

## VALORACIÓN DE ENERGÍA DIGESTIBLE DE LA GLICERINA CRUDA PROVENIENTE DE ACEITE DE PALMA –*Elaeis guineensis*– PARA CERDOS EN CRECIMIENTO EN FUNCIÓN DEL NIVEL DE ALMIDÓN DE MAÍZ EN LA DIETA

C. A. Ordóñez-Gómez<sup>1\*</sup>, G. Mejía<sup>2</sup>, G. Afanador-Téllez<sup>2</sup>, C. J. Ariza-Nieto<sup>3</sup>

Artículo recibido: 2 de agosto de 2014 • Aprobado: 19 de junio de 2015

### RESUMEN

Para determinar la energía digestible aparente (EDA) de la glicerina cruda (GC) proveniente del aceite de palma (*Elaeis guineensis*) en cerdos se realizaron dos experimentos (E). En E1 se determinó la EDA para GC con la técnica de la bolsa móvil de nailon (TBMN) utilizando ocho cerdos castrados con cánula duodenal. En E2 se determinaron la EDA y la energía metabolizable aparente (EMA) para GC, por el método convencional con indicador (MCI), con 10 cerdos castrados ubicados en jaulas metabólicas. En E1 y E2 se evaluaron, en un arreglo factorial 2 x 5, dos niveles de almidón de maíz (NA) en la dieta, 10% (NA10) y 12% (NA12), y cinco niveles de sustitución con GC (0%, 2,5%, 5,0%, 7,5% y 10%) en E1 en un diseño completo al azar y en E2 en un diseño de cuadrado latino. Para TBMN y MCI los datos se analizaron mediante regresión lineal múltiple y el metabolismo del nitrógeno en MCI como un diseño de cuadrado latino utilizando los módulos REG y GLM del paquete SAS. Por TBMN no hubo efectos ( $P > 0,05$ ) del NA sobre la EDA de GC. La EDA de GC se calculó en 3.251 kcal/kg MS. La EDA de GC en MCI dependió de NA ( $P < 0,001$ ) estimándose en 4.427,3 y 3.769,3 Kcal/kg MS para NA10 y NA12, respectivamente. Hubo interacción ( $P < 0,001$ ) entre NA y GC para la cantidad de nitrógeno digestible, se redujo cuando GC aumentó en NA12 y aumentó en NA10. Otros parámetros del metabolismo nitrogenado no se vieron afectados ( $P > 0,05$ ). Los resultados de EDA corregidos por NA con MCI mostraron correlación alta ( $R^2 = 0,82$ ) con TBMN. Con MCI se pudo establecer que el aumento en NA en la dieta reduce la EDA de GC.

**Palabras clave:** biodiesel, glicerina cruda, metabolismo energético, subproductos.

<sup>1</sup> Maestría en Producción Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Cr. 30 nro. 45-07, Bogotá (Colombia).

<sup>2</sup> Departamento de Producción Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Cr. 30 nro. 45-07, Bogotá (Colombia).

<sup>3</sup> Laboratorio de Nutrición Animal CBB, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), km 14 Vía Bogotá – Mosquera (Colombia).

\* Autor para correspondencia: caordonezg@unal.edu.co

## VALUATION OF DIGESTIBLE ENERGY OF CRUDE GLYCERIN FROM PALM OIL –*Elaeis guineensis*– FOR GROWING PIGS BASED ON DIETARY CORN STARCH LEVEL

### ABSTRACT

To determine the apparent digestible energy (EDA) of crude glycerin (GC) from palm oil (*Elaeis guineensis*) in pigs two experiments (E) were performed. In E1, EDA was determined to GC, with the technique of mobile nylon bag (TBMN) using eight barrows with duodenal cannula. In E2, EDA, EMA to GC was determined by the conventional method with indicator (MCI) with 10 barrows placed in metabolic cages. In E1 and E2 were evaluated in 2 x 5 factorial arrangement, two levels of corn starch (NA) in the diet, 10 (NA10) and 12% (NA12), and five levels of replacement by GC (0%, 2.5%, 5%, 7.5% and 10%), in E1 as a completely randomized design and in E2 as a Latin square design. For MCI and TBMN, data were analyzed using multiple linear regression and nitrogen metabolism in MCI as a Latin square design using the GLM and REG modules of SAS. By TBMN there was no effect ( $P > 0.05$ ) in the NA on the EDA of GC. EDA of GC was calculated at 3251 kcal/kg DM. EDA of GC in the MCI depended NA ( $P < 0.001$ ), estimated at 4427.3 and 3769.3 Kcal/kg MS for NA10 and NA12, respectively. Interaction ( $P < 0.001$ ) between NA and GC for the amount of digestible nitrogen was observed, was reduced when GC increased by NA12 and increased by NA10. Other nitrogen metabolism parameters were not affected ( $P > 0.05$ ). The results of EDA corrected by NA with MCI showed high correlation ( $R^2 = 0.82$ ) with TBMN. By MCI was established that increased in NA reduced the EDA of GC.

**Key words:** Biodiesel, crude glycerin, energy metabolism, byproducts.

### INTRODUCCIÓN

La industria de biodiesel genera glicerina cruda, subproducto con valor energético de interés para la alimentación animal. En Colombia, la capacidad instalada de producción de biodiesel se calculó en el año 2012 en 591.000 toneladas métricas (Tm) al año, y desde el año 2009 la producción de este biocombustible ha aumentado (FedeBiocombustibles 2013). Por cada litro de biodiesel producido se generan alrededor de 79 g de glicerina cruda (Lammers *et al.* 2008a); así, con la capacidad instalada, al año se producirán en el país alrededor de 60.700 Tm de glicerina cruda. Esto para una glicerina cruda (80% de glicerol) con una densidad de 1,3 g/mL (Berenchtein *et al.* 2010). En este contexto, la glice-

rina cruda obtenida como subproducto del biodiesel se convierte en un recurso alimenticio atractivo para reemplazar los cereales en sistemas de alimentación de cerdos (Lammers *et al.* 2008a).

El valor nutricional de la glicerina cruda está representado por su valor energético, pero la medición de la disponibilidad biológica de la energía por los métodos tradicionales, como es el método convencional con indicador (MCI), no es práctico para el análisis rápido y rutinario de recursos alimenticios debido a la cantidad de material a evaluar y de personal técnico que se requiere (Qiao y Thacker 2004). Por el contrario, la técnica de la bolsa móvil de nailon (TBMN) ha demostrado permitir la valoración rápida y rutinaria de la

disponibilidad biológica de la energía de los alimentos (Qiao y Thacker 2004); sin embargo, es necesario evaluar la correlación de los resultados de la TBMN con los del MCI que es una técnica de referencia.

Por otro lado, en ganado bovino de leche se ha observado disminución en el valor energético de la glicerina cruda al aumentar el contenido de almidón de la dieta, lo que se explicó por una reducción en la digestibilidad de la glicerina cruda (Schröder y Südekum 1999), hecho que aún no se ha constatado en cerdos y que podría ocasionar una reducción en el valor nutricional de una fuente de energía como la glicerina cruda. El objetivo del presente estudio fue determinar el efecto del nivel de almidón de maíz en la dieta de cerdos sobre el valor energético de la glicerina cruda utilizando dos técnicas: la TBMN y el MCI.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los métodos y procedimientos utilizados en el presente estudio fueron aprobados por el comité de bioética de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá (Acta 4 del 28 de septiembre de 2011). El estudio se realizó en la Sección de Porcinos del Centro de Biotecnología y Bioindustria-Tibaitatá de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), ubicado en Mosquera, Cundinamarca, entre los meses de octubre del año 2011 a marzo de 2012. Para alcanzar los objetivos se realizaron dos ensayos, el primero con la TBMN y el segundo con el MCI.

Los tratamientos consistieron en dos niveles de inclusión de almidón de maíz (10 y 12%) y cinco niveles de sustitución del almidón por glicerina cruda proveniente de aceite de palma (*Elaeis guineensis*)

**TABLA 1.** Ingredientes y composición calculada de las dietas utilizadas en la determinación de la EDA mediante la TBMN y el MCI (tal como ofrecido).

Ingrediente	10% de almidón	12% de almidón
Maíz	48,93	46,98
Almidón de maíz <sup>1</sup>	10,00	12,00
Salvado de trigo	2,00	2,00
Soya extruida	5,81	4,41
Harina arroz	4,90	4,90
Torta soya 49	23,59	24,94
Sal común	0,30	0,30
Bicarbonato de sodio	0,59	0,59
Carbonato de calcio	0,58	0,58
Fosfato monodicálcico	1,99	2,00
DL-Metionina	0,07	0,07
L-Lisina HCl	0,34	0,34
L- Treonina	0,13	0,12
Colina	0,07	0,07
PremexVit Min <sup>2</sup>	0,70	0,70
<b>Composición calculada<sup>3</sup></b>		
EM (Kcal/kg)	3237	3236
PC (%)	19,24	19,24
FC (%)	2,67	2,57
EE (%)	3,84	3,51
Ca (%)	0,72	0,72
P disponible (%)	0,40	0,40
BE, meq/kg	250	250
Lis dig (%)	1,145	1,145
Almidón (%)	42,26	42,74
EB (Kcal/kg) <sup>4</sup>	3879	3873
PC (%) <sup>4</sup>	19,35	20,37

<sup>1</sup> De acuerdo al nivel de sustitución del almidón de maíz por la glicerina cruda se disminuía la inclusión del almidón y aumentaba la inclusión de glicerina cruda.

<sup>2</sup> Premezcla mineral y vitamínica con el siguiente aporte por kg de dieta: Vitamina A: 10.000 UI; Vitamina E: 60 UI; Vitamina B6: 3 mg; Vitamina B12: 0,03 mg; Niacina: 30 mg; Ácido pantoténico: 20 mg; Biotina: 0,25 mg; Cu como CuSO<sub>4</sub>: 15 mg; Fe como FeSO<sub>4</sub>: 80 mg; Mn como MnSO<sub>4</sub>: 40 mg; I como Ca(I0<sub>3</sub>)<sub>2</sub>: 1 mg; Zn como ZnO: 100 mg; Se como Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub>: 0,3 mg.

<sup>3</sup> EM= energía metabolizable; PC= proteína cruda; FC= fibra cruda; EE= extracto etéreo; P disp= fósforo disponible; BE= balance electrolítico; Lis dig= lisina digestible (SID).

<sup>4</sup> Resultados obtenidos en el Laboratorio de Nutrición y Microbiología de Corpoica, Mosquera (Colombia).

(0%, 2,5%, 5,0%, 7,5% y 10%) en un diseño completo al azar en arreglo factorial 2 x 5. Los ingredientes y la composición calculada de las dietas utilizadas en la determinación de la EDA se puede observar en la Tabla 1.

Las dietas con 10% de almidón de maíz y 0% de glicerina cruda y con 12% de almidón de maíz y 0% de glicerina cruda se tomaron como las dietas bases. En las dietas bases de acuerdo al nivel de sustitución del almidón de maíz por la glicerina cruda que se requería, se disminuía la inclusión del almidón y aumentaba la inclusión de glicerina cruda. Para el diseño de las dietas la composición se calculó con base a la información reportada en las tablas brasileras (Rostagno *et al.* 2005).

### Técnica de la bolsa móvil de nailon (TBMN)

Se utilizaron ocho corrales de levante en los que se ubicó un cerdo por corral. Se utilizaron cerdos de la misma característica racial con cánula duodenal y con peso promedio  $45,6 \pm 2,2$  kg. La cirugía de implantación de la cánula se realizó de acuerdo con lo reportado por Allen *et al.* (2004), cuando los cerdos tenían un peso promedio de  $16,38 \pm 1,7$  kg. Este procedimiento se realizó en la clínica de Grandes Animales de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Los ocho cerdos operados para el desarrollo de este ensayo se recuperaron satisfactoriamente.

La dieta base con la cual se alimentaron los animales durante el periodo experimental, estuvo constituida por una mezcla de ingredientes para cerdos en fase de levante el cual cumplía o excedía los requerimientos nutricionales de los animales de acuerdo con las tablas brasileras (Rostagno *et al.* 2005); la composición de la dieta base se

puede observar en la Tabla 2. La cantidad de dieta suministrada fue de 1.736 g/animal/día, calculados de acuerdo a la ecuación de

**TABLA 2.** Composición de la dieta base utilizada en la TBMN (tal como ofrecido).

Ingrediente	Contenido en % <sup>1</sup>
Maíz	62,38
Soya extruida	4,24
Torta soya 49	25,76
Harina pescado	1,50
Aceite de palma	1,50
Cloruro de sodio	0,35
Bicarbonato de sodio	0,40
Carbonato de calcio	0,82
Fosfato monobicálcico	1,79
DL-Metionina	0,06
L-Lisina-HCl	0,36
L- Treonina	0,13
Premezcla Vit Min <sup>2</sup>	0,70
<b>Composición calculada<sup>3</sup></b>	
EM (Kcal/kg)	3280
PC (%)	21,00
EE (%)	5,75
FC (%)	2,75
Lis dig (%)	1,25
Ca (%)	0,825
P disp (%)	0,413

<sup>1</sup> % = porcentaje de inclusión del ingrediente en la dieta.

<sup>2</sup> Premezcla mineral y vitamínica con el siguiente aporte por kg de dieta: Vitamina A: 10.000 UI; Vitamina E: 60 UI; Vitamina B6: 3 mg; Vitamina B12: 0,03 mg; Niacina: 30 mg; Ácido pantoténico: 20 mg; Biotina: 0,25 mg; Cu como CuSO<sub>4</sub>: 15 mg; Fe como FeSO<sub>4</sub>: 80 mg; Mn como MnSO<sub>4</sub>: 40 mg; I como Ca(I<sub>0,5</sub>)<sub>2</sub>: 1 mg; Zn como ZnO: 100 mg; Se como Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub>: 0,3 mg.

<sup>3</sup> EM= energía metabolizable; PC= proteína cruda; EE= extracto etéreo; FC= fibra cruda; Lis dig= lisina digestible; Ca= calcio; P disp= fósforo disponible.

consumo *ad libitum* teniendo en cuenta el PV (NRC 1998), en cuatro frecuencias a las 8, 10:30, 13:00 y 15:30 h (Qiao y Thacker 2004). La predigestión de las bolsas se realizó de acuerdo a lo descrito por Qiao y Thacker (2004).

En cada bolsa se colocó 1 g de dieta evaluada que constituía el tratamiento, se introdujeron 8 bolsas al día en cada cerdo (4 AM y 4 PM) (Mestra *et al.* 2009). Se recuperaron las bolsas 4 veces al día con cada distribución de alimento. Se registró la hora de introducción y recuperación de las bolsas para calcular el tiempo de tránsito. Las bolsas no se lavaron y solo se limpiaron con papel absorbente (Qiao y Thacker 2004). Cada bolsa se tomó como la unidad experimental (Mestra *et al.* 2009).

Para la elaboración de los tratamientos experimentales a ubicarse en las bolsas todos los constituyentes se molieron con criba de 1 mm (Qiao y Thacker 2004); de cada tratamiento se introdujeron 4 bolsas por cada dieta en cada cerdo, para un total de 32 bolsas por tratamiento (dieta) y un total de 320 bolsas. La distribución de las bolsas para cada cerdo fue al azar evitando que se repitieran bolsas del mismo tratamiento el mismo día.

Las bolsas se introdujeron en un periodo de 10 días, dos días iniciales de introducción de bolsas, posteriormente 5 días de descanso para los animales sin introducirles bolsas y 3 días finales de introducción de bolsas. De las 320 bolsas totales que se introdujeron se recuperaron un total 251 bolsas, el número de bolsas recuperado por dieta experimental se puede observar en la Tabla 3.

Para la introducción de las bolsas a través de la cánula duodenal, la ración de dieta basal programada para ser ofrecida se dividió en tres fracciones: con la adición de la primera

**TABLA 3.** Número de bolsas recuperadas por dieta experimental

Nivel almidón (%)	Glicerina cruda (%)	N <sup>1</sup>
10	0	29
	2,5	24
	5	25
	7,5	23
	10	21
12	0	26
	2,5	24
	5	27
	7,5	24
	10	28

<sup>1</sup> N = número de bolsas recuperadas.

**TABLA 4.** Composición y EB de la glicerina cruda evaluada (valores en MS).

Característica	Contenido	Método
Humedad (%)	10,2	AOAC 984.20
Energía Bruta (Kcal/kg)	3.964	Calorimétrica adiabática
Glicerol (%)	91,3	AOAC 996.01
Extracto Etéreo (%)	2,0	AOAC 920.39
Ceniza (%)	5,1	AOAC 942.05
Sodio (%)	1,7	AOAC 956.01
Potasio (%)	0,01	AOAC 956.01
Calcio (%)	0,02	AOAC 953.01

fracción se abría la cánula y se eliminaban los residuos presentes al interior de la cánula, y se cerraba nuevamente; posteriormente se le adicionaba la segunda fracción de alimento y se procedía a introducir la primera bolsa; luego se adicionaba la tercera fracción de alimento y se introducía la segunda bolsa, con lo que se lograba manejar el cerdo, para introducir las bolsas mientras consumía el alimento, este procedimiento se repetía cada vez que se iban a introducir las bolsas a través de la cánula. Las bolsas que se introdujeron a través de la cánula se recuperaron luego del tránsito por el total del tracto digestivo en las heces. La bolsas se recuperaron en una bolsa alrededor del ano del cerdo la cual se adhirió al animal con cinta quirúrgica; previamente el cerdo se depiló y lavó en la zona en la que se ubicaría la cinta.

La glicerina cruda se obtuvo de la planta de producción de biodiesel de la empresa BIO D S.A. ubicada en Facatativá, Cundinamarca. La composición de la glicerina cruda evaluada se muestra en la Tabla 4, los análisis fueron realizados en el Laboratorio de Nutrición y Microbiología del Centro de Biotecnología y Bioindustria (CBB) de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica) de acuerdo a los protocolos internos que se ajustan con AOAC (1995).

Para la determinación de la energía digestible del almidón se utilizaron 8 bolsas pasando una a cada cerdo; el peso de los cerdos al momento de la evaluación del almidón fue de  $34,9 \pm 1,44$  kg. La determinación de la energía bruta del contenido de las bolsas con las dietas experimentales y con las recuperadas que contenían el residuo se realizó en una bomba calorimétrica PARR (Mendoza *et al.* 2010). El valor de EDA de la glicerina cruda se determinó como la pendiente del análisis de regresión (Lammers *et al.* 2008b). Con la EDA determinada

para el almidón, se realizó la corrección al contenido de EDA de la dieta de acuerdo al contenido de almidón para llevar a cabo el análisis de regresión múltiple con el fin de determinar la EDA de la glicerina cruda (Kaps y Lamberson 2004).

### Método convencional con indicador

El presente estudio se realizó en la Sección de Porcinos del Centro de Biotecnología y Bioindustria-Tibaitatá de Corpoica. Se utilizaron 10 jaulas metabólicas que permitían la recolección separada de las heces y las orina, en las que se ubicó un animal en cada una (Mendoza *et al.* 2010). Se utilizaron 10 cerdos de  $9,8 \pm 1,2$  kg de PV con la misma característica racial. Las dietas experimentales fueron las mismas que se utilizaron para la TBMN.

El consumo de energía se calculó al multiplicar el consumo de alimento promedio de todos los días de recolección por el contenido de energía bruta (EB) del alimento analizada. La energía metabolizable aparente (EMA) de la dieta se determinó al sustraer la EB de la orina de la EDA de la dieta (Mendoza *et al.* 2010). Se implementó un periodo de adaptación de 5 días y 2 días de recolección heces y orina (Viljoen *et al.* 1998; Mendoza *et al.* 2010; Mok *et al.* 2013; Zhou *et al.* 2013). En el periodo de recolección se calculó el consumo de alimento y para tal fin se pesó el alimento ofrecido y el despreciado al final del periodo de recolección (Lammers *et al.* 2008b). También se realizó una colección cuantitativa de la orina, la cual se almacenó en los días de recolección en recipientes plásticos con 30 ml de HCl 6 N. La orina se recolectó 2 veces al día y se registró el volumen producido; luego se tomó una alícuota representativa, la cual se almacenó a  $-20^{\circ}\text{C}$  hasta los análisis (Lammers *et al.* 2008b). Para determinar

la digestibilidad de la energía se utilizó el método de indicador utilizando óxido de cromo a una concentración de 0,5% en la dieta.

Para los análisis de laboratorio se tomaron muestras de las heces por cerdo y se secaron a 70 °C por 48 h en estufa; luego de determinar el contenido de MS se molieron en una criba de 1 mm se constituyó una muestra de 100 g para determinar el contenido de energía bruta, nitrógeno y cromo de acuerdo con los protocolos del Laboratorio de Nutrición de Corpocica, IN-R-274, IN-R-289 y IN-R-598, respectivamente. Para la determinación del contenido de energía de la orina se tomaron 2 ml de la mezcla de las alícuotas almacenadas y se secaron en 0,5 g de celulosa seca por 24 h a 50 °C (Lammers *et al.* 2008b). En una bomba calorimétrica PARR se analizó el contenido de energía del alimento, la orina, la celulosa y las heces (Mendoza *et al.* 2010). La determinación de la EDA de la dieta se calculó utilizando las ecuaciones descritas por Adeola (2000).

El nitrógeno retenido (NR) se determinó como la diferencia entre el nitrógeno consumido y el excretado, el cual se tomó como la sumatoria del nitrógeno fecal y el urinario. El nitrógeno retenido de la dieta como porcentaje, se determinó como la proporción del nitrógeno consumido que era retenido (NR) en el cerdo (Adeola 2000; Michalik *et al.* 2014).

### Análisis estadísticos

Los resultados con la TBMN se analizaron en un modelo de regresión lineal múltiple (Kaps y Lamberson 2004), revisando que se cumplieran con los supuestos del modelo.

La digestibilidad y la metabolicidad de la energía, el consumo de alimento,

la cantidad de heces, la producción de orina, la energía del alimento, heces y orina, en el MCI se analizaron como un diseño de cuadrado latino, teniendo en cuenta la dieta, el cerdo y el periodo en la estructura de diseño, realizando un cuadrado para cada nivel de almidón (10 y 12%) (Kaps y Lamberson 2004). El valor de energía digestible y metabolicidad de la glicerina se determinó como la pendiente de la recta, realizando análisis de regresión lineal múltiple.

Los datos se analizaron utilizando el paquete SAS (versión 9.2, SAS Institute, Cary, NC. 2009) con los procedimientos GLM y REG.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Determinación del valor de la EDA de la glicerina cruda por la TBMN

La EB del almidón del maíz se determinó en 4009 Kcal/kg de MS y la EDA se determinó en  $3.901 \pm 15,1$  Kcal/kg de MS, el contenido de humedad se estableció en 8,99% lo que arrojó un contenido de EDA de  $3.551 \pm 13,8$  Kcal/kg de materia natural y un coeficiente de digestibilidad de la energía (CDAE) del 97,3%. A pesar que no se encontraron reportes del número de bolsas recuperadas, se ha reportado la pérdida de bolsas, a pesar de estar los animales en jaulas metabólicas que evitaría en parte que esto se presentara (Qiao y Thacker 2004). Por la experiencia del grupo de investigación es normal la pérdida ocasional de bolsas, pero teniendo en cuenta el número de animales que se tuvo en el presente ensayo, que fue mayor al que se había utilizado en trabajos previos, se consideró un número adecuado el de las bolsas recuperadas.

**TABLA 5.** Análisis de regresión múltiple de la EDA de la dieta corregida por el contenido de EDA del almidón determinado por la TBMN.

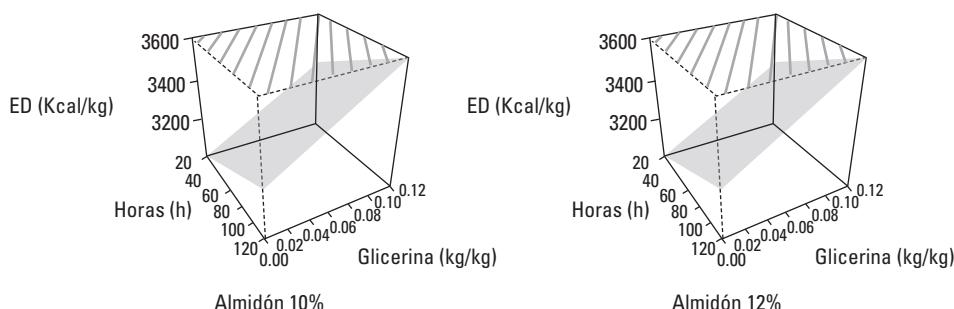
Efecto	Estimado	ES	P
Intercepto	3.029	39,9	< 0,001
Glicerina	2.910	676,9	< 0,001
Almidón	2,6	1,0	< 0,001
Horas	-106	45,5	< 0,01
Glicerina x almidón	487	414,7	0,24
Glicerina x horas	2,4	16,0	0,89
Almidón x horas	-0,2	1,0	0,81

**TABLA 6.** Análisis de regresión de la EDA de la dieta corregida por el contenido de EDA del almidón en función del nivel de glicerina, el nivel de almidón y el tiempo de tránsito determinado por la TBMN.

Efecto	Estimado	ES	P
Intercepto	3019	23,3	< 0,001
Glicerina	3251	206,2	< 0,001
Almidón	-93,6	13,3	< 0,001
Horas	2,5	0,5	< 0,001

De acuerdo a los resultados del análisis de regresión ni el nivel de almidón en la dieta (Almidón) ni la duración del tránsito de la bolsa (Horas) afectaron el valor energético de la glicerina cruda, ya que la interacción no fue significativa ni para el nivel de glicerina cruda con el almidón ( $P=0,24$ ) ni para el nivel de glicerina cruda con la duración del tránsito ( $P=0,89$ ), y no se observó interacción entre el nivel de almidón y la duración del tránsito ( $P=0,81$ ). Estos resultados se pueden observar en la Tabla 5.

El valor de energía digestible de la glicerina cruda fue de 3.251 Kcal/kg de MS, determinado como el coeficiente que describe la pendiente del efecto del nivel de glicerina al describir la EDA de la dieta corregida por el contenido de almidón, este valor de EDA de la glicerina cruda representa un CDAE del 82,9% (Tabla 6). En este modelo también se observó que un aumento en la duración del tránsito aumentó el contenido de EDA de la dieta, así por cada hora más de tránsito la EDA de la dieta se aumentó en 2,5 Kcal/kg. Esquemáticamente estos resultados se observan en la Figura 1.



**FIGURA 1.** Relación entre la tasa de inclusión de glicerina cruda en la dieta (Glicerina), la duración del tránsito (Horas) y el valor de EDA corregida por el almidón de la dieta (ED) determinada por la TBMN.

El valor de EDA y CDAE para almidón determinado en el presente trabajo se acerca al reportado en Brasil de 3.594 Kcal/kg en materia natural y 96,2%, respectivamente (Rostagno *et al.* 2011).

El valor de energía digestible de la glicerina cruda determinado con la TBMN en el presente trabajo fue similar al valor de 3305 kcal/kg determinado en cerdos en crecimiento por el método de colecta total de heces para glicerina parcialmente refinada (86,76%) obtenida de aceite de colza (Kovács *et al.* 2011), con un coeficiente de digestibilidad de la energía (CDAE) de 90,3%; este coeficiente también se acerca al observado en este estudio (Kovács *et al.* 2011).

En contraste, el valor encontrado de EDA de la glicerina cruda se encuentra por debajo del rango observado en lechones al evaluar diferentes fuentes de glicerina cruda (Kerr *et al.* 2009) donde se estimó un valor entre 4135 a 5454 Kcal/kg de MS, mientras que en cerdos en crecimiento fue de 3683 kcal/kg de MS (Lammers *et al.* 2008b) y cercano al reportado en las tablas Brasileras (Rostagno *et al.* 2011). También fue inferior al determinado en Colombia utilizando la TBMN (Mestra *et al.* 2009).

Las diferencias en el valor energético de la glicerina cruda se han explicado en trabajos anteriores básicamente por la composición de la glicerina evaluada y entre los componentes más relevantes para determinar el valor energético se han citado el contenido de glicerol, AG y metanol (Kerr *et al.* 2009).

En cerdos en crecimiento no se observó efecto del tipo de cerdo (desde los 8,4 kg hasta los 109,6 kg de PV) en el contenido energético, medido como EDA y EMA, de la glicerina cruda (Lammers *et al.* 2008b).

De tal forma, las diferencias en el contenido de EDA de la glicerina cruda deter-

minado por la TBMN con las reportadas en trabajos anteriores se pueden explicar por diferencias en la composición de las glicerinas cruda evaluada en cada trabajo, este efecto ya se ha observado con la TBMN al revisar el valor energético de un grupo de alimentos y compararlo con los valores de tablas donde las diferencias se pudieron explicar por las diferencias en la composición de los alimentos (Qiao y Thacker 2004).

### **Efecto de la inclusión de glicerina cruda en la dieta sobre el uso del nitrógeno de la dieta en cerdos en crecimiento evaluado por el método convencional de recolección de heces con el uso de un indicador (MCI)**

El análisis del metabolismo nitrogenado mostró una interacción entre el nivel de glicerina cruda y almidón en la dieta ( $P < 0,01$ ) sobre la cantidad de nitrógeno digestible, de tal forma que se observó una reducción en la cantidad de nitrógeno digestible con la inclusión de glicerina cruda cuando la dieta tenía 12% de almidón y por el contrario un aumento cuando la dieta tenía 10% de almidón (Tabla 7). Esta interacción se ha observado para otras fuentes de carbohidratos las que afectaron la tasa de pasaje y la viscosidad de la dieta afectando su digestibilidad (Owusu-Asiedu *et al.* 2006).

En el caso del nitrógeno fecal medido como porcentaje del consumido o como cantidad por día, no se observó interacción entre el nivel de glicerina cruda y almidón en la dieta ( $P > 0,05$ ), ni un efecto del nivel de glicerina cruda ( $P > 0,05$ ). Por otro lado para el nivel de almidón en la dieta se observó un valor más alto de nitrógeno fecal al nivel del 10% comparado con el nivel del 12% ( $P < 0,01$ ). Esto se ha explicado por una reducción en la taza de pasaje de la digesta

**TABLA 7.** Efecto del nivel de almidón y de glicerina cruda en la dieta sobre la energía urinaria.

Parámetro	Nivel de almidón (%)					Nivel de glicerina cruda (%)					Valor de P <sup>1</sup>			
	10					12								
	0	2,5	5	7,5	10	0	2,5	5	7,5	10	EEM	A	G	AxG
N consumido (g/d)	22,9	23,6	22,9	23,8	23,6	24,1	24,2	23,8	23,1	22,9	0,1	0,001	0,001	0,001
N digestible (g/d)	20,1	20,8	20,2	21,4	20,9	21,9	21,9	21,5	20,9	20,7	0,3	0,001	0,001	0,001
N fecal (g/d)	2,8	2,8	2,7	2,4	2,7	2,2	2,4	2,3	2,2	2,2	0,3	0,001	0,430	0,820
N fecal (%)	13,1	12,1	12,3	10,6	11,8	9,7	10,1	9,9	10,0	10,0	1,7	0,001	0,650	0,470
N urinario (g/d)	5,9	5,3	5,4	5,6	5,4	4,9	5,3	5,9	5,0	5,5	1,5	0,620	0,990	0,780
NR (g/d)	14,1	15,5	14,9	15,8	15,6	17,0	16,6	15,6	15,9	15,2	1,5	0,040	0,750	0,180
NR (%)	61,6	65,6	64,0	65,7	63,8	68,6	68,5	65,7	67,5	65,2	6,3	0,110	0,860	0,850

<sup>1</sup> A = efecto del nivel de almidón y de glicerina cruda; G = efecto del nivel de almidón y de glicerina cruda; AxG = efecto de la interacción entre A y G.

ocasionado por el aumento en el nivel de almidón en la dieta, lo que permite una mejor acción enzimática para la hidrólisis de los nutrientes y mayor tiempo para su absorción (Entringer *et al.* 1975).

Los resultados de nitrógeno urinario no mostraron interacción entre el nivel de glicerina cruda y almidón en la dieta ( $P > 0,05$ ), ni un efecto del nivel de glicerina cruda o almidón en la dieta ( $P > 0,05$ ).

El nitrógeno retenido no mostró una interacción entre el nivel de glicerina cruda y almidón en la dieta ( $P > 0,05$ ), ni efecto del nivel de glicerina cruda ( $P > 0,05$ ). Sin embargo, para el nivel de almidón en la dieta se observó ( $P < 0,01$ ) el nitrógeno retenido más alto al nivel del 12% de almidón en la dieta comparado con el nivel del 10%.

Para finalizar, los resultados de nitrógeno retenido (%) no mostraron una interacción entre el nivel de glicerina cruda y almidón en la dieta ( $P > 0,05$ ), ni un efecto del nivel de glicerina cruda o almidón en la dieta ( $P > 0,05$ ).

El efecto no significativo de la inclusión de glicerina cruda en la dieta sobre la retención de nitrógeno es contrario a lo hallado en pollos de engorde (Cerrate *et al.* 2006). En este caso los autores sugieren una reducción de la acción de las enzimas fosfoenolpiruvato carboxiquinasa y glutamato deshidrogenasa evitando el uso de los aminoácidos como sustrato gluconeogénico, favoreciendo su deposición en proteína.

#### Determinación del valor energético de la glicerina cruda por el método convencional de recolección de heces con el uso de un indicador (MCI)

Los resultados de EDA y EMA de la dieta se presentan en la Tabla 8. De acuerdo con los resultados del coeficiente de digestibilidad aparente de la energía (CDAE) de la dieta, no se observó interacción entre el nivel de glicerina y el nivel de almidón en la dieta ( $P > 0,05$ ), ni efecto del nivel de glicerina cruda en la dieta ( $P > 0,05$ ),

pero se observó un mayor CDAE en las dietas con 12% de almidón con respecto a las del 10% de almidón ( $P < 0,01$ ). Para el contenido de EDA de la dieta se presentó interacción entre el nivel de glicerina y el nivel de almidón en la dieta ( $P < 0,05$ ) de tal manera que al aumentar el nivel de glicerina en las dietas con 10% de almidón la EDA de la dieta aumento; pero, por el contrario, en las dietas con el 12% de almidón, al aumentar el nivel de glicerina cruda en la dieta la EDA no se vio afectado. Este resultado es similar al hallado para el nitrógeno digestible y se

ha observado para otras fuentes de carbohidratos las que pueden afectar la tasa de pasaje y la viscosidad de la dieta afectando su digestibilidad (Owusu-Asiedu *et al.* 2006), y de acuerdo a estas observaciones el glicerol aportado por la glicerina cruda interactúa con el almidón al nivel de 12% favoreciendo una mejor tasa de pasaje y digestibilidad de la energía de la dieta. Para la relación de EMA a EB de la dieta y el contenido de EMA de la dieta no se observó efecto del nivel de glicerina ni del nivel de almidón en la dieta ( $P > 0,05$ ).

**TABLA 8.** Efecto del nivel de almidón y de glicerina cruda en la dieta sobre la EDA y la EMA de la dieta.

Nivel de almidón (%)	Nivel de glicerina cruda (%)	EB	CDAE	EDA	Relación EM/EB	EMA
10	0	3879	88,4	3427	83,9	3255
10	2,5	3884	88,8	3449	85,0	3301
10	5	3871	89,0	3446	84,5	3270
10	7,5	3890	89,9	3495	84,8	3297
10	10	3889	88,8	3452	82,2	3198
12	0	3873	90,3	3497	85,6	3317
12	2,5	3841	89,8	3449	84,9	3262
12	5	3841	89,8	3450	84,8	3257
12	7,5	3834	90,2	3457	84,9	3255
12	10	3835	90,3	3464	83,9	3218
EEM		0,95	36,9	1,8	70,7	
<b>Valor de P<sup>1</sup></b>						
A		<0,001	0,379	0,149	0,915	
G		0,450	0,431	0,148	0,113	
AxG		0,355	0,039	0,682	0,436	

<sup>1</sup> A = efecto del nivel de almidón y de glicerina cruda; G = efecto del nivel de almidón y de glicerina cruda; AxG = efecto de la interacción entre A y G.

El incremento observado en el CDAE de la dieta con el aumento en el contenido de almidón, se puede explicar por el aumento en el contenido de material digestible ocasionado por el incremento en el contenido de almidón en la dieta que tiene un CDAE del 96,17% (Rostagno *et al.* 2011), o de acuerdo a lo observado con la TBMN en E1 del 97,3%.

En el análisis de regresión de los resultados obtenidos con el MCI, el nivel de almidón en la dieta (Almidón) afectó el valor de EDA de la glicerina cruda, ya que la interacción fue significativa para este efecto ( $P<0,01$ ), lo que indica variación en la pendiente del efecto del nivel de glicerina al describir la EDA de la dieta corregida por el contenido de almidón. Teniendo en cuenta que la pendiente estima el valor de EDA de la glicerina cruda, una variación en la pendiente indica una variación en el valor de EDA de la glicerina cruda. De tal forma que el valor de EDA de la glicerina cruda se redujo al aumentar la inclusión de almidón en la dieta (4427 vs 3769 Kcal/kg de MS) (Figura 2). Esto significó una reducción en 691,5 Kcal/kg de MS ó un 15,6% en el contenido de EDA de la glicerina cruda. Los resultados del análisis de regresión se pueden ver en la Tabla 9.

El valor de energía digestible de la glicerina cruda observado en el ensayo por el MCI se encuentra cercano al valor determinado en lechones al evaluar diferentes fuentes de glicerina cruda (Kerr *et al.* 2009), al valor observado en cerdos en crecimiento (Lammers *et al.* 2008b; Kovács *et al.* 2011), al reportado en las tablas Brasileras (Rostagno *et al.* 2011) y al valor energético determinado utilizando la TBMN en Colombia (Mestra *et al.* 2009). Al analizar las diferencias en los resultados de contenido energético para dos muestras de una misma planta se notó una diferen-

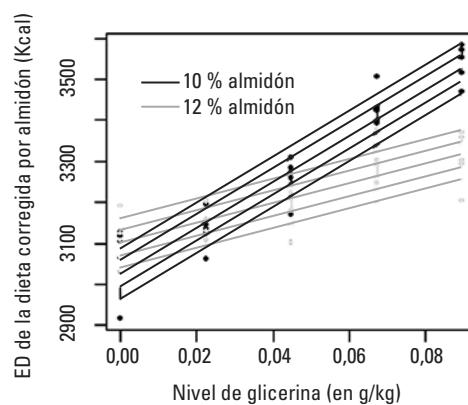
cia en la composición de las muestras que pudo explicar estas variaciones (Kerr *et al.* 2009); se debe llamar la atención para recalcar que las diferencias en contenido energético dependen de la composición del material evaluado, de tal forma, que el contenido de EDA de la glicerina cruda depende de la composición química de la glicerina cruda en evaluación.

Los valores de EDA determinados por el MCI muestran un CDAE para el nivel del 12% de almidón de 95,01%, valor que es similar al 96,6% reportado en lechones (Kerr *et al.* 2009) pero superior al 92% reportado para cerdos en crecimiento (Lammers *et al.* 2008b).

El efecto del nivel de almidón en la dieta determinado por MCI sobre el valor de EDA de la glicerina cruda fue similar a lo observado en ganado bovino lechero en donde el valor energético de la glicerina como ENI fue más bajo cuando la dieta tenía un nivel alto de almidón respecto a un nivel bajo de almidón (Schröder y Südekum 1999). La reducción en la digestibilidad de la energía de la glicerina cruda se puede explicar por una restricción en la absorción del glicerol, mecanismo que utiliza un transportador como fue evidenciado en ratas (Yuasa *et al.* 2003). Este mecanismo de absorción es más importante cuando el glicerol se encuentra en baja concentración (Ohta *et al.* 2006). El sistema de absorción del glicerol con transportador es complementado por transporte pasivo, el cual es insaturable (Kato *et al.* 2004). Además, otro factor que puede ocasionar la reducción en la digestibilidad del glicerol es el hecho que el transportador del glicerol en las células intestinales de la rata ha demostrado ser sodio dependiente (Kato *et al.* 2005) igual que el transportador de la glucosa que consume dos iones por mol de glucosa (Kaunitz *et al.* 1982), lo que

**TABLA 9.** Resultados del análisis de regresión de la EDA de la dieta corregida por el contenido de EDA del almidón en función del nivel de glicerina, el nivel de almidón y el periodo determinado por el MCI.

Efecto	Estimado	ES	Valor T	Pr(> t )
Intercepto	2952,1	19,9	148,6	< 0,01
Periodo	30,9	3,75	8,2	< 0,01
Glicerina	4427,3	236,7	18,7	< 0,01
Almidón	-31,5	18,4	-1,7	0,09
Glicerina x Almidón	-691,5	334,7	-2,1	0,04



EDA de la dieta corregida por almidón (Kcal) = 2952,1 + 30,9 (Periodo) + 4427,3 (Glicerina) + 31,5 (Almidón) – 691,5 (glicerina : almidón).

**FIGURA 2.** Relación entre el nivel de inclusión de glicerina cruda en la dieta y el valor de EDA corregido por el almidón de la dieta determinado por el MCI. N = 50, R-ajust = 0,936 ( $P < 0,01$ ).**TABLA 10.** Resultados del análisis de regresión de la EMA de la dieta corregida por el contenido de EMA del almidón en función del nivel de glicerina, el nivel de almidón y el periodo determinado por el MCI.

	Estimado	ES	Valor T	Pr(> t )
Intercepto	2709,5	40	67,8	< 0,01
Periodo	55,4	7,6	7,3	< 0,01
Glicerina	3435,9	475,9	7,2	< 0,01
Almidón	-53,6	37	-1,5	0,15
Glicerina: Almidón	-411,1	673,1	-0,6	0,54

explicaría la reducción en la digestibilidad y en la absorción de la glicerina cruda, al aumentar el nivel de almidón en la dieta.

El nivel de almidón en la dieta no afectó el valor de EMA de la glicerina cruda ya que no se observó interacción ( $P = 0,54$ ) del nivel de almidón y el nivel de glicerina incluido. Para este caso el valor de EMA de la glicerina cruda fue de 3436 Kcal/kg de MS (Tabla 10). De acuerdo a la composición de la muestra evaluada de glicerina cruda y la ecuación propuesta por Kerr *et al.* (2009), el valor de EMA esperado sería de 3582 Kcal/kg de MS, valor cercano aunque mayor que el observado en el presente trabajo, lo que concuerda con lo expresado anteriormente que estas dos fracciones son las que presentan mayor capacidad de predicción del valor energético de la glicerina cruda (Kerr *et al.* 2009). Para el caso de la relación EMA a EB el valor observado en el presente trabajo fue de 86.7% valor por el contrario mayor que el reportado para lechones de 85.4% (Kerr *et al.* 2009).

La pérdida de efecto del almidón en el valor de EMA de la glicerina cruda respecto al efecto observado en el contenido de EDA indica que el aumento en la digestibilidad del glicerol que se logra con el 10% de almidón y que ocasiona un aumento de glicerol disponible en la célula, no fue metabolizado y se perderá por vía urinaria. Lo cual se pudo relacionar con los niveles de energía urinaria observado. Aunque no se observó un efecto del nivel de glicerina en el valor de EMA de la glicerina, evaluado como el efecto cuadrático ( $P = 0,28$ ), si se observó un aumento en el contenido de energía urinaria (EU) al aumentar el nivel de glicerina cruda en la dieta, esta relación se explicó por la siguiente ecuación: EB en la orina (Kcal/kg MS consumida) =  $159,6 + 7,99 \times \text{Glicerina} (\%)$  ( $N= 100$ ,

$R\text{-ajust}=0,1$ ;  $P < 0,014$ ). El aumento en el contenido de energía de la orina con la inclusión de glicerina cruda corresponde con la reducción del contenido de EM, de metabolización de la glicerina y el incremento en el contenido de energía de la orina observada en cerdos de 11 kg de PV (Lammers *et al.* 2008b). Además concuerda con una baja actividad enzimática de la glicerol quinasa que no se ajusta a los niveles de glicerol sanguíneo que indicarían una falla en la metabolización del glicerol (Papadomichelakis *et al.* 2010) y dado que el glicerol que no se activa por la glicerol quinasa se eliminará en la orina (Della Casa *et al.* 2009) occasionaría un aumento en el contenido de energía de la orina.

Para comparar los dos métodos de determinación de la EDA se ha reportado en la literatura el análisis de correlación (Graham *et al.* 1985; Cherian *et al.* 1988; Viljoen *et al.* 1997; Qiao y Thacker 2004), de acuerdo a esto, se realizó análisis de correlación para los resultados obtenidos con la TBMN y con el MCI con la intención de analizar la relación que podía existir entre los resultados. Cabe advertir que los resultados, además del método, pudieron estar influenciados por el peso de los animales utilizados en cada ensayo. Sin embargo, en un trabajo previo no se observó influencia del peso del cerdo sobre el contenido de EDA y EMA de la glicerina cruda (Lammers *et al.* 2008b). El valor de EDA de la dieta determinado en el MCI presentó una relación baja con el hallado con la TBMN ( $R^2=-0,32$ ;  $P=0,36$ ). Estos resultados se pueden ver en la Tabla 11.

Sin embargo, los valores de EDA de la dieta corregidos por el contenido de almidón determinados con el MCI mostraron una relación alta con los valores obtenidos con la TBMN ( $R^2 = 0,82$ ;  $P < 0,01$ ),

**TABLA 11.** Valores promedios de EDA de la dieta determinado por la TBMN y el MCI (tal como ofrecido).

Nivel almidón (%)	Glicerina cruda (%)	EDA de la dieta con MCI (Kcal/kg)	EDA de la dieta con TBMN (Kcal/kg)
10	0	3427	3475
10	2,5	3449	3453
10	5	3446	3416
10	7,5	3495	3312
10	10	3452	3441
12	0	3497	3442
12	2,5	3449	3491
12	5	3450	3261
12	7,5	3457	3423
12	10	3464	3405

**TABLA 12.** Valores promedios de EDA de la dieta corregida por el nivel de almidón determinado por la TBMN y el MCI (Tal como ofrecido).

Nivel almidón (%)	Glicerina cruda (%)	EDA corregida almidón con MCI (Kcal/kg)	EDA corregida almidón con TBMN (Kcal/kg)
10	0	3068	3135
10	2,5	3180	3199
10	5	3266	3262
10	7,5	3406	3245
10	10	3452	3459
12	0	3066	3027
12	2,5	3108	3171
12	5	3198	3028
12	7,5	3295	3272
12	10	3392	3352

El coeficiente de determinación alto ( $R^2 = 0,82$ ) encontrada entre los resultados con la TBMN y el MCI fue similar al observado en estudios previos (Graham *et al.* 1985; Cherian *et al.* 1988; Viljoen *et al.* 1997; Qiao y Thacker 2004). Sin embargo, en otra experiencia las digestibilidades de la energía de la cebada, del trigo, de la avena y del maíz fueron más bajas cuando se determinaron con la TBMN que con el MCI (De Lange *et al.* 1991). Aparentemente las diferencias observadas en los diferentes recursos alimenticios evaluados dependen de la naturaleza del recurso. En general, el análisis de regresión simple en una gama de ingredientes presentó un coeficiente de correlación de 0,925 entre los dos métodos (Sauer *et al.* 1989). Los resultados de TBMN no se comportan igual para diferentes grupos de recursos alimenticios y esta es la primera evaluación realizada con recursos líquidos como la glicerina cruda. Estos resultados se pueden ver en la Tabla 12.

## CONCLUSIONES

Los valores de EDA de la glicerina cruda de palma por la TBMN son de 3251 Kcal/kg de MS y de 4427 y 3769 Kcal/kg de MS para los niveles de 10 y 12% de almidón de maíz determinado por el MCI. El nivel del 12% de almidón de maíz en la dieta de cerdos redujo en 15,6 % el valor de EDA de la glicerina cruda de palma respecto al 10 % pero no afectó el valor de EMA.

El nivel de glicerina cruda de palma y de almidón de maíz en la dieta afectaron el metabolismo del nitrógeno en términos del nitrógeno digestible y el retenido.

Los valores de EDA de la dieta corregido por el contenido de almidón de-

terminado por el MCI y con la TBMN presentan 82% de relación.

## REFERENCIAS

- Allen JD, Prieto P, Reyes JL, Ly J. 2004. Técnica quirúrgica para la implantación de una cánula simple en el duodeno de los cerdos. Rev Comp Prod Porc. 11(1): 75-84.
- Adeola O. 2000. Digestion and balance techniques in pigs. En: Lewis AJ, Southern LL, editores. Swine nutrition. 2º ed. New York: CRC Press. p. 903-916.
- [AOAC] Asociation of Official Analytical Chemist. 1995. Official Methods of Analysis. Vol 1. 16º ed. Arlington (VR): AOAC International.
- Berenchtein B, Costa L, Braz D, de Almeida V, Tse ML, Miyada V. 2010. Utilização de glicerol na dieta de suínos em crescimento e terminação. Rev Bras Zootec. 39(7): 1491-1496. Doi: 10.1590/S1516-35982010000700014.
- Cerrate S, Yan F, Wang Z, Coto C, Sacaklı P, Waldroup PW. 2006. Evaluation of glycerine from biodiesel production as a feed ingredient for broilers. Int J Poultry Sci. 5(11): 1001-1007. Doi: 10.3923/ijps.2006.1001.1007.
- Cherian G, Sauer WC, Thacker PA. 1988. Effect of predigestion factors on the apparent digestibility of protein for swine determined by the mobile nylon bag technique. J Anim Sci. 66(8): 1963-1968. Doi: 10.2527/jas1988.6681963x.
- De Lange CFM, Sauer WC, Den Hartog LA, Huisman J. 1991. Methodological studies with the mobile nylon bag technique to determine protein and energy digestibilities in feedstuffs for pigs. Livest Prod Sci. 29(2-3): 213-225. Doi: 10.1016/0301-6226(91)90067-Z.
- Della Casa G, Bochicchio D, Faeti V, Marchetto G, Poletti E, Rossi A, Garavaldi A, Panciroli A, Brogna N. 2009. Use of pure glycerol in fattening heavy pigs. Meat Sci. 81(1): 238-244. Doi: 10.1016/j.meatsci.2008.07.030.
- Entringer RP, Plumlee MP, Conrad JH, Cline TR, Wolfe S. 1975. Influence of diet on passage rate and apparent digestibility by growing swine. J Anim Sci. 40(3): 486-494. Doi: 10.2527/jas1975.403486x.

- [FedeBiocombustibles] Federación Nacional de Biocombustibles de Colombia. 2013. Cifras informativas del sector biocombustibles. Biodísel de Palma de Aceite [Internet]. Bogotá (CO): FedeBiocombustibles; [citado 2016 oct. 20]. Disponible en: <http://www.fedebiocombustibles.com/files/Cifras%20Informativas%20del%20Sector%20Biocombustibles%20-%20BIODIESEL%2841%29.pdf>.
- Graham H, Åman P, Newman RK, Newman CW. 1985. Use of a nylon-bag technique for pig feed digestibility studies. *Brit J Nutr.* 54(3): 719-726. Doi: 10.1079/bjn19850158.
- Kaps M, Lamberson WR. 2004. Biostatistics for animal science. Wallingford (UK): CABI Publishing.
- Kato T, Hayashi Y, Inoue K, Yuasa H. 2004. Functional characterization of the carrier-mediated transport system for glycerol in everted sacs of the rat small intestine. *Biol Pharm Bull.* 27(11): 1826-1830. Doi: <http://doi.org/10.1248/bpb.27.1826>.
- Kato T, Hayashi Y, Inoue K, Yuasa H. 2005. Glycerol absorption by Na<sup>+</sup>-dependent carrier-mediated transport in the closed loop of the rat small intestine. *Biol Pharm Bull.* 28(3): 553-555. Doi: <http://doi.org/10.1248/bpb.28.553>.
- Kaunitz JD, Gunther R, Wright EM. 1982. Involvement of multiple sodium ions in intestinal D-glucose transport. *Proc Natl Acad Sci USA.* 79(7): 2315-2318.
- Kerr BJ, Weber TE, Dozier WA, Kidd MT. 2009. Digestible and metabolizable energy content of crude glycerin originating from different sources in nursery pigs. *J Anim Sci.* 87(12): 4042-4049. Doi: 10.2527/jas.2008-1676.
- Kovács P, Zsédy E, Kovács A, Virág G, Schmidt J. 2011. Apparent digestible and metabolizable energy content of glycerol in feed of growing pigs. *Livest Sci.* 142(1-3): 229-234. Doi: 10.1016/j.livsci.2011.07.019.
- Lammers PJ, Kerr BJ, Weber TE, Bregendahl K, Lonergan SM, Prusa KJ, Ahn DU, Stoffregen WC, Dozier WA, Honeyman MS. 2008a. Growth performance, carcass characteristics, meat quality, and tissue histology of growing pigs fed crude glycerin-supplemented diets. *J Anim Sci.* 86(11): 2962-2970. Doi: 10.2527/jas.2008-0972.
- Lammers PJ, Kerr BJ, Weber TE, Dozier WA, Kidd MT, Bregendahl K, Honeyman MS. 2008b. Digestible and metabolizable energy of crude glycerol for growing pigs. *J Anim Sci.* 86(3): 602-608. Doi: 10.2527/jas.2007-0453.
- Mendoza OF, Ellis M, McKeith FK, Gaines AM. 2010. Metabolizable energy content of refined glycerin and its effects on growth performance, and carcass and pork quality characteristics of finishing pigs. *J Anim Sci.* 88(12): 3887-3895. Doi: 10.2527/jas.2010-2873.
- Mestra LI, Rodríguez D, Suárez AL, Avellaneda Y, Mejía G, Afanador G, Ariza C. 2009. Uso de la técnica de bolsa de nylon móvil para determinar la energía digestible de fuentes energéticas no convencionales en cerdos. Resumenes Nutrición y Alimentación Monogástricos-X Encuentro Nacional Y III Internacional De Investigadores De Las Ciencias Pecuarias Enicip. *Rev Col Cienc Pec.* 22(3): 507.
- Michalik B, Biel W, Lubowicki R, Jacyno E. 2014. Chemical composition and biological value of proteins of the yeast *Yarrowia lipolytica* growing on industrial glycerol. *Can J Anim Sci.* 94(1): 99-104. Doi: 10.4141/cjas2013-052.
- Mok CH, Lee JH, Kim BG. 2013. Effects of exogenous phytase and -mannanase on ileal and total tract digestibility of energy and nutrient in palm kernel expeller-containing diets fed to growing pigs. *Anim Feed Sci Technol.* 186: 209-213.
- [NRC] National Research Council. 1998. Nutrient Requirements Of Swine. Nutrient requirements of domestic animals. 10° ed. Washington: National Academies Press.
- Ohta KY, Inoue K, Hayashi Y, Yuasa H. 2006. Carrier-mediated transport of glycerol in the perfused rat small intestine. *Biol Pharm Bull.* 29(4): 785-789.
- Owusu-Asiedu A, Patience JF, Laarveld B, Van Kessel AG, Simmins PH, Zijlstra RT. 2006. Effects of guar gum and cellulose on digesta passage rate, ileal microbial populations, energy and protein digestibility, and performance of grower pigs. *J Anim Sci.* 84(4): 843-852.
- Papadomichelakis G, Zoidis E, Mountzouris KC, Lippas T, Fegeros K. 2010. Effects of dietary

- glycerol on glycerol kinase gene expression and gut microbiota in growing piglets. En: Book of abstracts of the 61st annual meeting of the European Association for Animal Production – Heraklion, Greece, 2010 Aug. 23-27. Book of Abstracts No. 16. Heraklion (GRE): European Federation of Animal Science – EAAP / Wageningen Academic Publishers. p. 77.
- Qiao S, Thacker P. 2004. Use of the mobile nylon bag technique to determine the digestible energy content of traditional and non-traditional feeds for swine. *Arch Anim Nutr.* 58(4): 287-294. Doi: 10.1080/00039420410001701387.
- Rostagno HS, Albino LF, Donzele J, Gomes P, de Oliveira R, Lopes D, Ferreira A, de Toledo Barreto S. 2005. Tabelas brasileiras para aves e suínos. Composição de alimentos e exigências nutricionais. 2º ed. Viçosa (MG): Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa. 186 p.
- Rostagno H, Albino L, Donzele J, Gomes P, de Oliveira R, Lopes D, Ferreira A, de Toledo Barreto S, Euclides R. 2011. Tabelas brasileiras para aves e suínos 2. Composição de alimentos e exigências nutricionais. 3º ed. Viçosa (MG): Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa. 259 p.
- Sauer WC, Den Hartog LA, Huisman J, Van Leeuwen P, De Lange CF. 1989. The evaluation of the mobile nylon bag technique for determining the apparent protein digestibility in a wide variety of feedstuffs for pigs. *J Anim Sci.* 67(2): 432-440.
- Schröder A, Südekum K-H. 1999. Glycerol as a by-product of biodiesel production in diets for ruminants. En: Wratten N, Salisbury PA, editores. Abstract Book “New Horizons for an Old Crops”. Proceedings of the 10th International Rapeseed Congress; 1999 Sept. 26-29; Canberra (AU). Gosford (AU): The Regional Institute Ltd. p. 1-10.
- Viljoen J, Fick JC, Coetzee S, Hayes J, Siebrits F. 1998. Apparent and true amino acid digestibilities of feedstuffs in pigs employing the total ileal content (TIC) technique and the mobile nylon bag technique (MNBT). *Livest Prod Sci.* 53(3): 205-215. Doi: 10.1016/S0301-6226(97)00151-6.
- Viljoen J, Ras MN, Siebrits FK, Hayes JP. 1997. Use of the mobile nylon bag technique (MNBT) in combination with the ileo-rectal anastomosis technique (IRA) to determine amino acid digestibility in pigs. *Livest Prod Sci.* 51(1-3): 109-117. Doi: 10.1016/S0301-6226(97)00100-0.
- Yuasa H, Hamamoto K, Dogu SY, Marutani T, Nakajima A, Kato T, Hayashi Y, Inoue K, Watanabe J. 2003. Saturable absorption of glycerol in the rat intestine. *Biol Pharm Bull.* 26(11): 1633-1636. Doi: 10.1248/bpb.26.1633.
- Zhou X, Oryschak MA, Zijlstra RT, Beltranena E. 2013. Effects of feeding high- and low-fibre fractions of air-classified, solvent-extracted canola meal on diet nutrient digestibility and growth performance of weaned pigs. *Anim Feed Sci Technol.* 179(1-4): 112-120. Doi: 10.1016/j.anifeedsci.2012.12.002.

### Article citation:

Ordoñez-Gómez CA, Mejía G, Afanador-Tellez G, Ariza-Nieto CJ. 2017. Valoración de energía digestible de la glicerina cruda proveniente de aceite de palma –*Elaeis guineensis*– para cerdos en crecimiento en función del nivel de almidón de maíz en la dieta. [Valuation of digestible energy of crude glycerin from palm oil –*Elaeis guineensis*– for growing pigs based on dietary corn starch level]. *Rev Med Vet Zoot.* 64(2): 52-69. Doi: 10.15446/rfmvz. v64n2.67213.