experimento con animales alimentados con: 70% harina de maíz y 10% granos de destilería, o con 35% harina de maíz, 30% granos de destilería y 15% cascarilla de soja. Suplementando con 0% y 10% de inclusión de glicerina cruda. Reportaron que hubo una disminución del 10% en el consumo de alimento, pero la eficiencia de conversión alimenticia representada en kg de carne aumentó 19%. En otro estudio, se obtuvieron resultados similares al incluir 7.5% o 15% de glicerina cruda en animales en etapa de ceba, pues se observó disminución en el consumo de alimento, pero hubo mejor eficiencia de conversión alimenticia ($P < 0.01$). (Van Cleef et al., 2011).

En 1999 se realizó un estudio en el que se encontró que se disminuye el consumo de alimento pero no se altera el rendimiento de rumiantes en crecimiento o en lactancia con una inclusión de hasta un 10% de glicerol en base seca de la dieta. (Shröder et al, 1999). Esto se ratifica con otro estudio realizado en 2011 por Aperce et al., quienes reportaron resultados positivos al alimentar el ganado con glicerina cruda durante el período de crecimiento; pero pasó todo lo contrario en la etapa de finalización de las novillas, por lo que se alimentaron sin adición de glicerol, sin embargo, la dieta de finalización en base seca, estaba compuesta por 30% de alimento balanceado de gluten de maíz, que es un subproducto de la

refinación del maíz para la producción de edulcorantes que contiene cantidades apreciables de glicerina; 10% ensilaje de maíz, harina de maíz y suplemento seco.

Así mismo, en granos solubles de destilería (DDGS) en base se han encontrado concentraciones de 10% o más de glicerina cruda que son coherentes con los valores reportados por Wu (1994). En algunos experimentos se ha observado que cantidades relativamente pequeñas de glicerina pueden perjudicar la digestión de fibra, efecto que es menos evidente en las dietas con inclusión de granos de destilería.

Después, en un trabajo realizado por Gunn et al., en el año 2011 se ofreció una dieta a animales destetos en etapa de ceba que consistió en una mezcla de glicerina cruda, hojuelas de soja y harina de gluten de maíz para reemplazar la harina de maíz. Hicieron tres tratamientos, uno control uno con el 15% de inclusión de la mezcla en la dieta en base seca y el otro con el 30% y registraron ganancias diarias de peso de 1,39 kg/d, 1,33 kg/d y 1,07Kg/d respectivamente ($P < 0.01$), el consumo de la dieta fue de 7.01Kg/d, 6.06Kg/d y 5.05Kg/d en base seca respectivamente para los tres niveles de inclusión de glicerol. Del estudio se concluyó que los tratamientos control y con el 15% de inclusión de la mezcla en la dieta, no afectaron la ganancia de peso de los animales, sin embargo al adicionar el 30% de la mezcla, los animales tendieron a disminuir el consumo, lo que se reflejó en menores ganancias de peso de los animales y por lo tanto menor crecimiento.

En otro trabajo, en el que se alimentaron toros de la raza Holstein con dietas de 0%, 4%, 8% y 12% de inclusión de glicerol, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en cuanto al rendimiento en canal; pero al incluir el 12% de glicerina cruda en la dieta, se reportaron menores pesos (Mach et al., 2009).

También, en un experimento con novillas en etapa de finalización, en el que se incluyeron niveles de 0%, 2%, 4%, 8%, 12% y 16% de glicerina cruda en una dieta basada en hojuela de maíz; se encontró que al incluir más del 10% de glicerol, el consumo del alimento bajó notablemente, y que el nivel de inclusión óptima para el trabajo, fue del 2%. (Parsons et al., 2009)

Hay un estudio similar al anterior en el que realizaron un trabajo con novillas alimentadas con niveles de inclusión de 0%, 7.5% o 15% de glicerol en el que observó una reducción lineal en el consumo de materia seca ($P=0.09$), sin

embargo, reportaron que la conversión alimenticia no se alteró, pero se disminuyó el marmóreo en el músculo longissimus, lo que afecta negativamente el valor comercial de las canales. (Elam et al., 2008)

Por el contrario, en un estudio realizado por Maestra et al., en 2009, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el consumo de materia seca en vacas suplementadas de 120 días de lactancia suplementadas con 300mL de glicerol. La producción de leche fue de 22.7L/d y 26.5L/d para el grupo testigo y suplementado respectivamente.

3.5 Degradabilidad de la dieta al suplementar animales con glicerol.

La fermentación ruminal podría verse afectada en algunos parámetros, como en la actividad proteolítica, como lo mostraron Paggi et al., en 1999 en un estudio en el que dicha actividad se redujo en un 20% aproximadamente al aumentar la concentración de glicerol en 50 mmol/L, 100 mmol/L, 200 mmol/L y 300 mmol/L. Así mismo, Wang et al., en 2009 reportaron disminución en la degradabilidad de la proteína en un experimento in vitro, pero encontraron un aumento en la digestibilidad de los nutrientes adicionando niveles crecientes de glicerol (100 g/d, 200 g/d y 300g/d) pues obtuvieron mejores resultados en la digestibilidad total de la MS, FDN y FDA debido a la degradación ruminal mejorada cuando el glicerol se incluyó en la dieta con un nivel óptimo de glicerol 200g/novillo/d.

Contrario a lo anterior, en 2012 Shin et al., registraron una reducción del 30% en la digestión aparente de FDN en una dieta suministrada a vacas lecheras sustituyendo el alimento balanceado por glicerol en un porcentaje de inclusión de 10% de MS, lo que concuerda con los resultados que obtuvieron Donkin et al., en el 2009 con menor digestibilidad total de la FDN en vacas lecheras cuando sustituyeron grano de maíz por glicerol en niveles de 5%, 10% o 15% de inclusión en base seca. Además, al incluir bajas cantidades de fibra efectiva en la dieta con inclusiones de glicerol de 10% de materia seca, se puede reducir la concentración de grasa en la leche.

Así mismo, en un estudio realizado en 2011 por Benítez, en el que se incluyeron 7.5% y 12.5% se obtuvieron porcentajes de digestibilidad de FDN del 40.51% y 33.18% y FDA 34,26% y 26,13% respectivamente, presentando diferencias estadísticamente significativas, esto indica que al incluir más de 12.5% de glicerol en la dieta, se puede disminuir la digestión de la pared celular, también se

encontró que al incluir 7.5% de glicerina cruda aumenta la degradación de la materia seca y de la proteína cruda.

Parsons en 2010 midió digestibilidad in vivo en animales en etapa de finalización con dietas compuestas por granos en inclusiones de glicerol de 0%, 2% y 4 % encontrando que la digestibilidad de la materia seca, lípidos, almidón y proteínas no presentó diferencias estadísticamente significativas, por otro lado, la digestión de la FDN disminuyó, al igual que el butirato y valerato ruminal.

De otra parte, Kijora et al, en 1998 encontraron un descenso de 6.3 a 5.4 en el pH ruminal para el día 7 de dosificación de 200 g de glicerina a novillos canulados, atribuyendo esto a una posible producción de ácido láctico cuando el glicerol es utilizado para la síntesis de propionato.

Así mismo, Duque y Cadavid en 2009 realizaron un experimento para estandarizar un sistema de simulación ruminal con de fermentadores de flujo semi-continuo (RUSITEC); se evaluaron diferentes parámetros de la fermentación como la producción de gas, el volumen del efluente producido, la degradación de la materia seca (DMS) y la degradación de la fibra en detergente neutra (DFDN), suministrando glicerol con diferentes especies de pastos. Con las pruebas in vitro, los resultados obtenidos no mostraron diferencias estadísticamente significativas en la concentración de amonio ruminal con king-grass; 107.7ppm vs 102.8ppm; ni maralfalfa de 219.5ppm vs 218.3ppm, con y sin glicerol respectivamente; también, al adicionar el 15% de glicerina cruda a una dieta basada en Kikuyo, se observó que no se alteró la digestibilidad de materia seca, con resultados del 57,9% y 56,5% sin y con glicerol respectivamente; mientras que la DFDN disminuyó de 41,9% a 38,4% con la inclusión del glicerol. Suministrando pasto la DMS disminuyó de 39,1% a 35,8% y la DFDN de 24,7% a 19,9% suplementando con glicerol. La inclusión de glicerina, redujo la producción de amoníaco usando ambos pastos, sin embargo, produjeron casi el mismo volumen de gas durante la fermentación: 2,64L y 2,85L con Kikuyo; con Angleton, aumentó de 2,03L sin glicerina a 2,35L con glicerina. El volumen de efluente no presentó ni el pH (7.36 y 7.49) presentaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para ambos pastos. Esto ocurre debido a que al bajar el consumo de alimento (dietas basadas en forraje) y fermentarlo en el rumen, este presenta un pH de 6.5 - 7 debido al bajo flujo de carbohidratos a piruvato, lo que ayuda a mantener una relación relativamente alta de NAD⁺/NADH en el ecosistema ruminal, reduciendo la producción propionato. (Sutherland, 1977)

En un estudio realizado en 1992 por Roger, Fonty y Gouet, encontraron que al agregar glicerol a una concentración más del 5% del volumen total del contenido ruminal, se produjeron efectos negativos sobre el crecimiento y la actividad celulolítica, afectando la digestibilidad total de la materia seca y de los componentes de la pared celular.

De la misma manera, se encontró que la digestibilidad in situ de materia seca, materia orgánica y contenidos de la pared celular disminuyeron al suministrar 300 g de glicerol en novillos canulados con una dieta basada en una mezcla de hojas y tallos de maíz y concentrado comercial, sin embargo, al suministrar 200 g aumentó la digestibilidad respecto al grupo control (Wang et al., 2009)

En 2008 Donkin realizó un trabajo con vacas lactantes suplementadas con alimentos balanceados, en el que reemplazó el 15% de la materia seca del maíz sin obtener efectos negativos en la producción. También se evidenció que al aumentar la inclusión de glicerol en la dieta del 1% al 15% de la materia seca total, se disminuyó la concentración de la urea en leche y rumen, a causa del incremento de la microflora bacteriana.

De otra parte, en un estudio realizado por Benitez y Giraldo en 2013 con 12 novillos en confinamiento, se encontró que al incluir menos de 8% de glicerina cruda en base seca en la dieta, no se vio afectado el consumo de la misma, se obtuvieron ganancias de peso de 15 g a 46 g día, posiblemente por suministrar pastos de más de 100 días de edad en la dieta.

Donkin et al. en el 2009, dijeron que se puede incluir hasta un 15% de glicerina cruda de la MS total de la dieta para vacas lecheras sin afectar negativamente la producción ni la composición de la leche. Adicionalmente, Shröder et al. (1999) muestra que los diferentes grados de pureza de la glicerina puede reemplazar el almidón en dietas para rumiantes a niveles de hasta 10% de la dieta MS sin efectos negativos sobre la alimentación y la ingesta de agua y la digestibilidad de los nutrientes.

Hablando de eficiencia reproductiva, Méndez et al., en el 2014 realizaron un trabajo en bovinos Holstein incluyendo el 10% de glicerol en la dieta y obtuvieron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos suplementados y no suplementados en cuanto a días abiertos 174 y 121 respectivamente, y no encontraron diferencias estadísticamente significativas en cuanto a servicios por concepción, unidades formadoras de colonias y conteo de células somáticas.

3.6 Torta de palmiste.

Como se evidencia en el trabajo, por lo general el glicerol se suministra como suplemento alimenticio diluido con otras materias primas en la dieta.

Otro de los coproductos resultantes de la fabricación del glicerol, es la torta de palmiste que se obtiene por medio de dos etapas de extracción; la primera, en la que se extrae el aceite del pericarpio de la fruta, y la almendra de allí resultan los lodos de aceite de palma y la palma de fibra prensada como coproductos. (Chase et al., 2004). Luego de esto, el aceite puede ser extraído mediante el proceso de prensado mecánico de la almendra de la palma o usando solventes (por lo general hexano) después de este proceso, queda la torta de palmiste; que se puede mezclar con el glicerol, o incluir en las dietas en forma de pellet o en raciones totalmente mezcladas como una excelente alternativa de alimentación animal que no compite con fuentes de alimentación humana; es un producto económico, con valor energético medio (4.58 Mcal/Kg) y un contenido de proteína bruta (12,8%) superior al de los granos de cereales, además por su contenido de aceite es de fácil digestión en animales jóvenes. (Wan Zahari et al., 2000,2003) También se puede incluir en la dieta de hatos lecheros con inclusiones de hasta un 10% (FEDNA, 2014).

Al ser un coproducto de fibra larga, estimula la rumia produciendo más saliva, por lo tanto neutralidad en el pH ruminal y contribuye a la formación de ácido acético en el rumen, fundamental para la síntesis de la grasa de la leche. Estudios realizados demuestran que incluir la torta de Palmiste en la dieta de la vaca aumenta la grasa de la leche. (Yeong SW, 1981).

3.7 Composición de la torta de palmiste extraída por solvente vs la extraída por prensado mecánico.

La torta de palmiste extraída a través de solventes tiene una composición de: materia seca del 89% al 91%; proteína cruda del 15% al 15,3%; fibra cruda del 14,3% al 16%; fibra detergente ácida del 40% al 46,1%; fibra detergente neutra del 66,7%; extracto etéreo del 0,9% al 2,9%; nutrientes totales digestibles, del 70% al 75%; energía metabolizable del 12,2% al 13,1%; calcio del 0,2% al 0,25%; fósforo de 0,52% al 0,54%; magnesio del 0,26%; cobre del 28,5ppm al 34ppm;

Hierro del 4,05mg/Kg; manganeso 225mg/Kg y zinc 77mg/Kg, frente a la torta de palmiste extraída por prensado mecánico que tiene una composición de: 89,1% a 93% de MS; PC del 14,6% al 16%; FC del 12,1% al 16,8%; FDA del 39,6% al 44%; FDN del 66,4%; EE del 9,1% al 10,6%; TDN del 67% al 72%; EM del 11,7% al 12,5%; Ca del 0,2% al 0,21%; P del 0,52% al 0,32% y Cu 18ppm. (Chase et al., 2004)

3.8 Suplementación con torta de palmiste alrededor del mundo.

En países como Malasia, los animales en etapa de ceba, son alimentados con inclusiones en la dieta de hasta un 80% de torta de palmiste, con registros de ganancia de peso de 0.6Kg/d – 0.8Kg. (Wan Zahari et al., 2000,2003)

En Costa Rica, Rojas et al., en el año 1987 realizaron un trabajo en el que suplementaron 24 vacas doble propósito en pastoreo divididas en grupos según su número de partos, tercio de lactancia y producción de leche, con palmiste en cantidades de 0.25Kg y 0.33Kg, en 1Kg/d de la dieta y obtuvieron diferencias estadísticamente significativas en producción de grasa, de leche y de leche corregida a 305 días, el porcentaje de grasa de la leche no presentó diferencias significativas entre tratamientos, pero el que mejor resultado dio fue el 0.250 Kg de Palmiste/an/d, en cuanto a beneficios económicos. El peso de los terneros no se vio afectado por los tratamientos, sin embargo, los animales de segundo parto tuvieron mayor producción de leche, y las vacas del tratamiento control presentaron pérdida de peso a diferencia de las de los otros dos tratamientos.

En Colombia, en el año 2003 Hernández et al., suplementaron novillos una y dos veces con una mezcla de pollinaza, torta de Palmiste y melaza con ganancias de 823.3 g/d y 941.3 g/d respectivamente, con diferencias estadísticamente significativas respecto al grupo control que presentó una ganancia de 370g/d.

En Pretoria (Sudafrica) en el año 2014, se realizó un experimento con cuarenta y ocho vacas multíparas de la raza jersey en pastoreo de una mezcla de kikuyo y rye grass, para determinar el efecto de la suplementación con expeller de palma en diferentes niveles de inclusión en una dieta de 6Kg diarios de una mezcla que contenía alimento balanceado y harina de soya dividida en dos raciones sobre los patrones de fermentación ruminal. Los animales fueron sometidos a un proceso de adaptación de 21 días y se hicieron tres grupos; el control, uno suplementado

200g/kg y el otro con 400g/kg del expeller en la dieta. Adicional a esto, fueron fistuladas ocho vacas al azar. Los resultados reportados fueron los siguientes: la proteína de la leche, el MUN, el peso corporal, la condición corporal, la producción de AGV totales, el pH ruminal, el nitrógeno amoniacal, y la degradabilidad de la fibra detergente neutra de los pastos en base seca, no presentó diferencias estadísticamente significativas entre vacas ni entre tratamientos. De igual forma, la producción de leche y el contenido de grasa de la misma no presentaron diferencias estadísticamente significativas, con resultados de 21.3 kg/vaca/d, 21,3 kg/vaca/d y 20,7kg/vaca/d de leche y 46,3g/kg y 46,5g/kg y 46,6g/kg de grasa en leche para los tratamientos control, 200g/Kg y 400g/Kg respectivamente. Por otro lado, la producción de ácido propiónico fue mayor ($P = 0,006$) para las vacas del tercer tratamiento que para las del control (3.40 vs. 3.22). Llegaron a la conclusión que el expeller de palma, puede mantener la calidad composicional de la leche cuando se suplementan hasta 400g/kg mezclados en una dieta de 6Kg/an/d para las vacas que pastan Kikuyo y ryegrass. Sin embargo recomiendan limitar la inclusión a 200g/kg para evitar problemas de palatabilidad y por el ritmo lento de ingesta al alimentar durante el ordeño. (Wyngaard, Meeske y Erasmus, 2014).

En Malasia, Mustafa et al., en el año 1987 realizaron un estudio en el que evaluaron la viabilidad de mantener feedlots comerciales usando torta de palmiste como única fuente alimenticia, más un suplemento de vitaminas y minerales. Usando animales en etapa de ceba de la raza Drougamster y Sahiwal-Friesian y al comparar estas dos razas se encontró que el ganado Droughtmaster tiene mejores resultados con ganancias de 0,85Kg/d frente a 0,63Kg/d y 0,65Kg con el tratamiento control; por otro lado, la conversión alimenticia no presentó diferencias estadísticamente significativas con valores de 7,37, 7,80 y 7,83, respectivamente.

En 1986, Hutagalung et al., realizaron un trabajo en el que evaluaron la ganancia diaria de peso con un cruce comercial australiano alimentado con torta de palmiste obteniendo resultados de 0,84Kg/d, con un índice de conversión alimenticia de 6,96.

Así mismo, Yusoff et al., en el año 1987 alimentaron animales de la raza Sahiwal-Friesian con torta de palmiste obtenida por solvente y baja en grasa (7% EE) por prensado mecánico, encontrando que no se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos con 0,75Kg/d con la extraída por prensado y 0,69Kg/d la torta extraída por solvente.

En varios estudios en los que se suplementaron animales con dietas basadas en torta de palmiste, y con los minerales y vitaminas; se evaluaron los resultados del desempeño de individuos de diferentes razas medidos en ganancia de peso. A continuación se muestran los resultados obtenidos; Con 100% de torta de palmiste extraída por solvente: raza cebú mestizo 0,793Kg/d, Sahiwal mestizo francés 0,76Kg/d, Kedah-kelatan (raza local) 0,56Kg/d; con 100% de torta de palmiste extraída por prensado mecánico con cruces de razas cárnicas 0,629Kg/d, Kedah-kelatan 0,338Kg/d; con 100% torta de palmiste extraída con solvente baja en grasa con 7% de EE para la raza Sahiwal mestizo francés obtuvieron 0,74Kg/d y 0,6Kg/d para cruces comerciales australianos; con 50% de torta extraída con solvente y 50% de forraje para cebú mestizo obtuvieron 0,65Kg/d, con 50% de torta extraída por solvente y 50% por prensado para Sahiwal mestizo francés obtuvieron 0,7Kg/d; con 60% de torta extraída por solvente y 40% de fruto de palma obtuvieron 0,83Kg/d para la raza droughmaster y 0,51Kg/d para la Kedah-kelatan y con 60% de torta baja en grasa y 40% de fruto de palma, obtuvieron 0,59Kg/d suplementando animales de la raza Sahiwal mestizo francés. De los datos mencionados anteriormente, se concluyó que el menor promedio de ganancia de peso fue de 0,338Kg/d suplementando ganado Kedah-Kelantan con 100% de torta extraída por prensado contra 0,83Kg/d que fue la ganancia máxima de peso obtenida por animales de la raza Droughtmaster alimentados con un mezcla de 60% de torta extraída con disolvente y 40% de fruto de palma. (Hawari y Chin, 1985; Mustaffa, 1987; Mustaffa et al., 1987)

Se recomienda que para ovinos se suplemente un de 30% de torta de palmiste y no más del 80% de esta para evitar envenenamiento por cobre en los animales, ya que estos lo acumulan en el hígado. El efecto tóxico del cobre se puede contrarrestar con Sulfato de sodio, sulfato de Zinc o molibdato de amonio (Hair - Bej Bejo, Moonafizad M y Alimon Ar, 1995).

3.9 Suplementación con diferentes niveles de inclusión de la mezcla torta de palmiste y glicerol en la dieta.

El siguiente, es un trabajo realizado suplementando novillos Brangus con una mezcla de 3Kg de torta de palmiste y 1Kg de glicerol obteniendo ganancias de peso de 785g/d y 1170g/d para animales no suplementados y los suplementados respectivamente. Adicional a esto, se encontraron diferencias estadísticamente significativas en los niveles de nitrógeno uréico en sangre (BUN) y de glucosa circulante. (León et al., 2012)

Igualmente, Benítez y Giraldo en el 2013 realizaron un trabajo en el que alimentaron novillos con pasto guinea, sal mineralizada, torta de Palmiste y agua a voluntad, suplementando con melaza o glicerina, encontrando que la inclusión de glicerina en base seca de hasta un 8%, no afectó el consumo de alimento, y que no hubo diferencias significativas en cuanto a ganancia diaria de peso (330g/d con melaza y 270g/d con glicerina).

4. CONCLUSIONES

Es importante tener en cuenta que todos los animales suplementados con dietas que incluían los coproductos mencionados en el trabajo o con cualquier otra composición, deben ser sometidos a un proceso de adaptación, para permitir que los microorganismos ruminales se adapten y puedan usar de manera adecuada los nutrientes ofrecidos.

El nivel máximo de inclusión de glicerina cruda o de la torta de palmiste en la dieta en base seca no están especificados. Sin embargo, es recomendable tener en cuenta la respuesta de los animales suplementados en cuanto a consumo y palatabilidad y los resultados ofrecidos productiva y por lo tanto económicamente hablando.

Los ganaderos deben estar en constante búsqueda de optimización de sus empresas, una de las opciones más viables para reducir costos de producción, consiste en buscar, evaluar, implementar y medir resultados obtenidos al incluir suplementos alimenticios no convencionales que ayuden a cumplir con los requerimientos nutricionales de los animales y que tengan un precio más bajo que las materias primas convencionales para ser competitivos en el mercado y tener un mayor margen de ganancia. Por la disponibilidad de glicerol y de torta de palmiste en la actualidad, estos recursos se han vuelto más accesibles al productor económicamente hablando y con el beneficio adicional de bajos contenidos de nitrógeno y fósforo.

Las sales mineralizadas usadas en cualquier explotación, deben estar balanceadas de acuerdo a los requerimientos de los animales por su etapa productiva y a los minerales ofrecidos en la dieta. Cabe resaltar que es de vital importancia tener en cuenta los microminerales, como el cobre, que bien sea en exceso o déficit causan alteraciones en el animal, principalmente en cuestiones reproductivas. Así mismo, como se evidenció en el trabajo, es indispensable conocer los factores antinutricionales de los suplementos que se vayan a incluir en las dietas, pues para algunos animales, como las ovejas, el exceso de ciertos componentes, como el cobre pueden llegar a causar en el peor de los casos muerte por envenenamiento.

5. BIBLIOGRAFÍA

Hutagalung et al. 1986. Digestibility and performance of cattle fed PKC and ammoniated PPF under intensive system. Proc. 8th Ann. Conf. MSAP, Mar. 13-14 1984, Malaysia, pp. 87-91.

YUSOFF et al. 1987. Performance of young Sahiwal - Friesian bulls fattened on either solvent extracted or expeller pressed palm kernel cake with dried sago.

HAWARI Y CHIN. 1985. Palmbeef from PKC. Farmers Guidance No. 1, Dept. Vet. Services Malaysia.

MUSTAFFA. 1987. Palm kernel cake as a new feed for cattle. In: Asian livestock, Vol. XI, No. 5, FAO/APHCA public. Bangkok, Thailand, pp 49-50.

MUSTAFFA et al. 1987. The use of palm kernel cake as animal feed. Dept Vet. Services Mimeograph. Bangkok, Thailand as contribution from Mustaffa, A. B.).

CHASE et al. 2004. Palm Kernel Cake (PKC) as a Supplement for Fattening and Dairy Cattle in Malaysia. Department of Veterinary Services, 8th Floor, 50630 Kuala Lumpur, Malaysia.

WYNGAARD, MEESKE Y ERASMUS. 2014. Effect of palm kernel expeller as supplementation on production performance of Jersey cows grazing kikuyu-ryegrass pasture. J. Anim. Feed Sci. Tech. 199 (20 – 40). Pretoria. Sudáfrica.

ACEITE DE PALMA PRODUCCIÓN MUNDIAL. 2015/2016. URL: <http://www.produccionmundialaceitedepalma.com> [consulta: 26/05/15]

AXELSSON et al. 1989. Production of a broad spectrum antimicrobial substance by *Lactobacillus reuteri*. Microbial Ecology in Health and Disease 2(2), 131-136.

BENITEZ y GIRALDO. 2013. Productividad animal de bovinos estabulados suplementados con glicerina cruda. Universidad Nacional. Medellín. Colombia. <http://www.bdigital.unal.edu.co/11805/1/1128268878.2014.pdf>. [Consulta: 24/05/15]

BENÍTEZ. 2011. Informe final jóvenes investigadores 2010-2011, "efecto de la suplementación con glicerol crudo, como co-producto de la obtención de biodiesel en la producción y calidad de la leche, en la región antioqueña" Colombia. pp. 63-65.

BERGNER et al. 1995. In vitro untersuchungen zum glycerin umsatz durch pansen mikroorganismen. Arch. Anim. Nutr. 48, pp. 245-256.

BIODIESEL. 2020,2008. A global market survey, 2nd Edition. URL: <http://www.emerging-markets.com/biodiesel/> [consulta: 24/05/15]

BUSCONI et al. 2008. Evaluation of biodiversity of lactic acid bacteria microbiota in the calf intestinal tracts. Antonie Van Leeuwenhoek International Journal of General and Molecular Microbiology 94(2), 145-155.

CONSTABLE et al. 2001. Clinical and laboratory assessment of hydration status of neonatal calves with diarrhea. Journal of the American Veterinary Medical Association 212(7), 991-996.

CONVENIO INTERINSTITUCIONAL DE COOPERACIÓN 2003. (UPME – INDUPALMA – CORPODIB. informe final "Programa estratégico para la producción de biodiesel - combustible automotriz a partir de aceites vegetales", Bogotá, Colombia. pp 2-130

DAZA. 2009. Evaluación productiva y económica de una ceba intensiva estabulada aprovechando subproductos agroindustriales y establecida con infraestructuras de bajo costo, en la región Caribe colombiana. Barranquilla.

DONKIN et al. 2009. Feeding value of glycerol as a replacement for corn grain in rations fed to lactating dairy cows. Journal of dairy science 92(10), 5111-5119.

DONKIN. 2008. "Glycerol from biodiesel production: the new corn for dairy cattle." R. Bras. Zootec.; 37 [en línea]. URL: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S151635982008001300032&lng=pt&nrm=iso. [Consulta: 24/05/15]

DUQUE y CADAVID. 2009. Tesis de pregrado, "Efecto de la adición de glicerol o biomasa y del tamaño de poro de las bolsas de nylon, sobre los

parámetros de fermentación ruminal de larga duración, en un sistema de rumen artificial de tipo semicontinuo: RUSITEC". Medellín, Colombia. 52 p.

EBERT et al. 2008. Efficacy of glycerol as a replacment for lactose in calf milk replacer. J.Anim. Sci. 86:68/J. Dairy Sci. 91:68 (Abstract 198)

ELAM et al. 2008. Glycerol from biodiesel production: considerations for feedlot diets. Proceedings of the Southwest Nutrition Conference. 21 February 2008. Tempe, AZ, USA. 2-6 p

FEDNA, 2014. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal, URL: http://www.fundacionfedna.org/ingredientes_para_piensos/torta-depresi%C3%B3n-de-palmiste18 [consulta: 26/05/15]

FERRARO et al. 2009. In vitro gas production and ruminal fermentation of glycerol, propylene glycol and molasses. Animal feed science and Technology. 154 (1-2), pp. 112-118.

FISCHER et al. 1973. Effects of propylene glycol or glycerol supplementation of the diet of dairy cows on feed intake, milk yield and composition, and incidence of ketosis. Canadian Journal of Animal Science 53(2), 289-296.

GARCÍA. 2009. Biocombustibles: De Kioto a copenhague. Union Europea y Brazil. ISSN: 1998-0618 Vol. 3, nº 1. p 23-35.

GIRALDO. 2008. Proyecto de investigación "Potencial del glicerol como residuo de la producción de biocombustible en la suplementación de vacas para la obtención de leche de mejor calidad composicional y con atributos funcionales" Universidad Nacional de Colombia-Colciencias Oleoflores S.A. Duración 36 meses, Medellín, Colombia.

GRUMMER et al. 2004. Dry matter intake and energy balance in the transition period. Veterinary Clinics of North America-Food Animal Practice 20(3), 447-470.

GUNN et al. 2011. Effects of elevated crude glycerin concentrations on feedlot performance, carcass characteristics, and serum metabolite and hormone concentrations in finishing ewe and wether lambs. The Professional Animal Scientist, v.26, p.298-306,

HAIR-BEJO M, MOONAFIZAD M & ALIMON AR. 1995. Acid digestion of liver for determination of copper and zinc by atomic absorption spectrophotometer. Proc. of

the 17th Malaysian Society of Animal Production Annual Conference, May 28-30, 1995, Penang, Malaysia, 227-229.

HERNÁNDEZ et al. 2003. Evaluación de una suplementación con base en pollinaza y torta de Palmiste en bovinos, con diferente frecuencia de ofrecimiento. Unipaz Bucaramanga Colombia.

HOLTENIUS y HOLTENIUS. 1996. New aspects of ketone bodies in energy metabolism of dairy cows: A review. *Journal of Veterinary Medicine Series a-Physiology Pathology Clinical Medicine* 43(10), 579-587.

INGVARTSEN y ANDERSEN. 2000. Integration of metabolism and intake regulation: A review focusing on periparturient animals. *Journal of dairy science* 83(7), 1573-1597.

IPCC, 2007. *Climate Change 2007, mitigation of climate change*. URL: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg3/en/contents.html [consulta: 26/05/15]

JOHNSON y JOHNSON. 1995. Methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science* 73(8), 2483-2492.

JOHNSON. 1954. The treatment of ketosis with glycerol and propylene glycol. *Cornell Veterinarian* 44(1), 6-21.

KARNEY et al. 1986. Changes in the lactobacilli and coliform populations in the intestinal tract of calves from birth to weaning. *Journal of Animal Sciences* 63, E-Suppl. 1,446-447.

KASKE et al. 2005. Colostrum management in calves: effects of drenching vs. Bottle feeding. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 89(3-6), 151-157.

KHANNA et al. 2012. Microbial conversion of glycerol: present status and future prospects. *Crit Rev Biotechnol* 32(3), 235-62.

KIJORA et al. 1998. Investigation on the metabolism of glycerol in the rumen of bulls. *Arch. Anim. Nutr.* 51, pp. 341-348.

KRISTENSEN y RAUN. 2007. Ruminal fermentation, portal absorption, and hepatic metabolism of glycerol infused into the rumen of lactating dairy cows. Pages 355-356 in *Energy and Protein Metabolism and Nutrition – Proceedings of*

the 2nd International Symposium on Energy and Protein Metabolism and Nutrition, I. Ortigues- Marty, ed. EAAP Publication No. 124. Wageningen Academic Publishers, the Netherlands.

LEÓN et al. 2012. Suplementación con glicerol y torta de Palmiste en levante de novillos Brangus en el municipio de Guamal. Tesis universidad de la Salle Bogotá Colombia.

MACH et al. 2009 Effects of crude glycerin supplementation on performance and meat quality of Holstein bulls fed high-concentrate diets. *J. Anim. Sci.* 87:632–638

MAESTRA et al. 2009. Utilización de glicerina cruda en vacas de leche del trópico alto colombiano. Colombia.

MASSICOTTE et al. 2006. Metabolic fate of a large amount of C-13-glycerol ingested during prolonged exercise. *European Journal of Applied Physiology* 96(3), 322-329.

MATEUS. 2014. El glicerol una fuente de energía alternativa. San Gil Colombia

MÉNDEZ et al. 2014. Estudio comparativo de la eficiencia reproductiva de bovinos Holstein antes y después de la suplementación con glicerina cruda. Trabajo de grado Zootecnista. Bogotá D.C.: Universidad de la Salle. Facultad de Ciencias Agropecuarias. 2014. 93 p.

MURRAY et al. 1991. Physiological-responses to glycerol ingestion during exercise. *Journal of Applied Physiology* 71(1), 144-149.

NEUMANN et al. 1999. Effect of methanol on methanogenesis and fermentation in the rumen simulation technique (RUSITEC). *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 82(4), 142-149.

PAGGI et al. 1999. Effect of short-chain acids and glycerol on the proteolytic activity of rumen fluid. *Animal feed Science and Technology*; 78, pp. 341-347.

PARSONS et al. 2009. Performance and carcass traits of finishing heifers fed crude glycerin. *J. Anim. Sci.* 87:653–657.

PARSONS. 2010. Effects of crude glycerin in feedlot cattle. PhD Dissertation. Kansas State University, USA. URL: <http://hdl.handle.net/2097/6305>.

[Consulta: 26/05/15]

PYATT et al. 2007. Effect of crude glycerin in finishing cattle diets. *Journal of Animal Science*, 85(Suppl. 1):_530 (Abstract).

REMOND. 1993. In vitro and in vivo fermentation of glycerol by rumen microbes; *Anim. Feed Sci. Technology*; 41, pp. 121-132.

ROGER, FONTY y GOUET. 1992. Effects of glycerol on the growth, adhesion, and cellulolytic activity of rumen cellulolytic bacteria and anaerobic fungi. *Current Microbiology*; 25 (4), pp. 197- 205.

ROJAS et al. 1987. Efecto de la utilización de Palmiste integral sobre parámetros productivos en vacas tipo doble propósito. Costa Rica.

SCHROEDER et al. 1999. Glycerol as a by-product of biodiesel production in Diets for ruminants. En: 10ºRapeseed Cogress, Canberra,Australia.URL:<http://www.regional.org.au/au/gcirc/1/241.htm> [consulta: 26/05/15]

SHIN et al. 2012. Effects of feeding crude glycerin on performance and ruminal kinetics of lactating Holstein cows fed corn silage- or cottonseed hull-based, low-fiber diets. *Journal of dairy science* 95(7), 4006-4016.

SPINLER et al. 2008. Human-derived probiotic *Lactobacillus reuteri* demonstrate antimicrobial activities targeting diverse enteric bacterial pathogens. *Anaerobe* 14(3), 166-171.

SÜDEKUM. 2008. Co- products from biodiesel production. In: P.C. Garnsworthy, J. Weisman (Eds.) *Recent Advances in Animal Nutrition - 2007*. Nottingham, UK, pp. 201-219. Nottingham University Press.

SUTHERLAND. 1977. The control and manipulation of rumen fermentation. In: D.J. Farrell (Editor), *Recent Advances in Animal Nutrition in Australia*. The University of New England, Armidale, N.S.W.

THOMPSON y HE. 2006. Characterization of crude glycerol from biodiesel production from multiple feedstocks. *Applied Engineering in Agriculture* 22(2), 261-265.

- TRABUE et al. 2007. Ruminant fermentation of propylene glycol and glycerol. *J. Agric. Food chem*; 55, pp. 7043- 7051.
- VAN CLEEF et al. 2011. Effects of crude glycerin in byproducts diets on performance and carcass characteristics of feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 89(E-Suppl. 1): 124 (Abstr.).
- VANTCHEV et al. 1970. Rumen methanol in-vivo and in-vitro. *Journal of dairy science* 53(10), 1511-&.
- WAN ZAHARI et al. 2000. *Third Asean Buffalo con gress*. Kandy, Sri Lanka. P.8.
- WAN ZAHARI et al. 2003. *Asian Aust.J.Anim.Sci.*16 (4) 625 – 634.
- WANG et al. 2009. Effects of glycerol on rumen fermentation, urinary excretion of purine derivatives and feed digestibility in steers. *Livestock Science.* 121 (1), pp. 15–20
- WERNER. 2013. Glycerol Supplementation in Dairy Cows and Calves. Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science. Department of Animal Nutrition and Management. Uppsala. Swedish University of Agricultural Sciences.
- WRIGHT. 1969. Fermentation of glycerol by rumen microorganisms. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 12: 281–286.
- WU. 1994. Determination of neutral sugars in corn distillers' dried grains, corn distillers' dried solubles, and corn distillers' dried grains with solubles. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42:723–726.
- YEONG SW. 1981. Proc. of the National Workshop on oil Palm by Product Utilization: 14 – 15 December 1981. p. 100 – 107.
- ZULETA et al. 2007. Obtención de Biodiesel por transesterificación de aceite crudo de palma africana (*Elais guineensis*) con etanol. *Revista energética.* (38), pp. 47-54.