

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**  
DIRECCIÓN GENERAL DE POSGRADOS  
MAESTRIA EN PRODUCCIÓN ANIMAL

**Trabajo de grado para la obtención  
del título de:**

**Máster en Producción Animal**

**DETERMINAR EL VALOR ENERGÉTICO DEL GLICEROL EN CERDOS DE  
ENGORDE. SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS, 2011.**

Autor:

Marcelo Alfonso Mosquera Nardi

Director de Tesis:

Ing. Patricio Guevara, MSc

Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador

Julio - 2011

**DETERMINAR EL VALOR ENERGÉTICO DEL GLICEROL EN CERDOS DE  
ENGORDE. SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS, 2011.**

ESTE PLAN DE GRADO FUE ACEPTADO EN SU PRESENTE FORMA POR EL CENTRO DE POSGRADOS DE LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL EN EL PROGRAMA DE MAESTRÍA DE PRODUCCIÓN ANIMAL, COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR POR EL GRADO DE MAGÍSTER EN PRODUCCIÓN ANIMAL.

**Ing. Patricio Guevara MSc**

\_\_\_\_\_

**DIRECTOR DE TESIS**

**APROBADO**

**Ing. Carlos Trueba MSc  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

\_\_\_\_\_

**Ing. Agr. Jorge Grijalva PhD  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

\_\_\_\_\_

**Ing. Gabriel Suárez MSc  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

\_\_\_\_\_

**Dra. Luz María Martínez  
COORDINADORA DE MAESTRÍA**

\_\_\_\_\_

**Santo Domingo de los Tsáchilas, Julio del 2011**

**Tema: Determinar el Valor Energético del Glicerol en Cerdos de Engorde.**  
**Santo Domingo de los Tsáchilas, 2011.**

El contenido y los resultados obtenidos en la presente investigación son exclusiva responsabilidad del autor.

---

**Ing. Marcelo Alfonso Mosquera Nardi**

## **INFORME DEL DIRECTOR DE TESIS**

Santo Domingo, 21 de Enero del 2011

Doctora

**LUZ M. MARTINEZ**

**COORDINADORA DE POSGRADOS UTE CAMPUS SANTO DOMINGO**

**Presente.-**

**De mi consideración:**

Informo a usted que una vez revisado el trabajo de investigación de grado bajo el título **“DETERMINAR EL VALOR ENERGÉTICO DEL GLICEROL EN CERDOS DE ENGORDE”**, elaborado por el **Ing. MARCELO MOSQUERA NARDI**, del programa de **MAESTRIA PRODUCCIÓN ANIMAL**, la investigación ha terminado y una vez revisado el documento cumple con todos los puntos establecidos en el plan de tesis, por lo que autorizo al egresado Mosquera seguir con los trámites pertinentes previo a su graduación

Particular que comunico para los fines pertinentes

Atentamente,

A handwritten signature in purple ink, appearing to be 'P. Guevara', written over a faint grid or stamp.

**ING. PATRICIO GUEVARA**  
**DIRECTOR DE TESIS**

## **AGRADECIMIENTO**

Un agradecimiento a la Universidad Tecnológica Equinoccial (UTE) por ser mi nueva *Alma Mater*, de la cual me siento muy orgulloso. Otro gracias a grandes profesionales que forman parte de esta institución como la Dra. Luz María Martínez., coordinadora de la Maestría en Producción Animal, entre otros.

Un agradecimiento al Ing. Patricio Guevara, director de tesis, por su apoyo y conocimientos brindados durante la ejecución del presente trabajo. Además al Ing. Jorge Grijalva e Ing. Gabriel Suárez, co-directores de tesis, otro gran agradecimiento por el apoyo proporcionado.

Agradezco a la empresa PRONACA (Procesadora Nacional de Alimentos C.A.) por el auspicio para la ejecución del presente trabajo de grado.

A mi familia, en especial a mi esposa e hijos, por saberme apoyar y comprender lo importante que ha sido esta etapa en mi vida a pesar de haber sacrificado un importante tiempo de familia.

A mis compañeros de maestría con quienes se llegó a formar una relación más que profesional sino de amistad, que durará por siempre.

## **DEDICATORIA**

A mi familia, en especial a mis hijos, Carlos Marcelo y Martín Alejandro, para que este trabajo sea una muestra que con esfuerzo y dedicación se pueden alcanzar las metas que uno se propone.

Al Ing. Alfonso Nardi Alemán quien seguro está tremendamente orgulloso de haber terminado esta etapa de mi vida. ¡Lo logramos Granpita!

**Marcelo Alfonso Mosquera Nardi**

## ÍNDICE GENERAL

<b>Resumen</b> .....	<b>1</b>
<b>Summary</b> .....	<b>2</b>
 <b>CAPÍTULO I</b>	
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>3</b>
1.1. Planteamiento, Formulación y Sistematización del Problema .....	3
1.2. Objetivos .....	5
1.2.1. General .....	5
1.2.2. Específicos .....	5
1.3. Justificación .....	6
1.4. Alcance .....	6
1.5. Marco de Referencia .....	7
1.5.1 Marco Teórico .....	7
1.5.2. Marco Conceptual .....	20
1.5.3. Marco Temporal, Espacial .....	22
1.6. Hipótesis .....	23
1.7. Metodología .....	23
1.7.1. Unidad de Análisis .....	23
1.7.2. Población y Muestra .....	23
1.7.3. Tipos de Investigación .....	24
1.7.4. Métodos de Estudio .....	24
1.8. Manejo del Experimento .....	24
1.8.1. Fase de Campo .....	24
1.8.2. Determinación Digestibilidad (Energía, Materia Seca y Proteína) – Método Recolección Total .....	29
1.8.3. Determinación Energía Digestible .....	29
1.8.4. Determinación Digestibilidad – Método del Indicador (Ceniza Insoluble en Ácido) .....	29
1.8.5. Determinación Cenizas Insoluble en Ácido (CIA) .....	30
1.8.6. Determinación Energía Metabolizable .....	32

1.8.7. Regresión Lineal para Determinar Energía .....	33
1.8.8. Proced. Determinación Humedad – Método Pérdida por Secado ...	33
1.8.9. Procedimiento Determinación Proteína Cruda – Método Kjeldahl ...	33
1.9. Fuentes de Información .....	34
1.9.1. Localidad .....	34
1.9.2. Duración .....	34
1.10 Tratamiento y Análisis de Datos .....	34
1.10.1. Factores en Estudio .....	34
1.10.2. Tratamientos .....	35
1.10.3. Diseño Experimental .....	35
1.10.4. Esquema del Análisis de Variancia .....	35
1.10.5. Análisis de Datos .....	36
1.10.6. Variables Determinadas .....	36

## **CAPITULO II**

<b>2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>38</b>
2.1. Coeficientes de Digestibilidad de Energía .....	38
2.1.1. Método Recolección Total (RT) .....	38
2.1.2. Método de Cenizas Insolubles en Ácido (CIA) # 1 .....	39
2.1.3. Método de Cenizas Insolubles en Ácido (CIA) # 2 .....	39
2.1.4. Correlación entre Coeficientes de Digestibilidad de Energía bajo los Métodos de RT, CIA # 1 y CIA # 2 .....	42
2.2. Energía Digestible (ED) .....	44
2.2.1. Método Recolección Total (RT) .....	44
2.2.2. Método de Cenizas Insolubles en Ácido (CIA) # 1 .....	45
2.2.3. Método de Cenizas Insolubles en Ácido (CIA) # 2 .....	45
2.2.4. Correlación entre Energía Digestible bajo los Métodos de RT, CIA # 1 y CIA # 2 .....	49
2.3. Coeficientes de Metabolicidad de Energía .....	49
2.4. Energía Metabolizable (EM) .....	50
2.4.1. Método Recolección Total (RT) .....	50
2.4.2. Método Cálculo por Factor (Cal) .....	51



2.4.3. Correlación entre Energía Metabolizable bajo los Métodos de RT y Calculado por un Factor ( $ED \cdot 0.96 = EM$ ) .....	54
2.4.4. Prueba T (Muestras Apareadas) .....	54
2.5. Relación Energía Metabolizable (EM)/Energía Digestible (ED) .....	54
2.6. Coeficientes de Digestibilidad de Materia Seca (MS) .....	56
2.7. Coeficientes de Digestibilidad de Proteína .....	57
2.8. Respuesta Animal .....	59
2.8.1. Ganancia Diaria de Peso .....	60
2.8.2. Conversión Alimenticia .....	60
2.8.3. Conversión Energía Digestible (ED) .....	60
2.8.4. Conversión Energía Metabolizable (EM) .....	61
2.8.5. Discusión Sobre Parámetros de Respuesta Animal .....	61
2.8.6. Grasa Dorsal .....	62
2.9. Determinación de Energía Digest. (ED) y Metab. (EM) en Glicerol .....	63

### **CAPÍTULO III**

<b>3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>68</b>
3.1. Conclusiones .....	68
3.2. Recomendaciones .....	71

<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>72</b>
---------------------------	-----------

### **ANEXOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Efecto de Glicerol Sobre Utilización de Nutrientes .....	11
Tabla 1.2. Caracterización del Glicerol Empleado en el Estudio (tal cual) .....	15
Tabla 1.3. Comparación de Resultados entre el Método de Recolección Total (RT) y CIA .....	18
Tabla 1.4. Coeficientes Digestibilidad de Materia Seca en Ovejas (%) .....	18
Tabla 1.5. Datos de Inicio de cada Período .....	25
Tabla 1.6. Composición y Nutrientes Calculados de las Dietas Basales Empleadas en el Período 1 y Período 2 (tal cual) .....	26
Tabla 1.7. Evaluaciones Iniciales entre Métodos de Determinación de CIA .....	32
Tabla 1.8. Tratamientos del Estudio .....	35
Tabla 1.9. Esquema del Análisis de Variancia .....	35
Tabla 1.10. Variables Determinadas .....	36
Tabla 2.1. Coeficientes de Digestibilidad de Energía por Tratamiento .....	40
Tabla 2.2. Coeficientes de Digestibilidad de Energía por Nivel de Glicerol .....	40
Tabla 2.3. Coeficientes de Digestibilidad de Energía por Período (Edad) .....	41
Tabla 2.4. Energía Digestible por Tratamiento .....	46
Tabla 2.5. Energía Digestible por Nivel de Glicerol .....	46
Tabla 2.6. Energía Digestible por Período (Edad) .....	47
Tabla 2.7. Coeficientes de Metabolicidad de Energía por Tratamiento .....	50
Tabla 2.8. Coeficientes de Metabolicidad de Energía por Nivel de Glicerol .....	50
Tabla 2.9. Coeficientes de Metabolicidad de Energía por Período (Edad) .....	50
Tabla 2.10. Energía Metabolizable por Tratamiento .....	52
Tabla 2.11. Energía Metabolizable por Nivel de Glicerol .....	52
Tabla 2.12. Energía Metabolizable por Período (Edad) .....	52
Tabla 2.13. Relación EM/ED por Tratamiento .....	55
Tabla 2.14. Relación EM/ED por Nivel de Glicerol .....	56
Tabla 2.15. Relación EM/ED por Período (Edad) .....	56
Tabla 2.16. Coeficientes de Digestibilidad de Materia Seca y Proteína por Tratamiento .....	58
Tabla 2.17. Coeficientes de Digestibilidad de Materia Seca y Proteína por Nivel de Glicerol .....	58

Tabla 2.18. Coeficientes de Digestibilidad de Materia Seca y Proteína por Período (Edad) .....	59
Tabla 2.19. Respuesta Animal por Nivel de Glicerol .....	59
Tabla 2.20. Grasa Dorsal por Nivel de Glicerol .....	62

### **ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 2.1. Coeficientes de Digestibilidad de Energía – Método CIA # 1 .....	41
Figura 2.2. Coeficientes de Digestibilidad de Energía – Método CIA # 2 .....	42
Figura 2.3. Correlación Digestibilidad Energía entre el Método de Recolección Total y el Método CIA # 1 .....	43
Figura 2.4. Correlación Digestibilidad Energía entre el Método de Recolección Total y el Método CIA # 2 .....	43
Figura 2.5. Correlación Digestibilidad Energía entre el Método CIA # 1 y el Método CIA # 2 .....	44
Figura 2.6. Energía Digest. Bajo el Método de Recolección Total (Base Seca) ..	47
Figura 2.7. Energía Digestible Bajo el Método de CIA # 1 (Base Seca) .....	48
Figura 2.8. Energía Digestible Bajo el Método de CIA # 2 (Base Seca) .....	48
Figura 2.9. Energía Metabolizable Bajo el Método de Recolección Total (Base Seca) .....	53
Figura 2.10. Energía Metabolizable Bajo el Método de Cálculo por un Factor (Base Seca) .....	53
Figura 2.11. Correlación Energía Metabolizable entre el Método de Recolección Total y el Método de Cálculo por un Factor .....	54
Figura 2.12. Regresión entre Consumo de Alimento y Consumo de Energía Digestible (Método de Recolección Total) .....	66
Figura 2.13. Regresión entre Consumo de Alimento y Consumo de Energía Digestible (Método de CIA # 1) .....	66
Figura 2.14. Regresión entre Consumo de Alimento y Consumo de Energía Digestible (Método de CIA # 2) .....	67
Figura 2.15. Regresión entre Consumo de Alimento y Consumo de Energía Metabolizable (Método de Recolección Total) .....	67

## ÍNDICE DE ANEXOS

### A. FOTOGRAFÍAS

- Fase de Campo

Fotografía 1 - Glicerol

Fotografía 2 – Galpón de ensayo

Fotografía 3 – Jaulas metabólicas

Fotografía 4 – Mezcladora de alimento

Fotografía 5 – Pesaje de glicerol

Fotografía 6 – Preparación de alimento con glicerol

Fotografía 7 – Alimento de cada nivel de glicerol

Fotografía 8 – Recolección de muestras de heces

Fotografía 9 – Pesaje de muestras de heces

Fotografía 10 – Recolección de muestras de orina

Fotografía 11 – Muestras de orina

- Fase Análisis de Muestras

\* *Secado de Muestras y Determinación de Energía Bruta*

Fotografía 12 – Pesaje de muestras

Fotografía 13 – Estufa para secado y determinación de humedad

Fotografía 14 – Muestras de heces y alimento

Fotografía 15 – Bomba calorimétrica para determinación de energía bruta

\* *Determinación de Cenizas Insoluble en Ácido (CIA) – Ejemplo: Alternativa 1*  
- *Método Cenizas Insoluble en Ácido, HCl 4N*

Fotografía 16 – Muestras de heces

Fotografía 17 – Ácido clorhídrico (HCl)

Fotografía 18 – Adición ácido clorhídrico

Fotografía 19 – Muestras en la plancha de calentamiento

Fotografía 20 – Muestras en la plancha de calentamiento

Fotografía 21 – Proceso de filtración

Fotografía 22 – Proceso de filtración

Fotografía 23 - Filtrado

Fotografía 24 – Mufla para determinación de cenizas

Fotografía 25 – Desecador con crisoles más ceniza

Fotografía 26 – Crisol con cenizas

## RESUMEN

La creciente producción de biocombustibles a nivel mundial ha hecho que se generen co-productos de estas industrias con potencial de ser empleados en la alimentación animal (Whitney, 2008). El biodiesel es uno de estos biocombustibles. El glicerol es el principal co-producto de la industria de biodiesel (Johnston, 2008). Investigación determinando el valor energético del glicerol en no rumiantes es escasa (McCann, 2009). En Ecuador, la empresa La Fabril está produciendo biodiesel con el objetivo de exportar a países de la región, obteniendo glicerol como co-producto. El objetivo de este estudio fue determinar en cerdos el valor energético del glicerol producido por La Fabril. La determinación de la energía metabolizable en glicerol empleando la técnica de regresión lineal fue de 2574 kcal/kg (recolección total) mientras que empleando el factor 0.96 ( $ED \cdot 0.96 = EM$ ) fue de 2695 kcal/kg. Esto es un 16% menos que la reportada por Lammers *et al.* (2008a) que registró un valor de 3207 kcal/kg. La diferencia puede deberse, a pesar que el contenido de glicerol era similar (87.98% vs 86.95%, Lammers), el nivel de metanol en el glicerol de este estudio fue 64 veces mayor (1.81% vs 0.028%, Lammers) que influye sobre el aprovechamiento energético del glicerol. A partir de los resultados obtenidos en el presente estudio, se recomienda al glicerol de La Fabril como una fuente energética alternativa para uso en cerdos de engorde hasta un nivel de 15%. Su nivel de inclusión dependerá del precio al cual se obtenga el glicerol. Además se recomienda, revisar con La Fabril la razón por la cual el glicerol haya resultado con un valor energético (energía digestible y metabolizable) menor a lo reportado en la literatura.

## **SUMMARY**

The rapid growth of biofuel production worldwide has made that co-products of these industries be available for animal feeding (Whitney, 2008). Biodiesel is one of these biofuels. Glycerol is the main coproduct of the biodiesel industry (Jonhston, 2008). Research determining the energy value of glycerol in non-ruminants is few (McCann, 2009). In Ecuador, the company La Fabril is producing biodiesel with the purpose to export to countries of the region, having glycerol as a co-product. The objective of this study was to determine in pigs the energy value of glycerol produced by La Fabril. The metabolizable energy determined in glycerol using the lineal regression technique was 2574 kcal/kg (total collection) while using the factor 0.96 ( $DE \cdot 0.96 = ME$ ) was 2695 kcal/kg. This is 16% less than the reported by Lammers *et al.* (2008a) that registered a value of 3207 kcal/kg. The difference can be caused by, even though the glycerol content was similar (87.98% vs 86.95%, Lammers), the level of methanol in the glycerol in this study was 64 times greater (1.81% vs 0.028%, Lammers) that influences the availability of energy in glycerol. From the results of this study, it is recommended that glycerol from La Fabril as an alternative energy source for finishing pigs up to 15%. The level of use depends on the price at which the glycerol is obtained. Also it is recommended, to review with the La Fabril the reason why the energy value (digestible and metabolizable energy) is lower than the level reported in the literature.

## **CAPÍTULO I**

### **1. INTRODUCCIÓN**

#### **1.1. Planteamiento, Formulación y Sistematización del Problema**

La mayor producción de biocombustibles a nivel mundial ha hecho que se generen co-productos de estas industrias con potencial de ser empleados en la alimentación animal (Whitney, 2008).

Por otro lado, debido a la producción de biocombustibles, una cantidad importante de ingredientes que normalmente suplían energía en dietas para la producción porcina ahora se emplean en la industria de biocombustibles, afectando su disponibilidad y precios. Esto obliga a evaluar fuentes alternativas de energía para la producción porcina (Johnston, 2008).

El biodiesel es uno de estos biocombustibles. Para producir biodiesel, 100 lbs de una fuente de grasa o aceite es combinada con 10 lbs de metanol para obtener 100 lbs de biodiesel y 10 lbs de glicerol no refinado. Cualquier fuente de grasa o aceite puede ser utilizada para este propósito. El glicerol es el principal co-producto de la industria de biodiesel (Johnston, 2008).

A medida que la producción mundial de biodiesel incrementa exponencialmente, la generación de glicerol por transesterificación de aceites vegetales también aumenta (Pachauri y He, 2006).

Solo en E.E.U.U., 171 plantas producen biodiesel con una capacidad máxima de producción anual de aproximadamente 1.4 billones de galones y 511,000 toneladas de glicerol (Johnston, 2008).

El glicerol refinado es utilizado en productos de uso humano, como alimentos, cosméticos e industria farmacéutica, pero una alta proporción de éste

no es refinado y puede ser empleado para otros fines, como alimentación de cerdos (Whitney, 2008).

El glicerol o 1,2,3-propanotriol, es un alcohol trihídrico. Es un líquido incoloro, inodoro, relativamente espeso y con un sabor dulce. Se derrite a 17.8 °C. Su fórmula química es  $\text{OH-CH}_2\text{-CH(OH)-CH}_2\text{-OH}$ . Es higroscópico. Está presente en la forma de sus ésteres en todas las grasas y aceites de origen animal y vegetal (Pachauri y He, 2006).

El glicerol es gluconeogénico, con la gluconeogénesis siendo limitante dependiendo de la disponibilidad de glicerol (Cryer and Bartley, 1973; Tao *et al.*, 1983; Baba *et al.*, 1995, citado por Lammers *et al.*, 2008a).

Investigación determinando el valor energético del glicerol es escasa (McCann, 2009). Bartlet y Schneider (2002), citado por Lammers *et al.*, (2008a), reportaron una reducción del nivel de energía metabolizable del glicerol a medida que se incrementaba el nivel de inclusión en dietas de cerdos y pollos.

El valor energético del glicerol puede variar en función de la fuente de grasa de donde se lo obtiene, la fábrica que lo produce, además de la especie, edad del animal y nivel de inclusión.

En el país la empresa La Fabril está produciendo biodiesel con el objetivo de exportar a países de la región, obteniendo glicerol como co-producto. Se estima una producción de glicerol de 350 a 450 TM por mes que estarán en gran parte disponibles para alimentación animal (Ing. M. Corral, La Fabril, entrevista personal, agosto de 2008).

El glicerol de La Fabril, se obtiene de aceites de origen vegetal, principalmente del aceite de palma, no se usan fuentes de grasas de origen animal, por lo que su nivel energético estará en función de esto y del proceso productivo.



¿Siendo el glicerol una materia prima cuyo nivel energético varía según la fuente de grasa de donde se lo obtiene y la planta que lo produce; cuál es el nivel energético del glicerol producido en el país por la empresa La Fabril?

¿Varía el nivel energético del glicerol en función del nivel de inclusión en la ración?

¿Varía el nivel energético del glicerol en función de la edad-peso de los cerdos?

¿Influye el glicerol sobre parámetros zootécnicos (respuesta animal) en cerdos de engorde?

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. General**

Determinar el valor energético del glicerol producido por La Fabril a distintos niveles de suplementación y edades (pesos) en cerdos de engorde a través de la prueba de digestibilidad por el método de recolección total y una comparación con el método del indicador (dos procedimientos de cenizas insolubles en ácido); además determinar su efecto sobre respuesta animal en cerdos de engorde.

### **1.2.2. Específicos**

**1.-** Determinar la digestibilidad y energía digestible del glicerol en cerdos en la etapa de engorde a distintos niveles de suplementación y edades (pesos), bajo el método de recolección total y el método del indicador.

**2.-** Determinar la metabolibilidad y energía metabolizable del glicerol en cerdos en la etapa de engorde a distintos niveles de suplementación y edades (pesos), bajo el método de recolección total y de cálculo por un factor.

3.- Realizar una comparación entre los resultados de digestibilidad de energía obtenidos bajo el método de recolección total y el método del indicador (dos procedimientos de cenizas insolubles en ácido).

4.- Determinar la digestibilidad de materia seca y proteína de alimento entre los tratamientos como nutrientes de referencia.

5.- Determinar el efecto del glicerol sobre respuesta animal en cerdos en la etapa de engorde.

### **1.3. Justificación**

Debido a la disponibilidad actual de glicerol a nivel mundial y los crecientes y volátiles costos de materias primas energéticas como el maíz y aceite de palma, que han alcanzado precios récord desde el año 2008, justifica evaluar alternativas de fuentes de energía para alimentación porcina como ésta.

Por otro lado, el gobierno del Ecuador y empresas privadas tienen un plan de producción de biocombustibles por lo que a futuro la disponibilidad de glicerol en Ecuador podría ser significativa.

Bajo este escenario, el glicerol podría ser una fuente energética alternativa importante para ser empleada en alimentación de cerdos de engorde, para lo cual necesitamos valorar cual es su nivel energético utilizable siendo la única forma a través de las pruebas de digestibilidad y de balance.

### **1.4. Alcance**

Con el presente trabajo se determinará el valor de energía digestible y metabolizable del glicerol para cerdos en la etapa de engorde, que será información que le servirá a nutricionistas, tanto del país y de afuera, al momento de formular raciones. Considerando que esta materia prima, que en el futuro, estará altamente disponible, permitirá reducir la dependencia de otras fuentes

energéticas como maíz, aceite de palma, entre otras, además de la posibilidad de bajar costos.

## **1.5. Marco de Referencia**

### **1.5.1 Marco Teórico**

La creciente producción de biocombustibles a nivel mundial ha hecho que se generen co-productos de estas industrias con potencial de ser empleados en la alimentación animal (Whitney, 2008).

Por otro lado, debido a la producción de biocombustibles, una cantidad significativa de ingredientes que normalmente suplían energía en dietas para la producción porcina ahora se emplean en la industria de biocombustibles, afectando su disponibilidad y precios. Esto obliga a evaluar fuentes alternativas de energía para la producción porcina (Johnston, 2008).

El biodiesel es uno de estos biocombustibles. Éste puede ser producido de una variedad de tecnologías de esterificación usando aceite vegetal, grasa animal, o grasa amarilla como la fuente original (Kerr, 2009).

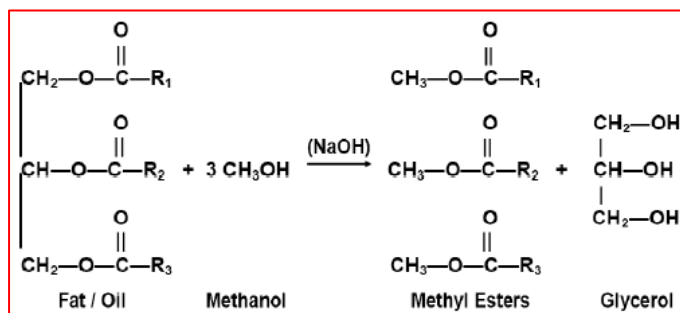
Producción de biodiesel a partir de aceites distintos al aceite de soya ha aumentado debido al incremento reciente del precio del aceite de soya (Kerr, 2009).

En los Estados Unidos, la producción de diesel obtenido de aceite vegetal ha incrementado exponencialmente de menos de 2 millones de litros en 1999 a casi 1 billón de litros en 2005 (Lammers, 2008c).

El biodiesel puede ser obtenido de una variedad de tecnologías de esterificación usando aceites vegetales, grasas de origen animal y aceites reciclados de la cocina. Primeramente, los aceites y grasas son filtrados para remover agua y contaminantes, seguido del mezclado con un alcohol (usualmente

metanol) y un catalizador (sodio o potasio metilato). Con el calentamiento y mezclado, las moléculas de aceite (triglicéridos) son divididas en ésteres de metilo y glicerina, que son luego purificados. Biodiesel es el nombre dado a los ésteres de metilo y glicerol “crudo” o no refinado como el co-producto resultante (Kerr, 2008).

Para producir biodiesel, 100 lbs. de una fuente de grasa o aceite es combinada con 10 lbs. de metanol para rendir 100 lbs. de biodiesel y 10 lbs. de glicerol “crudo” o no refinado. Cualquier fuente de grasa o aceite puede ser utilizada para este propósito. El glicerol es el principal co-producto de la industria de biodiesel (Johnston, 2008).



Fuente: Wikipedia, <http://es.wikipedia.org/>

Elaboración: El Autor

Se genera aproximadamente 80 grs. de glicerol crudo por cada litro de biodiesel producido (Kerr, 2009).

A medida que la producción mundial de biodiesel incrementa exponencialmente, la generación de glicerol por transesterificación de aceites vegetales también aumenta (Pachauri y He, 2006).

Solo en E.E.U.U., 171 plantas producen biodiesel con una capacidad de producción anual de glicerol de 158 millones de galones (Kerr, 2008).

El glicerol tiene muchos usos. El glicerol refinado se emplea como humectante, endulzante para preservar alimentos, en cosméticos, en industria

farmacéutica, entre algunas (Kerr, 2008). Una alta proporción de glicerol no es refinado ya que su costo es tremendamente alto y puede ser empleado para otros fines, como alimentación de cerdos (Whitney, 2008). Con la expansión de la producción de biodiesel, el mercado de glicerol crudo podría ser inundado, con un potencial de su uso como fuente energética en alimentación animal (Kerr, 2008).

El glicerol o 1,2,3-propanotriol, es un alcohol trihídrico (consiste de una cadena de 3 átomos de carbono con un grupo OH unido a cada uno). Es un líquido incoloro, inodoro, viscoso (relativamente espeso) y con un sabor dulce. Se derrite a 17.8 °C. Su fórmula química es  $\text{OH-CH}_2\text{-CH(OH)-CH}_2\text{-OH}$ . Es higroscópico y su color puede variar de café claro hasta negro. Está presente en la forma de sus ésteres en todas las grasas y aceites de origen animal y vegetal (Pachauri y He, 2006).

El glicerol crudo o no refinado tiene una proporción de aceite no reaccionado, un catalizador y residuos de metanol (Hanczakowska, 2010).

La composición típica del glicerol crudo es de 80% glicerol, 10 a 15% de agua, restos de cenizas, principalmente sales (sales de sodio o potasio). Trazas de metanol pueden quedar (máximo de 0.5%). Glicerol refinado tiene una pureza de 99% (Haan, 2008).

Glicerol es un precursor a gliceraldehido 3-fosfato, un intermediario en los pasos de la lipogénesis y gluconeogénesis, y rinde energía a través de caminos glicolítico y ácido tricarbóxico (Lammers, 2008c).

El glicerol es adecuadamente absorbido por el tracto gastrointestinal (Tao *et al.*, 1983, citado por Kerr *et al.*, 2009). El glicerol es gluconeogénico, con la gluconeogénesis siendo limitante dependiendo de la disponibilidad de glicerol (Cryer and Bartley, 1973; Tao *et al.*, 1983; Baba *et al.*, 1995, citado por Lammers *et al.*, 2008a).

La absorción intestinal del glicerol puede variar de 70 a más de 97%, debido a su bajo peso molecular y a que es absorbido de manera pasiva y no siendo absorbido a través de una micela como es el caso de ácidos grasos de cadena mediana o larga. Una vez absorbido, el glicerol se convierte a glucosa vía gluconeogénesis u oxidado para producción de energía vía glicólisis y el ciclo del ácido cítrico, que bajo condiciones basales puede ser el 60% de la ruta metabólica del glicerol (Kerr, 2008).

Investigación determinando el valor energético del glicerol en no rumiantes es escasa (McCann, 2009). Bartelt y Schneider (2002), citado por Lammers, *et al.*, (2008a), reportaron una reducción del nivel de energía metabolizable del glicerol a medida que se incrementaba el nivel de inclusión en dietas de cerdos y pollos.

En cerdos, Bartelt y Schneider (2002), citado por Kerr, *et al.*, (2009) usaron glicerol puro en dietas conteniendo hasta 15% de glicerol y reportaron un promedio de energía metabolizable (EM) de 3525 kcal/kg. Recientemente, Lammers *et al.* (2008a) reportaron que un glicerol crudo conteniendo 87% glicerol obtenido de una facilidad de biodiesel que emplea aceite de soya como materia prima de origen, resultó con 3207 kcal/kg cuando alimentado a cerdos de inicio y de acabado. Un valor que es menor que el valor obtenido por Bartelt y Schneider (2002), citado por Kerr, *et al.* (2009) con una base equivalente de glicerol.

Estos resultados indican que el nivel de energía del glicerol es similar al del maíz y pasta de soya, pero solo el 40 a 45% del contenido energético de grasas animales o aceites vegetales. Este menor contenido calórico en relación a grasas animales o aceites vegetales se debe a que el componente de ácidos grasos se ha retirado del triglicérido (éster de metilo) durante el proceso de producción de biodiesel (Kerr, 2008).

McCann (2009) reporta que la inclusión del glicerol redujo la ganancia de peso y hubo una tendencia a una conversión alimenticia menos eficiente a medida que la inclusión de glicerol aumentó. Esto sugiere que el contenido de energía digestible del glicerol es menor al del almidón del trigo. Se registró un efecto

cuadrático significativo de la inclusión de glicerol sobre digestibilidad de materia seca, proteína cruda y digestibilidad de energía y contenido de energía digestible en la dieta (Tabla 1.1.). La inclusión de glicerol de 4% y 8% mejoró la digestibilidad de materia seca, proteína cruda y energía digestible y contenido de energía digestible con respecto a la dieta control pero no hubo diferencia en la utilización de nutrientes entre las dietas con 0% y 12% de inclusión de glicerol. De acuerdo a la regresión cuadrática para el contenido de energía digestible, la inclusión óptima de glicerol fue 7.4%. Estos resultados indican que la inclusión de glicerol de 4% o 8% mejoran la utilización de nutrientes pero la inclusión de 12% no. El efecto cuadrático puede deberse a una saturación de la glicerol kinasa por el glicerol a un nivel de inclusión mayor, por ende previniendo al glicerol ser metabolizado y representando un costo energético el excretar el exceso de glicerol. A 12% de inclusión también se registra un efecto negativo en ganancia de peso.

**Tabla 1.1. Efecto de Glicerol Sobre Utilización de Nutrientes**

Digestibilidad (%)	Nivel Glicerol				P
	0%	4%	8%	12%	
Materia Seca	85.2 a	87.1 b	86.8 b	85.5 a	<0.01
Proteína Cruda	83.9 ab	85.9 b	86.3 b	82.6 a	<0.05
Energía	85.0 a	86.8 b	86.7 b	85.5 ab	<0.05
Lípidos	71.9	72.5	72.4	71.3	NS
Energía Digestible (MJ/kg MS)	15.44 a	15.83 b	15.85 b	15.73 ab	<0.01

Fuente: McCaan, 2009 (*The Effect of Glycerol on Nutrient Digestibility in Finishing Pigs*)

Elaboración: El Autor

Empleando glicerol en cerdos, Lammers *et al.* (2008b) reportaron que la tasa de crecimiento, consumo de alimento ni eficiencia alimenticia fueron afectados por niveles de glicerol de hasta 10% en cerdos en crecimiento. Tampoco, grasa dorsal a nivel de la 10<sup>ma</sup> costilla, área del lomo, porcentaje de tejido magro libre de grasa, calidad de carne ni tampoco la evaluación sensorial fueron afectados por la inclusión de glicerol. Registraron un ligero incremento de

pH con el uso de glicerol así como una variación en el perfil de ácidos grasos del lomo con 10% de inclusión de glicerol; teniendo menos ácido linoleico y mayor ácido eicosapentanoico que en cerdos con 0 y 5% de glicerol. Estos mismos autores citan que la suplementación de glicerol ha demostrado incrementar ligeramente el contenido de ácido oleico a expensas de los ácidos linoleico y linolénico, consecuentemente reduciendo el índice de insaturación de la grasa. No se registró un cambio en metabolitos de la sangre o frecuencia de lesiones en la evaluación de varios tejidos (ojo, hígado y riñón). En base a esto concluyen, que hasta 10% de glicerol puede ser incluido en dietas de cerdos en crecimiento y acabado, sin afectar respuesta zootécnica, composición de la carcasa, calidad de carne o escore de lesiones en tejidos.

Según Lammers y colaboradores (2008a), indican una reducción, en cerdos de 11 kgs de peso, de la capacidad de metabolizar más de 10% de glicerol no refinado, pero en cerdos de mayor peso (edad) no se daría esto, como lo observado en el presente estudio.

Según Schieck *et al.* (2010) suministrar glicerol a lo largo del período de crecimiento y engorde a cerdos o por solo 8 semanas antes del faenamiento, con un nivel de 8% de inclusión, no tuvo ningún efecto adverso sobre crecimiento.

Según Zijlstra y colaboradores (2008) el uso de glicerol hasta 8% de inclusión en dietas de lechones recién destetados mejoró la ganancia de peso y aumentó el consumo de alimento (esto con dietas en base de trigo, lo contrario a lo reportado en estudios con dietas en base a maíz que no se registró diferencias en consumo), además no se afectó la conversión alimenticia. La mejora en consumo se lo atribuye a una mejora en la palatabilidad con el uso de glicerol.

El uso de glicerol en cerdos resulta en una mayor producción de orina en comparación con una dieta control indicando que el glicerol tiene un efecto diurético, y hay evidencia de otros estudios que el uso de glicerol incrementó el consumo de agua y hubo mayor producción de orina (Mendoza *et al.*, 2010).



Resultados inconsistentes con el uso de glicerol se puede deber a la distinta composición del glicerol crudo, ya que no es un producto estandarizado (Hanczakowska, 2010).

Según Schieck *et al.* (2010), la inclusión dietaria de glicerol crudo no tuvo un efecto negativo en la calidad de la carne y no hubo diferencia en características sensoriales determinado por un panel de degustación.

No se registró diferencia en color de la carne o acidez con el uso de glicerol pero se registró en carne una mayor capacidad de retención de agua (Hanczakowska, 2010).

Zijlstra y colaboradores (2008) indicaron que la digestibilidad de energía fue 1.62 unidades porcentuales mayor en cerdos alimentados con 8% de glicerol en comparación con la registrada en cerdos que no recibieron glicerol. En el trabajo de estos autores se indica que el glicerol es la base de los triglicéridos y está involucrado en la síntesis de fosfolípidos en tejido hepático y adiposo. En el intestino delgado, grasas ingeridas son desdobladas en tres compuestos: dos ácidos grasos y un monoglicérido seguido por absorción. En el hígado, el monoglicérido es desdoblado en glicerol y el tercer ácido graso. Glicerol puede ser convertido a glucosa vía gluconeogénesis u oxidado para energía vía glicólisis y el ciclo del ácido cítrico.

Con el uso de glicerol en cerdos se mejoró la digestibilidad de la fibra que podría deberse a una mejor fermentación bacteriana en el tracto intestinal. La permeabilidad del glicerol a través de la membrana intestinal es relativamente baja. Es posible que el glicerol llegando al colon estimule el desarrollo de microorganismos degradadores de fibra (Hanczakowska, 2010).

Ya que el biodiesel se puede obtener de una variedad de fuentes (soya, canola, maíz, aceites de cocina y grasas animales) la composición del glicerol puede variar por ende el valor energético del glicerol podría variar en función de

esto, además podría existir variación dependiendo de la fábrica que lo produce, además de la especie, edad del animal y nivel de inclusión (Kerr, 2008).

Según Kerr *et al.* (2009) no se conoce si la variación en glicerol entre fábricas de producción de biodiesel podría afectar su valor de energía digestible (ED) o energía metabolizable (EM) en cerdos.

Otra variable que podría afectar la capacidad de uso del glicerol como fuente energética en cerdos es el contenido de metanol. El metanol no es completamente retirado del glicerol durante el proceso de producción de biodiesel.

El metanol es un compuesto potencialmente tóxico que no es completamente recuperado del glicerol y puede generar una variedad de síntomas agudos y crónicos. El metabolismo del metanol resulta en una acumulación de formato, que es el metabolito principal responsable de los efectos tóxicos del metanol (Kerr, 2008). Alteraciones gastrointestinales son uno de los síntomas de exposición crónica al metanol. No está definido cual sería el nivel máximo permisible de metanol en el glicerol (Kerr, 2009). Según se cita en Lammers *et al.* (2008b), una intoxicación aguda con metanol puede dar a una acumulación de ácido fórmico que conlleva a una acidosis metabólica. Intermediarios en el metabolismo de metanol a dióxido de carbono y agua son formaldehído y formato. También mencionan que consecuencias clínicas de intoxicación con metanol son depresión del sistema nervioso central, vómito, acidosis metabólica severa, ceguera y problemas motores similares a la enfermedad de Parkinson.

También se debe monitorear niveles de otros componentes como cloruro de sodio y ácidos grasos libres, a parte del nivel de metanol, por su potencial impacto sobre el valor energético al animal, procesamiento de alimento y respuesta animal (Kerr, 2008).

En Ecuador, la empresa La Fabril está produciendo biodiesel obteniendo glicerol como co-producto con el objetivo de exportar a países de la región. Se estima una producción de glicerol de 350 a 450 TM por mes que estarán en gran

parte disponibles para alimentación animal (Ing. M. Corral, La Fabril, entrevista personal, agosto de 2008).

El glicerol de La Fabril, se obtiene de aceites de origen vegetal, principalmente del aceite de palma, no se usan fuentes de grasas de origen animal, por lo que su nivel energético estará en función de esto y del proceso productivo.

**Tabla 1.2. Caracterización del Glicerol<sup>1</sup> Empleado en el Estudio (tal cual)**

Característica	Valor <sup>1</sup>	Método
Glicerol (%)	87.98	AOCS Ea-6-51 <sup>3</sup>
Humedad (%)	9.38	AOCS Ea-8-58
Metanol (%)	1.81	
pH (Escala)	6.5	AOCS G-07-56
Jabón (ppm)	3000	AOCS Cc-17-79
Ácidos Grasos Libres (%)	2.77	
Cenizas (%)	0.89	IUPAC 3.135
Densidad (25°C, g/cc)	1.2343	AOCS Ea 7-95
Aspecto Visual	Color ambar	Visual
Energía Bruta (kcal/kg) <sup>2</sup>	3895.75	Bomba Calorimétrica

<sup>1</sup> Fuente: La Fabril, 2009

<sup>2</sup> Fuente: Laboratorio Pronaca, 2009

<sup>3</sup> American Oil Chemists' Society (2000)

Fuente: Análisis glicerol en laboratorio La Fabril y laboratorio Pronaca, 2009

Elaboración: El Autor

Datos confiables de disponibilidad de nutrientes son requeridos para determinar requerimientos nutricionales en animales, evaluar el valor nutritivo de ingredientes alimenticios, desarrollar formulación de dietas al mínimo costo y minimizar impacto ambiental en la producción animal (Sales, 2003). Para generar esta información, se pueden realizar pruebas de digestibilidad, es decir, medir el consumo de un nutriente y cuanto de éste es excretado en heces y con esto determinar cuanto es digerido. Se lo puede hacer a través del método de

recolección total y un método empleando un indicador o marcador. Cuando se incluye la medición del nutriente excretado en orina se denomina una prueba de balance, determinándose así la metabolicidad de un nutriente (Adeola, 2001).

Para confirmar los resultados obtenidos en el presente estudio se determinó la digestibilidad bajo los dos métodos: el método de recolección total (RT) (cuantitativo de alimento y heces) y el método del indicador. El primero requiere un registro meticuloso y exacto del consumo de alimento y producción de heces junto con análisis químico de alimento y heces. Además de alojar a los animales en jaulas metabólicas. El método del indicador evita la necesidad para registros cuantitativos precisos de consumo de alimento y producción de heces, pero depende fuertemente de un análisis químico preciso, en alimento y heces, del indicador seleccionado (Adeola, 2001).

No se conoce el marcador o indicador ideal, pero éste debe reunir la mayor cantidad de los siguientes requisitos: no tóxico, inalterado durante el paso a lo largo del sistema digestivo, sin influencia en el proceso fisiológico del tracto digestivo, cercanamente asociado al nutriente indigerido o fluyendo al mismo ritmo que el nutriente y totalmente recuperado en heces (Sales, 2003).

Existen indicadores externos (se añaden a la dieta) como óxido de cromo, óxido de titanio, óxido de hierro, elementos raros de la tierra así como indicadores internos o naturales (son componentes de los ingredientes de la dieta) como fibra ácido detergente indigestible, lignina indigestible y ceniza insoluble en ácido (CIA) (Sales, 2003).

El óxido de cromo es posiblemente el marcador externo más empleado en estudios nutricionales pero entre sus desventajas presenta una pobre repetibilidad (Sales, 2003).

Adicional, la posible desventaja de marcadores externos es su no adecuada homogenización con el alimento (Sales, 2003). Además, según

Lammers (2008a) el uso de óxido de hierro como indicador externo causó rechazo de alimento en cerdos.

Entre los indicadores naturales el más empleado en estudios de digestibilidad es CIA. CIA consiste de componentes minerales indigestibles, principalmente sílica (Sales, 2003).

CIA se ha empleado como indicador para determinar digestibilidad de nutrientes en varias especies, incluyendo cerdos, aves, ganado de carne, ganado de leche, ovejas, caballos, perros, gatos, peces, jirafas, rinocerontes entre otras. En cerdos, CIA se ha usado para determinar digestibilidad de la materia seca, energía, paredes celulares, celulosa, hemicelulosa, proteína cruda y grasa (Sales, 2003).

Además, CIA tiene una alta recuperación, cercana al 100% determinado en varias especies y con distintas dietas por lo que al ser indigestible es considerado un buen indicador (Sales, 2003).

De 45 estudios donde el método de CIA fue comparado contra el método de recolección total para determinar digestibilidad en alimentos en distintas especies, 26 demostraron resultados similares, en 9 subestimación por el método de CIA y 10 sobreestimación. El error analítico podría ser la causa principal de falla cuando se usa CIA como marcador, especialmente con alimentos con bajo contenido natural de CIA (Sales, 2003).

Según Ly y colaboradores (2002), el uso de CIA como marcador indirecto para estimar la digestibilidad es igualmente efectivo para evaluación nutricional de dietas en cerdos jóvenes cuando se compara con el método de recolección total (directo) (Tabla 1.3.).

**Tabla 1.3. Comparación de Resultados entre el Método de RT y CIA**

Digestibilidad, %	Método de Estimación		
	RT	CIA	SEM
Materia Seca	81.4	83.9	1.11*
Materia Orgánica	83.3	84.2	2.05
Fibra Neutro Detergente	80.4	83.0	0.91**
Proteína	78.6	82.8	2.27

P<0.05; \*\* P<0.01

Fuente: Ly y colaboradores, 2002 (*Studies on the use of acid insoluble ash as inert marker in digestibility trials with Mong Cai pigs*)

Elaboración: El Autor

Existen varios procedimientos para determinar CIA, Van Keulen y Young (1977) describe 3 procedimientos. En este trabajo, se aplicaron 2 de estos métodos (HCl 4N y HCl 2N) para determinación de CIA. Inicialmente se evaluó un tercer método (HCl concentrado) pero debido a su variación significativa de resultados con respecto al método de recolección total y a los otros 2 métodos de CIA se lo descartó.

**Tabla 1.4. Coeficientes Digestibilidad de Materia Seca en Ovejas (%)**

Muestra	Método Recolección Total y 3 procedimientos de CIA			
	Recolección Total	HCl Concentr.	4N HCl	2N HCl
1	76.2	74.1	75.0	72.2
2	63.0	61.0	64.1	61.5
3	51.7	50.8	58.2	51.7
4	71.5	70.9	74.4	71.7
5	63.7	56.7	62.5	58.7
6	50.3	51.6	51.6	49.7
7	56.5	55.6	55.1	54.1
8	54.4	57.0	55.4	55.2

Medias con letras diferentes significa diferencias estadísticas (P<0.05)

Fuente: Van Keulen y Young, 1977 (Evaluation of acid-insoluble ash as a natural marker in ruminant digestibility studies)

Elaboración: El Autor

## Determinación Digestibilidad (Energía, Materia Seca y Proteína) – Método Recolección Total

Para la digestibilidad de energía, materia seca (MS) y proteína se determina la cantidad de energía, MS y proteína consumida y la cantidad excretada en heces, aplicando la siguiente ecuación se obtiene el coeficiente de digestibilidad:

$$\text{Digestibilidad (\%)} = 100 \times \frac{\text{Cantidad del componente consumido} - \text{Cantidad del componente excretado en heces}}{\text{Cantidad del componente consumido}}$$

Fuente: Adeola, 2001 (Digestion and balance techniques in pigs)

Elaboración: El Autor

La energía digestible (ED) aparente se calcula restando la energía bruta consumida (que se calcula multiplicando el valor de energía bruta de la dieta suministrada por el consumo de alimento durante un período de recolección de 5 días) de la energía excretada en heces.

Para el análisis de proteína se aplicó la metodología de Kjeldahl.

## Determinación Digestibilidad – Método del Indicador (Ceniza Insoluble en Ácido)

El procedimiento es similar al método de recolección total pero tanto en alimento como en heces se analiza las concentraciones del compuesto indicador, en este caso ceniza insoluble en ácido (CIA) ó *Acid Insoluble Ash* (AIA) en inglés.

$$\text{Digestibilidad (\%)} = 100 - 100 \times \frac{\left( \frac{\text{Concentración del compuesto indicador en alimento} \times \text{Concentración del compuesto en heces}}{\text{Concentración del compuesto indicador en heces} \times \text{Concentración del compuesto en alimento}} \right)}$$

Fuente: Adeola, 2001 (Digestion and balance techniques in pigs)

Elaboración: El Autor

Se aplican 2 métodos distintos de análisis para determinación de CIA:

- **Alternativa 1-** (Vogtmann *et al.*, 1975, citado por Van Keulen y Young, 1977)

*Método Cenizas Insoluble en Ácido, HCl 4N*

- **Alternativa 2-** (Van Keulen y Young, 1977)

*Método Cenizas Insoluble en Ácido, HCl 2N*

### **Determinación Energía Metabolizable**

La energía metabolizable (EM) aparente se calcula restando la energía bruta consumida (que se calcula multiplicando el valor de energía bruta de la dieta suministrada por el consumo de alimento durante un período de recolección de 5 días) de la energía excretada en heces y la energía eliminada en orina.

También la energía metabolizable (EM) aparente se puede calcular al multiplicar el valor de ED aparente por 0.96 que es la relación entre EM/ED determinada por Lammers *et al.* (2008a).

### **1.5.2. Marco Conceptual**

#### **Biocombustibles-**

Materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía.

#### **Biodiesel-**

El biodiesel es un biocombustible sintético líquido que se obtiene a partir de lípidos naturales como aceites vegetales o grasas animales, con o sin uso previo, mediante procesos industriales de esterificación y transesterificación, y que se aplica en la preparación de sustitutos totales o parciales del petrodiesel o gasóleo obtenido del petróleo.



### **Cenizas Insolubles en Ácido (CIA)-**

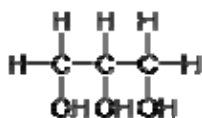
Es considerado un marcador natural o interno para determinar digestibilidad así como son fibra ácido detergente indigestible y lignina indigestible.

### **Ésteres-**

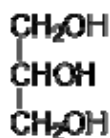
Los ésteres son compuestos orgánicos en los cuales un grupo orgánico (simbolizado por R') reemplaza a un átomo de hidrógeno (o más de uno) en un ácido oxigenado. Un ácido oxigenado es un ácido cuyas moléculas poseen un grupo hidroxilo (–OH) desde el cual el hidrógeno (H) puede disociarse como un ion protón (H<sup>+</sup>).

### **Glicerol-**

El glicerol o glicerina (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O<sub>3</sub>) es un alcohol con tres grupos hidroxilos (–OH), por lo que podemos representar la molécula como,



o, en su forma semidesarrollada como,



Fuente: Wikipedia, <http://es.wikipedia.org/>

Elaboración: El Autor

### **Gluconeogénesis-**

La gluconeogénesis es una ruta metabólica anabólica que permite la síntesis de glucosa a partir de precursores no glucídicos. Incluye la utilización de varios aminoácidos, lactato, piruvato, glicerol y cualquiera de los intermediarios del ciclo de los ácidos tricarboxílicos (o Ciclo de Krebs) como fuentes de carbono para la vía metabólica. Todos los aminoácidos, excepto la leucina y la lisina, pueden suministrar carbono para la síntesis de glucosa.

**Gluconeogénico-**

Producto de la gluconeogénesis.

**Higroscópico-**

Es la capacidad de algunas sustancias de absorber o ceder humedad al medioambiente.

**Metabolizable-**

Diferencia de la energía total o bruta de un alimento y la eliminada en heces y orina.

**Metanol-**

El compuesto químico metanol, también conocido como alcohol metílico o alcohol de madera, es el alcohol más sencillo. A temperatura ambiente se presenta como un líquido ligero (de baja densidad), incoloro, inflamable y tóxico que se emplea como anticongelante, disolvente y combustible. Su fórmula química es  $\text{CH}_3\text{OH}$ .

**Propanotriol-**

Es otro término para glicerol.

**Transesterificación-**

La transesterificación es el proceso de intercambiar el grupo alcoxi de un éster por otro alcohol. Estas reacciones son frecuentemente catalizadas mediante la adición de un ácido o una base.

**Trihídrico-**

Que contiene tres grupos hidroxilos (-OH).

**1.5.3. Marco Temporal, Espacial**

El presente trabajo se realizó entre agosto 2009 y mayo 2010.

El área de influencia del trabajo de investigación es a nivel mundial ya que aplica a todos los países que pueden disponer de glicerol como una materia prima para alimentar cerdos.

## **1.6. Hipótesis**

1.- El valor de digestibilidad y energía digestible del glicerol varía según el nivel de suplementación y edad (peso) en cerdos en la etapa de engorde.

2.- El valor de metabolizabilidad y energía metabolizable del glicerol varía según el nivel de suplementación y edad (peso) en cerdos en la etapa de engorde.

3.- No hay diferencia en valores de digestibilidad de energía obtenidos entre el método de recolección total y el método del indicador (dos procedimientos de determinación de ceniza insoluble en ácido).

4.- La digestibilidad de materia seca y proteína del alimento varía con el nivel de glicerol empleado.

5.- El uso de glicerol afecta la respuesta animal en cerdos en la etapa de engorde.

## **1.7. Metodología**

### **1.7.1. Unidad de Análisis**

La unidad de análisis son cerdos en la etapa de engorde. Se emplearon 12 jaulas metabólicas, cada una alojando a un cerdo desde los 70 días hasta los 165 días de edad.

### **1.7.2. Población y Muestra**

#### **Población-**

Se emplearon 12 cerdos en la etapa de engorde.

**Muestra-**

El tamaño de la muestra se define en base al número de jaulas disponibles para la investigación (12).

**1.7.3. Tipos de Investigación**

- Investigación concluyente causal
- Investigación de monitoreo del desempeño

**1.7.4. Métodos de Estudio****Método Empírico:**

- Observación
- Medición
- Experimento

**Método Teórico:**

- Análisis
- Síntesis
- Inducción

**1.8. Manejo del Experimento****1.8.1. Fase de Campo**

Se realizaron 2 etapas de recolección de datos, a los 116 días y a los 158 días.

**Tabla 1.5. Datos de Inicio de cada Período**

Período	Edad Inicio (días)	Peso Inicio (kgs)	Número Cerdos Total	Inclusión Glicerol (%)	Número Cerdos
1	116	75.27 +/- 3.46	12	0	4
				7.5	4
				15	4
2	158	117.50 +/- 7.07	12	0	4
				7.5	4
				15	4

Fuente y Elaboración: El Autor

Los 12 cerdos se asignaron al azar a las dietas experimentales. Cada cerdo fue alojado individualmente en una jaula metabólica. Cada jaula se considera una réplica.

Las dietas experimentales consisten en una dieta basal común, que cubre o excede los requerimientos del NRC (NRC, 1998) y 0, 7.5 o 15% de adición de glicerol “crudo” o no refinado a la dieta basal.

La dieta basal fue mezclada en un batch en una mezcladora grande horizontal de cinta sin adición de glicerol. Las dietas experimentales fueron posteriormente preparadas mezclando una parte de la dieta basal y una cantidad determinada de glicerol según el tratamiento, en una mezcladora pequeña. Las dietas fueron empleadas en forma de harina.

**Tabla 1.6. Composición y Nutrientes Calculados de las Dietas Basales Empleadas en el Período 1 y Período 2 (tal cual)**

Item	Período 1 <sup>(1)</sup>	Período 2 <sup>(2)</sup>
<b>Ingrediente (%)</b>		
Maíz	77.823	76.502
Pasta Soya, 46.5% PC	16.745	17.755
Melaza	2.000	2.000
Fosfato Monodivale	0.927	0.845
Carbonato de Calcio	0.768	1.014
Aceite de Palma	0.500	0.662
Cloruro de Sodio	0.400	0.400
L-Lisina:HCl	0.339	0.326
L-Treonina	0.068	0.064
Metionina Líquida	0.055	0.057
Premezcla mineral <sup>3</sup>	0.100	0.100
Premezcla vitamínica <sup>4</sup>	0.100	0.100
Sulfato de Cobre	0.060	0.060
Cloruro de Colina (75% Liq)	0.040	0.040
Antimicótico	0.060	0.060
Antioxidante	0.015	0.015
<i>Total</i>	<i>100.000</i>	<i>100.000</i>
<b>Nutrientes calculados</b>		
Energía Metabolizable (kcal/kg)	3210	3210
Proteína Cruda (%)	15	15
Lisina (%)	0.950	0.950
Metionina + Cistina (%)	0.570	0.570
Metionina (%)	0.300	0.300
Treonina (%)	0.618	0.618
Triptófano (%)	0.164	0.164
Calcio (%)	0.61	0.61
Fósforo Disponible (%)	0.28	0.28
Sodio (%)	0.21	0.21
Cloro (%)	0.39	0.40
Fibra Cruda (%)	2.00	1.89
Grasa Cruda (%)	4.08	4.33
Cenizas (%)	4.15	4.42

<sup>(1)</sup> Período 1: Inicio 116 días de edad

<sup>(2)</sup> Período 2: Inicio 158 días de edad

<sup>3</sup> Premezcla mineral aporta por kg de alimento:

Cu, 30 mg; Fe, 80 mg; Mn, 50 mg; Se, 0.25 mg; Zn, 80 mg; I, 0.7 mg

<sup>4</sup> Premezcla vitamínica aporta por kg de alimento:

Vit A, 8250 UI; Vit D, 1950 UI; Vit E, 40 UI; Vit K, 2 mg; Vit B1, 1.1 mg; Vit B2, 6 mg;

Ácido Pantoténico, 14 mg; Vit B6, 3 mg; Vit B12, 11 mcg; Ácido Fólico, 0.5 mg;

Biotina, 0.07 mg; Niacina, 25 mg

Fuente: Programa de formulación, 2009

Elaboración: El Autor

Los cerdos recibieron un período de adaptación de 10 días a las jaulas metabólicas y a las dietas experimentales.

En el periodo de adaptación se establece la cantidad de alimento a suministrarse durante el periodo de recolección, y así obtener el menor desperdicio posible.

La ración diaria de alimento se suministró en dos o más puestas por día, registrando el sobrante 24 horas después de la primera puesta. El suministro de alimento se da en base a niveles cercanos al requerimiento para mantenimiento.

Los cerdos recibieron una cantidad establecida de la dieta basal, en el caso de los cerdos en los tratamientos con glicerol se dio un incremento de alimento ofrecido de acuerdo a la cantidad de adición de glicerol a la dieta basal.

Luego del período de adaptación, el periodo de recolección de alimento, heces y orina fue de 5 días.

En el caso de la recolección de heces y orina se realizó 24 horas después de haber empezado el período de recolección (día 2 de la recolección) y se extendió hasta el día sexto del periodo de recolección. Se realizó una recolección total de heces y orina. Se pesó el total de heces producida por día por cada cerdo.

Se registró diariamente el consumo de alimento (neto = ofrecido – sobrante) por cerdo. Los cerdos fueron pesados al inicio y al final de cada período de recolección para calcular ganancia de peso y conversión alimenticia y energética.

Al faenamiento se registra la grasa dorsal en la décima costilla de cada cerdo.

Luego del período de adaptación, la recolección de heces y orina se realizó dos veces por día (mañana y tarde). Las heces se pesaron, sellaron en fundas plásticas y guardaron en congelación (0 °C). Las muestras de heces obtenidas en cada recolección del día se homogenizaron al final del día. Las muestras de orina también se almacenaron en congelación, se recogieron una vez por día (150 ml

recolectados). La muestra de alimento se recolectó una vez por día en la mañana y se almacenó en congelación.

A la muestra de orina recolectada en el día se adicionó 5 gotas de HCl 6N por 150 ml de orina para obtener un pH de 5 aproximadamente, para mantener su estabilidad.

Finalizado el periodo de recolección, se descongelaron las muestras de alimento, heces y orina y se homogenizaron las muestras de cada día de recolección para sacar una muestra compuesta por cerdo.

Las muestras de heces se secaron a 68°C por 15 hrs con un peso de muestra de 20 grs. mientras que con la muestra de orina, 2 ml se colocaron en 0.5 grs. de papel filtro (celulosa) y se secaron a 58°C por 24 hrs. Las muestras de alimento se secaron usando 5 grs. de muestra por 4 hrs a 103°C.

Se determinó el contenido de materia seca - humedad de las muestras de alimento, heces y orina.

Posteriormente las muestras de alimento y heces se molieron a través de una malla de 1 mm para posterior determinación de energía.

Previo al análisis de energía de las muestras de cada periodo se usó ácido benzoico como estándar.

Para el análisis de energía, las muestras de alimento y heces se analizaron por duplicado y las muestras de orina + papel filtro (celulosa) se analizaron por triplicado. El análisis de energía bruta se realizó con una bomba calorimétrica marca Parr modelo 1341EB.

Para poder descontar el contenido energético del papel filtro, se determinó en cada periodo el contenido energético de 10 papeles filtro por si solo.



Para el análisis de proteína, se escogieron al azar 2 cerdos de cada tratamiento (12 muestras de alimento y 12 muestras de heces). El análisis de proteína se realizó por el método Kjeldahl.

El análisis de humedad, proteína y la determinación energética del alimento y heces se la realizó en el Laboratorio de Nutrición Animal y Bromatología de Pronaca.

### 1.8.2. Determinación Digestibilidad (Energía, Materia Seca y Proteína) – Método Recolección Total

Para la digestibilidad de energía, materia seca y proteína se determinó la cantidad de energía y proteína consumida y la cantidad excretada en heces, aplicando la siguiente ecuación se determinó el coeficiente de digestibilidad:

$$\text{Digestibilidad (\%)} = 100 \times \frac{\text{Cantidad del componente consumido} - \text{Cantidad del componente excretado en heces}}{\text{Cantidad del componente consumido}}$$

Fuente: Adeola, 2001 (Digestion and balance techniques in pigs)

Elaboración: El Autor

### 1.8.3. Determinación Energía Digestible

La energía digestible (ED) aparente se calculó restando la energía bruta consumida (que se calcula multiplicando el valor de energía bruta de la dieta suministrada por el consumo de alimento durante un período de recolección de 5 días) de la energía excretada en heces.

### 1.8.4. Determinación Digestibilidad – Método del Indicador (Ceniza Insoluble en Ácido)

El procedimiento es similar al método de recolección total pero tanto en alimento como en heces se analizó las concentraciones del compuesto indicador, en este caso ceniza insoluble en ácido (CIA) ó *Acid Insoluble Ash* (AIA) en inglés.

$$\text{Digestibilidad (\%)} = 100 - \left\{ 100 \times \left\{ \frac{\text{Concentración del compuesto indicador en alimento} \times \text{Concentración del compuesto en heces}}{\text{Concentración del compuesto indicador en heces} \times \text{Concentración del compuesto en alimento}} \right\} \right\}$$

Fuente: Adeola, 2001 (Digestion and balance techniques in pigs)

Elaboración: El Autor

Se aplicaron 2 métodos distintos de análisis para determinación de CIA.

### 1.8.5. Determinación Cenizas Insoluble en Ácido (CIA)

**Alternativa 1- (Vogtmann *et al.*, 1975, citado por Van Keulen y Young, 1977)**

#### ***Método Cenizas Insoluble en Ácido, HCl 4N***

Se analizó cada muestra por duplicado. Se pesó 10 gramos de muestra seca de alimento y heces ( $W_s$ , corregido para el volumen de humedad) en un Erlenmeyer de 250 mL, se le agregó 100 mL de HCl (ácido clorhídrico) 4N.

La mezcla se hirvió muy despacio por un período de 30 minutos en una plancha de calentamiento, junto con un extractor de vapor de aire.

La mezcla caliente se filtró, utilizando papel filtro libre de ceniza (Whatman No. 41), se lavó el filtrado con agua destilada para quedar libre del ácido caliente (85 a 100 °C).

La ceniza junto con el papel filtro se transfirió a un crisol (100 mL) previamente pesado, se colocó dentro de una mufla termo regulable durante 12 horas a 650 °C.

Después el crisol junto con la ceniza se refrescó en un desecador para regular la temperatura y se pesó.

**Alternativa 2- (Van Keulen y Young, 1977)*****Método Cenizas Insoluble en Ácido, HCl 2N***

Se analizó cada muestra por duplicado. Se pesó 5 gramos de muestra seca de alimento o heces en un crisol de 50 mL.

Se colocó la muestra en una mufla durante 12 horas a 450 °C. La ceniza se transfirió a una copa de Berzelius (sin el pico) de 600 mL, se agregó 100 mL de HCl 2N. La mezcla se hirvió durante 5 min en un aparato de digestión de fibra cruda. Alternativamente se puede hervir a ebullición la mezcla en un plato de calentamiento.

La mezcla caliente se filtró utilizando papel filtro libre de cenizas (Whatman No. 41), ésta se lavó con agua destilada caliente (85 a 100 °C) para quedar libre del ácido.

El filtrado junto con el papel filtro se transfirió a un crisol y se lo introdujo en una mufla durante 12 horas a 450 °C. El crisol y el volumen se refrescaron en un desecador para nivelar la temperatura y se pesó.

**Alternativa 3-**

Adicionalmente, se evaluó una tercera alternativa que usa HCl concentrado (Shrivastava and Talapatra, 1962, citado por Van Keulen y Young, 1977), pero debido a la diferencia importante con los resultados de recolección total y a los otros dos métodos de CIA se la descartó.

**Tabla 1.7. Evaluaciones Iniciales entre Métodos de Determinación de CIA**

Identificación	Coeficiente Digestibilidad Energía (%)		
	Método 1 - HCl 4N	Método 2 - HCl 2N	Método 3 - HCl Concentrado
1A	89.81	87.79	70.78
1B	89.10	87.49	70.94
1C	89.90	87.81	70.21
2A	88.02	86.98	62.89
2B	88.69	86.89	62.26
2C	88.02	86.77	62.51
3A	86.50	84.51	63.11
3B	86.38	84.08	63.75
3C	86.59	84.71	63.03
4A	87.84	88.21	68.71
4B	87.60	88.32	69.03
4C	87.18	88.01	69.08
<b>Promedio</b>	<b>87.97</b>	<b>86.80</b>	<b>66.36</b>

El método de recolección total resulta para estas muestras un coeficiente de digestibilidad de energía de 89.44% promedio

Fuente: Datos cenizas insolubles en ácido, laboratorio Pronaca, 2010

Elaboración: El Autor

#### 1.8.6. Determinación Energía Metabolizable

La energía metabolizable (EM) aparente se calculó restando la energía bruta consumida (que se calculó multiplicando el valor de energía bruta de la dieta suministrada por el consumo de alimento durante un período de recolección de 5 días) de la energía excretada en heces y la energía eliminada en orina.

También la energía metabolizable (EM) aparente se calculó al multiplicar el valor de ED aparente por 0.96 que es la relación entre EM:ED determinada por Lammers *et al.* (2008a).

### **1.8.7. Regresión Lineal para Determinar Energía**

Se evaluaron diferencias entre los valores de energía entre niveles de inclusión de glicerol y peso de los cerdos.

Los valores de ED y EM aparente del glicerol fueron estimados como la pendiente de la regresión lineal entre el consumo de ED y EM aparente de la dieta experimental (variable dependiente) y el consumo de alimento (variable independiente). Esto se hizo tanto para el método de recolección total como para los métodos del indicador.

Un modelo de regresión fue usado para evaluar el efecto del consumo de alimento, peso de cerdo y la interacción entre peso de cerdo x consumo de alimento sobre ED y EM aparente.

En todos los casos, se determina la energía digestible y metabolizable aparente ya que no se descuenta la producción endógena de energía por el animal (Kerr, 2009). Igual para el caso de proteína.

### **1.8.8. Procedimiento Determinación Humedad – Método Pérdida por Secado**

Se determina la pérdida de peso de una muestra colocada en una estufa y la pérdida de peso se reporta como el porcentaje de humedad que contiene la misma.

La materia seca se obtiene restando 100% menos el contenido de humedad que contiene una muestra ( $100\% - \% \text{Humedad}$ ).

### **1.8.9. Procedimiento Determinación Proteína Cruda – Método Kjeldahl**

Se determina el contenido de nitrógeno de una muestra y este valor se multiplica por el factor de 6.25 que es el factor de conversión de nitrógeno a proteína.

## **1.9. Fuentes de Información**

### **1.9.1. Localidad**

El estudio se realizó en el Galpón Experimental de Cerdos de la empresa Pronaca ubicado en el Km. 75 de la vía Santo Domingo – Quevedo. Los análisis químicos y de energía se realizaron en el laboratorio bromatológico de la misma empresa ubicado en la dirección mencionada.

### **1.9.2. Duración**

El estudio tuvo una duración de 150 días (90 días de trabajo de campo y 60 días de trabajo de laboratorio y tabulación de datos).

## **1.10 Tratamiento y Análisis de Datos**

### **1.10.1. Factores en Estudio**

**Niveles de Glicerol-** se consideraron 3 niveles de Glicerol:

**G0:** 0% (Basal)

**G1:** 7.5%

**G2:** 15%

**Períodos de Evaluación-** se consideraron 2 períodos de evaluación:

**E1:** 116 días de edad

**E2:** 158 días de edad

### 1.10.2. Tratamientos

Los tratamientos empleados fueron los siguientes:

**Tabla 1.8. Tratamientos del Estudio**

<b>Tratamiento</b>	<b>Nomenclatura</b>	<b>Descripción</b>
<b>T1</b>	0% - 116 d	Glicerol 0%, Evaluación 116 días
<b>T2</b>	0% - 158 d	Glicerol 0%, Evaluación 158 días
<b>T3</b>	7.5% - 116 d	Glicerol 7.5%, Evaluación 116 días
<b>T4</b>	7.5% - 158 d	Glicerol 7.5%, Evaluación 158 días
<b>T5</b>	15% - 116 d	Glicerol 15%, Evaluación 116 días
<b>T6</b>	15% - 158 d	Glicerol 15%, Evaluación 158 días

Fuente y Elaboración: El Autor

### 1.10.3. Diseño Experimental

Se empleó un diseño completamente al azar (DCA) en arreglo factorial 3 x 2 con cuatro repeticiones.

### 1.10.4. Esquema del Análisis de Variancia

**Tabla 1.9. Esquema del Análisis de Variancia**

<b>Fuente de Variación</b>	<b>Grados de Libertad</b>
Total	23
Tratamientos	(5)
Niveles de Glicerol (G)	(2)
Glicerol Lineal	1
Glicerol Cuadrático	1
Período de Evaluación (E)	1
G x E	2
Error	18

Fuente y Elaboración: El Autor

### 1.10.5. Análisis de Datos

Se empleó la prueba de Duncan al 5% para tratamientos, niveles de glicerol, períodos de evaluación y metodología (recolección total vs 2 métodos de cenizas insolubles en ácido).

Se determinó la regresión y correlación entre los niveles de glicerol con las diferentes variables en estudio dentro de cada periodo de evaluación.

El análisis estadístico se realizó empleando el programa estadístico InfoStat.

### 1.10.6. Variables Determinadas

Las variables determinadas para cada nivel de glicerol y período de evaluación fueron las siguientes:

**Tabla 1.10. Variables Determinadas**

	<b>Variable</b>	<b>Unidad</b>	<b>Período Evaluación</b>
<b>1</b>	Digestibilidad Energía (Determinado por método de recolección total)	%	116 y 158 días de edad
<b>2</b>	Digestibilidad Energía (Determinado por método del indicador – ceniza insoluble en ácido) <b>2 métodos</b>	%	116 y 158 días de edad
<b>3</b>	Energía Digestible (Determinado por método de recolección total)	kcal/kg	116 y 158 días de edad
<b>4</b>	Energía Digestible (Determinado por método del indicador – ceniza insoluble en ácido) <b>2 métodos</b>	kcal/kg	116 y 158 días de edad
<b>5</b>	Metabolicidad Energía (Determinado por método de recolección total)	%	116 y 158 días de edad
<b>6</b>	Energía Metabolizable (Determinado por método de recolección total)	kcal/kg	116 y 158 días de edad
<b>7</b>	Energía Metabolizable (Aplicando el factor 0.96 a la variable 3)	kcal/kg	116 y 158 días de edad
<b>8</b>	Relación Energía Metabolizable / Energía Digestible	Relación	116 y 158 días de edad
<b>9</b>	Digestibilidad Materia Seca	%	116 y 158 días de edad
<b>10</b>	Digestibilidad Proteína	%	116 y 158 días de edad
<b>11</b>	Ganancia Diaria de Peso (GDP)	grs/día	116 y 158 días de edad



<b>12</b>	Conversión Alimenticia	kgs/kgs	<i>116 y 158 días de edad</i>
<b>13</b>	Conversión Energía Digestible	kcal/kg GDP	<i>116 y 158 días de edad</i>
<b>14</b>	Conversión Energía Metabolizable	kcal/kg GDP	<i>116 y 158 días de edad</i>
<b>15</b>	Grasa Dorsal	mm	<i>Faenamiento</i>

---

Fuente y Elaboración: El Autor

**Se compararon los resultados entre los valores obtenidos por el método de recolección total y los métodos del indicador (ceniza insoluble en ácido).**

## CAPÍTULO II

### 2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 2.1. Coeficientes de Digestibilidad de Energía

##### **2.1.1. Método Recolección Total (RT)**

Los coeficientes de digestibilidad de energía obtenidos bajo el método de recolección total (RT) no registran diferencias entre los distintos tratamientos evaluados por lo que ni los niveles de glicerol evaluados ni las edades a las cuales se suministró el glicerol afectaron la digestibilidad de energía con respecto al control.

Al comparar la digestibilidad de energía bajo las dos edades de suministro (116 días y 158 días) a un mismo nivel de glicerol se registra que no hay diferencia en 7.5% ni en 15% de inclusión.

Esto a lo contrario de lo reportado por Zijlstra y colaboradores (2008) que la digestibilidad de energía fue 1.62 unidades porcentuales mayor en lechones alimentados con 8% de glicerol en comparación con la registrada en lechones que no recibieron glicerol. En el trabajo de estos autores se indica que el glicerol es la base de los triglicéridos y está involucrado en la síntesis de fosfolípidos en tejido hepático y adiposo. En el intestino delgado, grasas ingeridas son desdobladas en tres compuestos: dos ácidos grasos y un monoglicérido seguido por absorción. En el hígado, el monoglicérido es desdoblado en glicerol y el tercer ácido graso. Glicerol puede ser convertido a glucosa vía gluconeogénesis u oxidado para energía vía glicólisis y el ciclo del ácido cítrico. Por ende, el glicerol provee energía que puede beneficiar a lechones destetados, como en este estudio, que generalmente están en un estado de deficiencia energética debido al limitado apetito.

### **2.1.2. Método de Cenizas Insolubles en Ácido (CIA) # 1**

Con respecto a los coeficientes de digestibilidad de energía obtenidos bajo el método de cenizas insolubles en ácido (CIA) # 1 se registran tres rangos de significación, en el primer rango, la mayor digestibilidad con el nivel de 0% a 116 días y el nivel de 15% a 158 días con 87.97% y 89.03%, respectivamente. La digestibilidad menor (último rango) se registra con el nivel 7.5% a 116 días con 82.28%.

Al combinar las edades, se registra la mayor digestibilidad con el nivel de 15% (88.15%).

Al comparar la digestibilidad bajo las dos edades de suministro (116 días y 158 días) a un mismo nivel de glicerol se registra que hay una mayor digestibilidad tanto en 7.5% como en 15% de inclusión a los 158 días de edad (con 7.5% a 116 días fue de 82.28% y a 158 días fue de 87.15% y con 15% a 116 días fue de 87.26% y a 158 días fue de 89.03%).

### **2.1.3. Método de Cenizas Insolubles en Ácido (CIA) # 2**

Con respecto a los coeficientes de digestibilidad de energía obtenidos bajo el método de cenizas insolubles en ácido (CIA) # 2 se registran tres rangos de significación, en el primer rango, la mayor digestibilidad con el nivel de 0% a 116 días con 86.80%. La digestibilidad menor (último rango) se registra con el nivel 0% a 158 días y 7.5% a 116 días con 81.30% y 80.44%, respectivamente.

Al unificar las dos edades, la menor digestibilidad se registra con el nivel de 7.5% de glicerol (82.50%).

Al comparar la digestibilidad bajo las dos edades de suministro (116 días y 158 días) a un mismo nivel de glicerol se registra que hay una mayor digestibilidad en 7.5% de inclusión a los 158 días de edad (con 7.5% a 116 días fue de 80.44% y a 158 días fue de 84.55%), con 15% no hay diferencia estadística entre las dos edades pero numéricamente es mayor a 158 días.

**Tabla 2.1. Coeficientes de Digestibilidad de Energía por Tratamiento**

Parámetros	0% - 116 d	0% - 158 d	7.5% - 116 d	7.5% - 158 d	15% - 116 d	15% - 158 d	Valor p
Coeficiente Digestibilidad Energía - Método RT (%)	89.44	88.17	88.93	89.82	89.86	90.13	0.433
Coeficiente Digestibilidad Energía - Método CIA 1 (%)	87.97 c	85.36 b	82.28 a	87.15 bc	87.26 bc	89.03 c	0.0001
Coeficiente Digestibilidad Energía - Método CIA 2 (%)	86.80 c	81.30 a	80.44 a	84.55 b	84.49 b	85.54 bc	<0.0001

*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ )*

Fuente y Elaboración: El Autor

**Tabla 2.2. Coeficientes de Digestibilidad de Energía por Nivel de Glicerol**

Parámetros	Nivel Glicerol			Valor p
	0%	7.5%	15%	
Coeficiente Digestibilidad Energía - Método RT (%)	88.81	89.38	90.00	0.3852
Coeficiente Digestibilidad Energía - Método CIA 1 (%)	86.66 b	84.71 a	88.15 c	0.0003
Coeficiente Digestibilidad Energía - Método CIA 2 (%)	84.05 b	82.50 a	85.01 b	0.0043

*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ )*

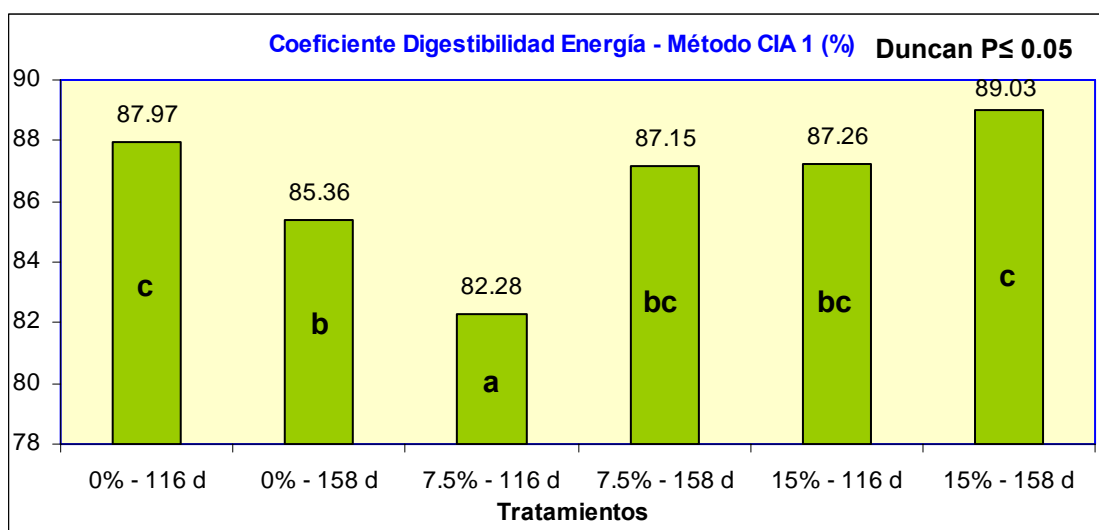
Fuente y Elaboración: El Autor

**Tabla 2.3. Coeficientes de Digestibilidad de Energía por Período (Edad)**

Parámetros	7.50%			15%		
	116	158	Valor p	116	158	Valor p
Coeficiente Digestibilidad Energía - Método RT (%)	88.93	89.82	0.5264	89.86	90.13	0.7872
Coeficiente Digestibilidad Energía - Método CIA 1 (%)	82.28 a	87.15 b	0.0078	87.26 a	89.03 b	0.0396
Coeficiente Digestibilidad Energía - Método CIA 2 (%)	80.44 a	84.55 b	0.0126	84.49	85.54	0.1583

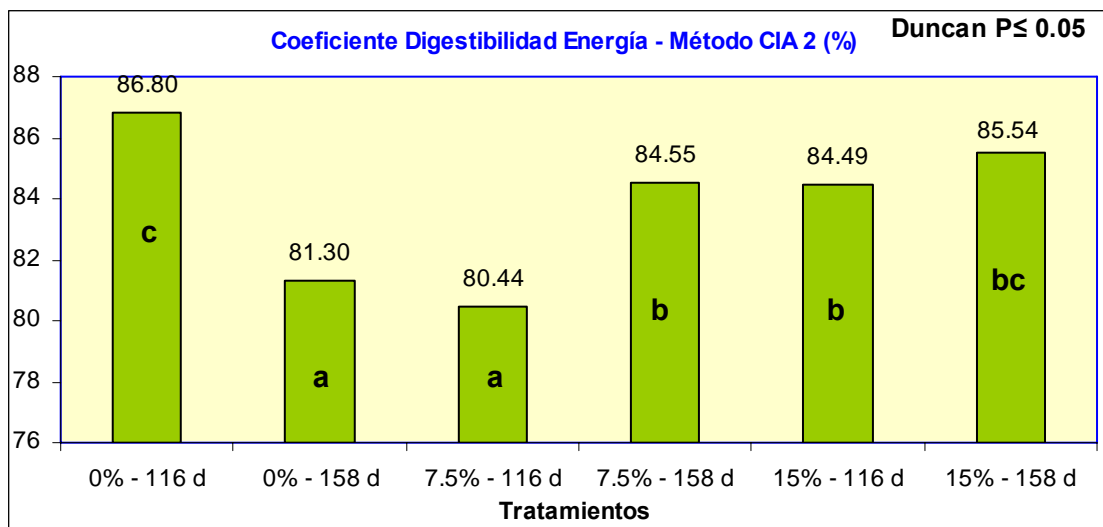
*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ )*

Fuente y Elaboración: El Autor



**Figura 2.1. Coeficientes de Digestibilidad de Energía – Método CIA # 1**

Fuente y Elaboración: El Autor



**Figura 2.2. Coeficientes de Digestibilidad de Energía – Método CIA # 2**

Fuente y Elaboración: El Autor

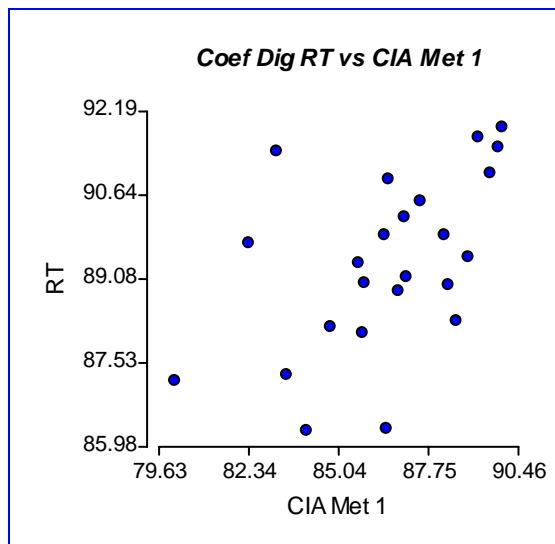
#### **2.1.4. Correlación entre Coeficientes de Digestibilidad de Energía bajo los Métodos de RT, CIA # 1 y CIA # 2**

La correlación del coeficiente de digestibilidad de energía determinado bajo el método de recolección total (RT) y el método de cenizas insoluble en ácido (CIA) # 1 fue de 0.52 mientras que entre RT y CIA # 2 fue de 0.50. La correlación entre CIA # 1 y CIA # 2 fue de 0.90.

De 45 estudios donde el método de CIA fue comparado contra el método de recolección total para determinar digestibilidad en alimentos en distintas especies, 26 demostraron resultados similares, en 9 subestimación por el método de CIA y 10 sobreestimación. El error analítico podría ser la causa principal de falla cuando se usa CIA como marcador, especialmente con alimentos con bajo contenido natural de CIA (Sales, 2003).

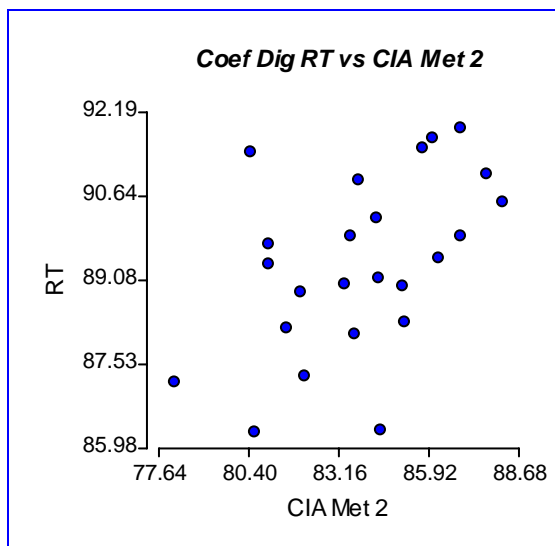
Según Ly y colaboradores (2002), el uso de CIA como marcador indirecto para estimar la digestibilidad es igualmente efectivo para evaluación nutricional de dietas en cerdos jóvenes cuando se compara con el método de recolección total (directo).

Según Van Keulen y Young (1977), el método HCl 2N fue más simple y más conveniente que el método de HCl 4N y el método HCl concentrado.



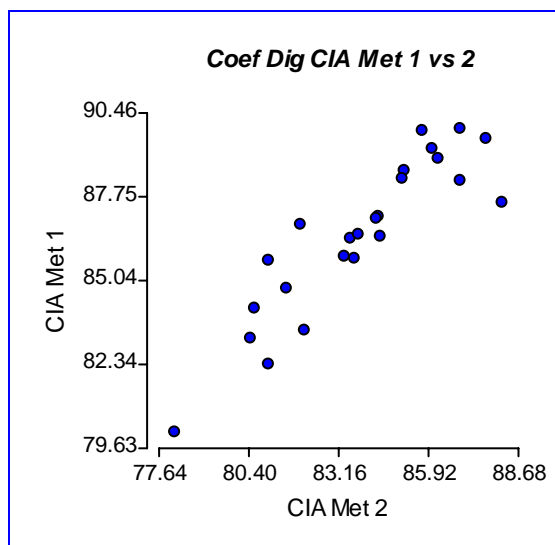
**Figura 2.3. Correlación Digestibilidad Energía entre el Método de Recolección Total y el Método CIA # 1**

Fuente y Elaboración: El Autor



**Figura 2.4. Correlación Digestibilidad Energía entre el Método de Recolección Total y el Método CIA # 2**

Fuente y Elaboración: El Autor



**Figura 2.5. Correlación Digestibilidad Energía entre el Método CIA # 1 y el Método CIA # 2**

Fuente y Elaboración: El Autor

## **2.2. Energía Digestible (ED)**

### ***2.2.1. Método Recolección Total (RT)***

En los promedios de energía digestible bajo el método de recolección total (RT) se detectaron dos rangos de significación, ubicándose en el primer rango el nivel de 0% a 116 días y el nivel de 15% a 158 días con 4016.83 kcal/kg y 4018.1 kcal/kg, respectivamente. En el último lugar del segundo rango se ubicó el nivel de 0% a 158 días con 3680.56 kcal/kg.

Al combinar las edades, no se registran diferencias estadísticas en energía digestible entre niveles de glicerol.

Al comparar la energía digestible bajo las dos edades de suministro (116 días y 158 días) a un mismo nivel de glicerol se registra que no hay diferencia en 7.5% ni en 15% de inclusión.



### **2.2.2. Método de Cenizas Insolubles en Ácido (CIA) # 1**

En los promedios de energía digestible bajo el método de CIA # 1 se detectaron tres rangos de significación, ubicándose en el primer rango el nivel de 0% a 116 días y el nivel de 15% a 158 días con 3950.15 kcal/kg y 3968.36 kcal/kg, respectivamente. En el último lugar del tercer rango se ubicó el nivel de 0% a 158 días con 3563.21 kcal/kg.

Al combinar las edades, se registra el mayor valor de energía digestible con 15% de glicerol con 3865 kcal/kg y el menor con 7.5% de glicerol con 3622.5 kcal/kg.

Al comparar la energía digestible bajo las dos edades de suministro (116 días y 158 días) a un mismo nivel de glicerol se registra que hay una mayor energía en 15% de inclusión a los 158 días de edad (con 15% a 116 días fue de 3761.63 kcal/kg y a 158 días fue de 3968.36 kcal/kg), con 7.5% no hay diferencia estadística entre las dos edades pero numéricamente es mayor a 158 días.

Los resultados obtenidos por los dos métodos CIA son más bajos que los obtenidos bajo el método de recolección total como se puede apreciar en la tabla 2.4.

### **2.2.3. Método de Cenizas Insolubles en Ácido (CIA) # 2**

En los promedios de energía digestible bajo el método de CIA # 2 se detectaron tres rangos de significación, ubicándose en el primer rango el nivel de 0% a 116 días y el nivel de 15% a 158 días con 3897.96 kcal/kg y 3812.68 kcal/kg, respectivamente. En el último lugar del tercer rango se ubicó el nivel de 0% a 158 días con 3393.82 kcal/kg.

Al combinar las edades, se registra el menor valor de energía digestible con 7.5% de glicerol con 3528.05 kcal/kg.

Al comparar la energía digestible bajo las dos edades de suministro (116 días y 158 días) a un mismo nivel de glicerol se registra que hay una mayor energía en 15% de inclusión a los 158 días de edad (con 15% a 116 días fue de 3642.14

kcal/kg y a 158 días fue de 3812.68 kcal/kg), con 7.5% no hay diferencia estadística entre las dos edades pero numéricamente es mayor a 158 días.

Los resultados obtenidos por los dos métodos CIA son más bajos que los obtenidos bajo el método de recolección total como se puede apreciar en la tabla 2.4.

**Tabla 2.4. Energía Digestible por Tratamiento**

Parámetros	0% - 116 d	0% - 158 d	7.5% - 116 d	7.5% - 158 d	15% - 116 d	15% - 158 d	Valor p
ED Alimento - BS - RT (kcal/kg)	4016.83 b	3680.56 a	3876.15 ab	3772.39 a	3873.91 ab	4018.1 b	0.0049
ED Alimento - BS - CIA 1 (kcal/kg)	3950.15 c	3563.21 a	3584.73 a	3660.26 ab	3761.63 b	3968.36 c	<0.0001
ED Alimento - BS - CIA 2 (kcal/kg)	3897.96 c	3393.82 a	3504.94 ab	3551.16 b	3642.14 b	3812.68 c	<0.0001

*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ )*

Fuente y Elaboración: El Autor

**Tabla 2.5. Energía Digestible por Nivel de Glicerol**

Parámetros	Nivel Glicerol			Valor p
	0%	7.5%	15%	
ED Alimento - BS - RT (kcal/kg)	3848.7	3824.3	3946.0	0.1535
ED Alimento - BS - CIA 1 (kcal/kg)	3756.68 b	3622.5 a	3865 c	0.0003
ED Alimento - BS - CIA 2 (kcal/kg)	3645.89 b	3528.05 a	3727.41 b	0.0025

*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ )*

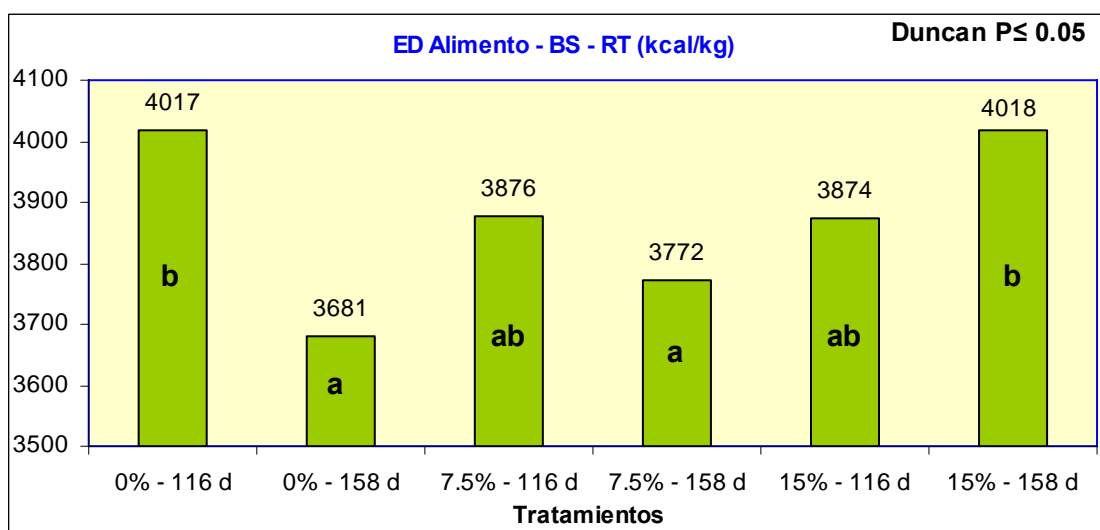
Fuente y Elaboración: El Autor

**Tabla 2.6. Energía Digestible por Período (Edad)**

Parámetros	7.50%			15%		
	116	158	Valor p	116	158	Valor p
ED Alimento - BS - RT (kcal/kg)	3876.15	3772.39	0.3981	3873.91	4018.1	0.1161
ED Alimento - BS - CIA 1 (kcal/kg)	3584.73	3660.26	0.4396	3761.63 a	3968.36 b	0.0098
ED Alimento - BS - CIA 2 (kcal/kg)	3504.94	3551.16	0.6247	3642.14 a	3812.68 b	0.0215

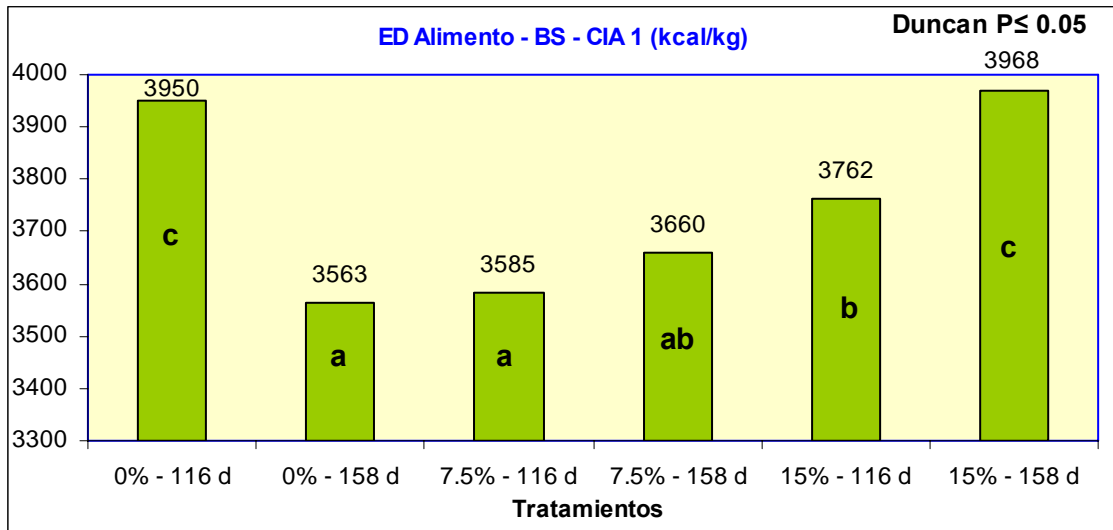
*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ )*

Fuente y Elaboración: El Autor



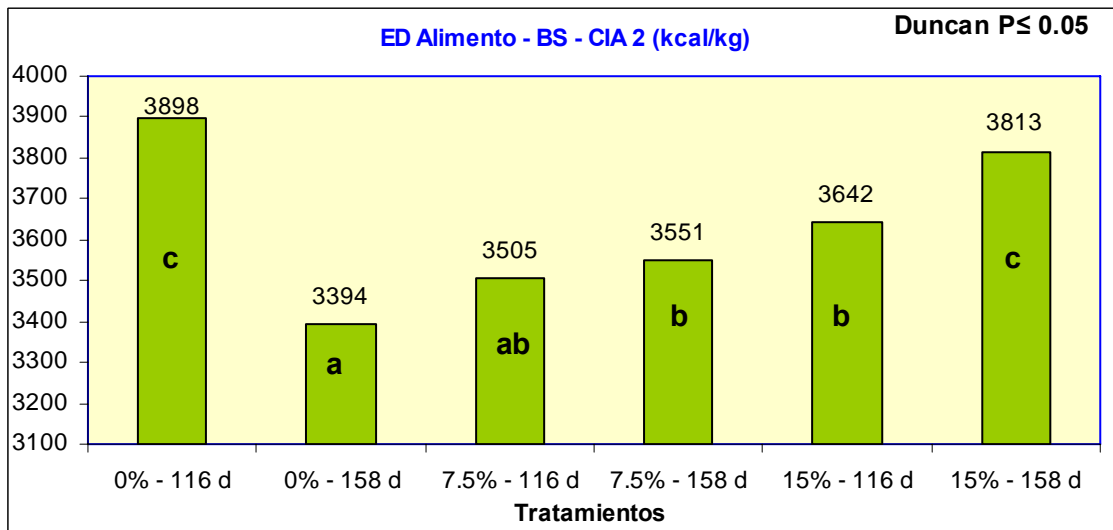
**Figura 2.6. Energía Digestible Bajo el Método de Recolección Total (Base Seca)**

Fuente y Elaboración: El Autor



**Figura 2.7. Energía Digestible Bajo el Método de CIA # 1 (Base Seca)**

Fuente y Elaboración: El Autor



**Figura 2.8. Energía Digestible Bajo el Método de CIA # 2 (Base Seca)**

Fuente y Elaboración: El Autor

**BS: Base Seca**

#### **2.2.4. Correlación entre Energía Digestible bajo los Métodos de RT, CIA # 1 y CIA # 2**

La correlación entre la energía digestible determinada bajo el método de recolección total (RT) y el método de cenizas insoluble en ácido (CIA) # 1 fue de 0.86 mientras que entre RT y CIA # 2 fue de 0.87. La correlación entre CIA # 1 y CIA # 2 fue de 0.97.

Siendo la correlación entre el método de recolección total y los dos métodos de CIA altos (alrededor de 0.86) es válido aplicar cualquiera de los métodos CIA en la determinación de la energía digestible. Esto concuerda con Ly y colaboradores (2002), que indicaron que el uso de CIA como marcador indirecto para estimar la digestibilidad es igualmente efectivo para evaluación nutricional de dietas en cerdos jóvenes cuando se compara con el método de recolección total (directo).

#### **2.3. Coeficientes de Metabolicidad de Energía**

Los coeficientes de metabolicidad de energía no registran diferencias entre los distintos tratamientos evaluados por lo que ni los niveles de glicerol evaluados ni las edades a las cuales se suministró el glicerol afectaron la metabolicidad de energía con respecto al control.

Al comparar la metabolicidad bajo las dos edades de suministro (116 días y 158 días) a un mismo nivel de glicerol se registra que no hay diferencia en 7.5% ni en 15% de inclusión.

Según Lammers y colaboradores (2008a), indican una reducción, en cerdos de 11 kgs de peso, de la capacidad de metabolizar más de 10% de glicerol no refinado, pero en cerdos de mayor peso (edad) no se daría esto, como lo observado en el presente estudio.

**Tabla 2.7. Coeficientes de Metabolicidad de Energía por Tratamiento**

Parámetros	0% - 116 d	0% - 158 d	7.5% - 116 d	7.5% - 158 d	15% - 116 d	15% - 158 d	Valor p
Coefficiente Metabolicidad Energía (%)	86.82	85.52	84.66	86.74	84.82	84.94	0.3847

*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ )*

Fuente y Elaboración: El Autor

**Tabla 2.8. Coeficientes de Metabolicidad de Energía por Nivel de Glicerol**

Parámetros	Nivel Glicerol			Valor p
	0%	7.5%	15%	
Coefficiente Metabolicidad Energía (%)	86.17	85.70	84.88	0.5588

*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ )*

Fuente y Elaboración: El Autor

**Tabla 2.9. Coeficientes de Metabolicidad de Energía por Período (Edad)**

Parámetros	7.50%			15%		
	116	158	Valor p	116	158	Valor p
Coefficiente Metabolicidad Energía (%)	84.66	86.74	0.1153	84.82	84.94	0.9523

*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ )*

Fuente y Elaboración: El Autor

## **2.4. Energía Metabolizable (EM)**

### ***2.4.1. Método Recolección Total (RT)***

En los promedios de energía metabolizable bajo el método de recolección total (RT) se detectaron dos rangos de significación, ubicándose en el primer rango el nivel de 0% a 116 días con 3898.98 kcal/kg. En el último lugar del segundo rango se ubicó el nivel de 0% a 158 días con 3570.04 kcal/kg.

Al combinar las edades, no se registran diferencias estadísticas en energía metabolizable entre niveles de glicerol.

Al comparar la energía metabolizable bajo las dos edades de suministro (116 días y 158 días) a un mismo nivel de glicerol se registra que no hay diferencia en 7.5% ni en 15% de inclusión.

Esto es distinto a lo reportado por, Bartelt y Schneider (2002), citado por Lammers, *et al.*, (2008a), reportaron una reducción del nivel de energía metabolizable del glicerol a medida que se incrementaba el nivel de inclusión en dietas de cerdos y pollos. En cerdos machos de 34 kgs de peso usando un glicerol con 99.9% de pureza reportaron los siguientes niveles de energía metabolizable: 4177, 3436 y 2524 kcal/kg para 5, 10 y 15% de inclusión de glicerol, respectivamente. La diferencia entre los resultados de estos autores y este estudio puede deberse a la diferencia entre los pesos de evaluación (en este estudio fueron 75 kgs – periodo 1 y 117 kgs – periodo 2 en comparación con 34 kgs de peso en el trabajo de estos autores). Los autores indican que más del 97% del glicerol es digerido antes de los ciegos y que la oxidación de glicerol a dióxido de carbono libera 4320 kcal/kg. Además, concluyen que el glicerol es una excelente fuente de energía para cerdos en crecimiento.

#### **2.4.2. Método Cálculo por Factor (Cal)**

En los promedios de energía metabolizable bajo el método de cálculo bajo un factor ( $ED \cdot 0.96 = EM$ ) se detectaron dos rangos de significación, ubicándose en el primer rango el nivel de 0% a 116 días y el nivel de 15% a 158 días con 3856.15 kcal/kg y 3857.38 kcal/kg, respectivamente. En el último lugar del segundo rango se ubicó el nivel de 0% a 158 días con 3533.34 kcal/kg.

Al combinar las edades, no se registran diferencias estadísticas en energía metabolizable entre niveles de glicerol. Al comparar la energía metabolizable bajo las dos edades de suministro (116 días y 158 días) a un mismo nivel de glicerol se registra que no hay diferencia en 7.5% ni en 15% de inclusión.

**Tabla 2.10. Energía Metabolizable por Tratamiento**

Parámetros	0% - 116 d	0% - 158 d	7.5% - 116 d	7.5% - 158 d	15% - 116 d	15% - 158 d	Valor p
EM Alimento - BS - RT (kcal/kg)	3898.98 b	3570.04 a	3689.98 ab	3642.91 a	3656.55 a	3785.63 ab	0.0140
EM Alimento - BS - Cal (kcal/kg)	3856.15 b	3533.34 a	3721.10 ab	3621.50 a	3718.96 ab	3857.38 b	0.0049

*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ )*

Fuente y Elaboración: El Autor

**Tabla 2.11. Energía Metabolizable por Nivel de Glicerol**

Parámetros	Nivel Glicerol			Valor p
	0%	7.5%	15%	
EM Alimento - BS - RT (kcal/kg)	3734.51	3666.44	3721.09	0.5964
EM Alimento - BS - Cal (kcal/kg)	3694.75	3671.3	3788.17	0.1535

*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ )*

Fuente y Elaboración: El Autor

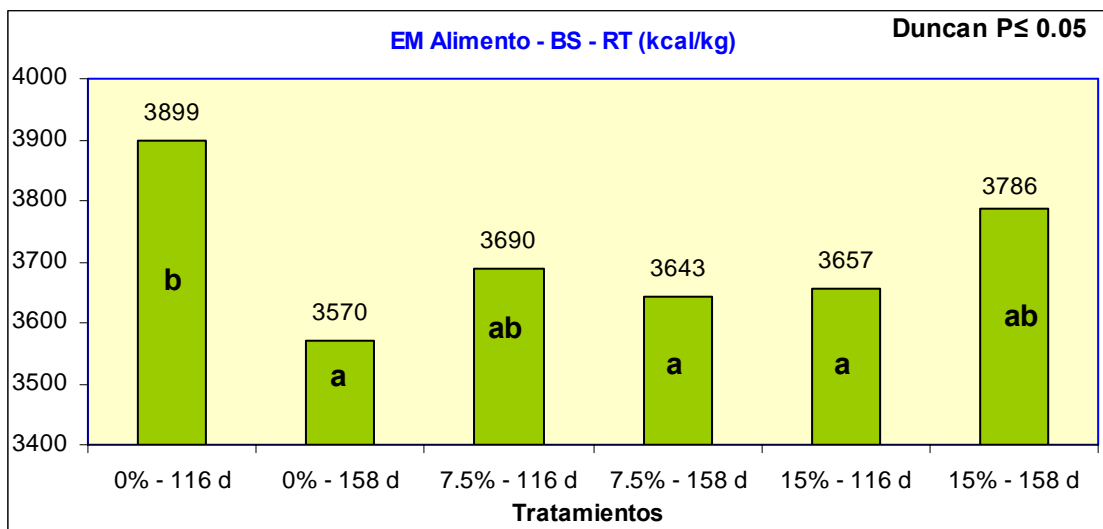
**Tabla 2.12. Energía Metabolizable por Período (Edad)**

Parámetros	7.50%			15%		
	116	158	Valor p	116	158	Valor p
EM Alimento - BS - RT (kcal/kg)	3689.98	3642.91	0.6800	3656.55	3785.63	0.2126
EM Alimento - BS - Cal (kcal/kg)	3721.10	3621.50	0.3981	3718.96	3857.38	0.1161

*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ )*

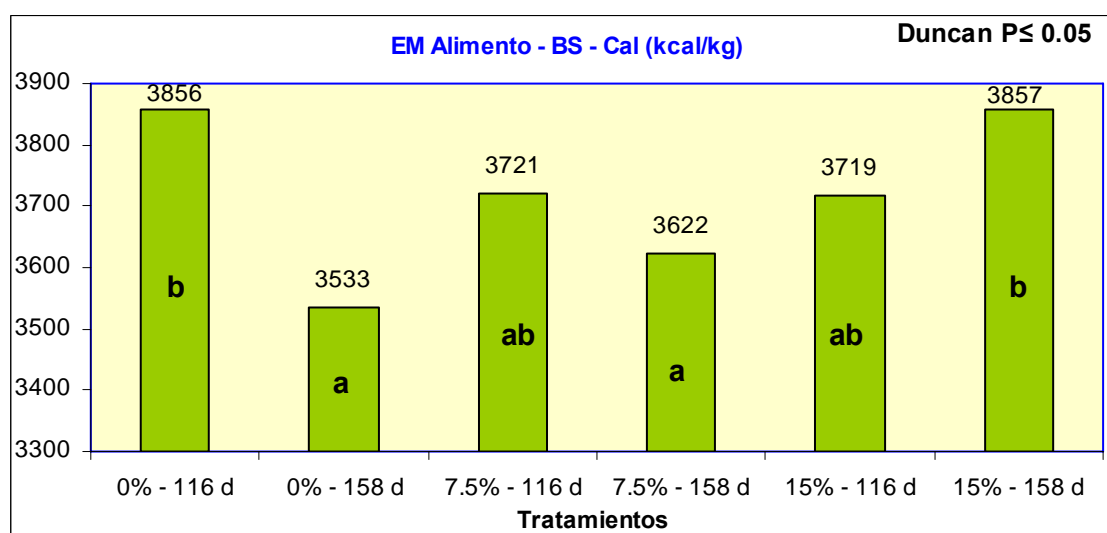
Fuente y Elaboración: El Autor





**Figura 2.9. Energía Metabolizable Bajo el Método de Recolección Total (BS)**

Fuente y Elaboración: El Autor



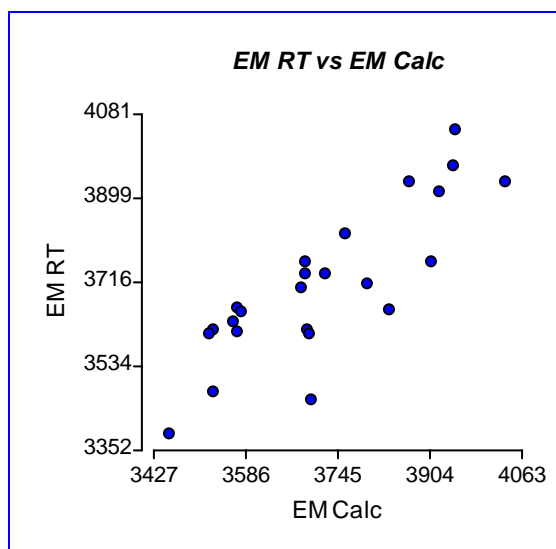
**Figura 2.10. Energía Metabolizable Bajo el Método de Cálculo por un Factor (Base Seca)**

Fuente y Elaboración: El Autor

**BS: Base Seca**

### 2.4.3. Correlación entre Energía Metabolizable bajo los Métodos de RT y Calculado por un Factor ( $ED \cdot 0.96 = EM$ )

La correlación entre la energía metabolizable determinada bajo el método de recolección total (RT) y el método de cálculo por un factor fue de 0.83.



**Figura 2.11. Correlación EM entre el Método de RT y el Método de Cálculo por un Factor**

Fuente y Elaboración: El Autor

### 2.4.4. Prueba T (Muestras Apareadas)

El resultado de la prueba T (muestras apareadas) comparando la energía metabolizable bajo el método de RT y el de cálculo por un factor determinó una probabilidad de 0.58, siendo que no hay diferencia estadística entre estas variables.

## 2.5. Relación EM/ED

La relación EM/ED (energía metabolizable / energía digestible) se obtiene dividiendo la EM en alimento de la ED en alimento. En ésta no se registra diferencia entre los distintos tratamientos evaluados por lo que la combinación de

niveles de glicerol evaluados y edades a las cuales se suministró el glicerol no afectaron esta relación.

Al combinar las edades, se registran diferencias estadísticas en la relación EM/ED entre niveles de glicerol, siendo la mayor con 0% (0.97), luego con 7.5% (0.96) y la menor con 15% (0.94).

Al comparar la relación EM/ED bajo las dos edades de suministro (116 días y 158 días) a un mismo nivel de glicerol se registra que no hay diferencia en 7.5% ni en 15% de inclusión.

0.96 fue la relación entre EM/ED para glicerol determinada por Lammers *et al.* (2008a), esta relación según los autores indica que el glicerol no refinado empleado en su estudio fue bien utilizado como fuente energética. Lo anterior, de acuerdo con Bartelt y Schneider (2002), citado por Lammers, *et al.*, (2008a), que indican que más del 97% del glicerol es digerido antes de los ciegos.

**Tabla 2.13. Relación EM/ED por Tratamiento**

Parámetros	0% - 116 d	0% - 158 d	7.5% - 116 d	7.5% - 158 d	15% - 116 d	15% - 158 d	Valor p
Relación EM/ED	0.97	0.97	0.95	0.97	0.95	0.94	0.7024

*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ )*

Fuente y Elaboración: El Autor

**Tabla 2.14. Relación EM/ED por Nivel de Glicerol**

Parámetros	Nivel Glicerol			Valor p
	0%	7.5%	15%	
Relación EM/ED	0.97 b	0.96 ab	0.94 a	0.0444

*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ )*

Fuente y Elaboración: El Autor

**Tabla 2.15. Relación EM/ED por Período (Edad)**

Parámetros	7.50%			15%		
	116	158	Valor p	116	158	Valor p
Relación EM/ED	0.95	0.97	0.4400	0.95	0.94	0.9044

*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ )*

Fuente y Elaboración: El Autor

## **2.6. Coeficientes de Digestibilidad de Materia Seca (MS)**

Los coeficientes de digestibilidad de materia seca (MS) no registran diferencias entre los distintos tratamientos evaluados por lo que ni los niveles de glicerol evaluados ni las edades a las cuales se suministró el glicerol afectaron la digestibilidad de materia seca con respecto al control.

Al comparar la digestibilidad de materia seca bajo las dos edades de suministro (116 días y 158 días) a un mismo nivel de glicerol se registra que no hay diferencia en 7.5% ni en 15% de inclusión.

Estos resultados a diferencia de lo reportado por McCann (2009), que registró un efecto cuadrático significativo de la inclusión de glicerol sobre digestibilidad de materia seca, proteína cruda y digestibilidad de energía y contenido de energía digestible en la dieta. La inclusión de glicerol de 4% y 8% mejoró la digestibilidad de materia seca, proteína cruda y energía digestible y contenido de energía

digestible con respecto a la dieta control pero no hubo diferencia en la utilización de nutrientes entre las dietas con 0% y 12% de inclusión de glicerol.

### **2.7. Coeficientes de Digestibilidad de Proteína**

Los coeficientes de digestibilidad de proteína no registran diferencias entre los distintos tratamientos evaluados por lo que ni los niveles de glicerol evaluados ni las edades a las cuales se suministró el glicerol afectaron la digestibilidad de proteína con respecto al control.

Al comparar la digestibilidad de proteína bajo las dos edades de suministro (116 días y 158 días) a un mismo nivel de glicerol se registra que no hay diferencia en 7.5% ni en 15% de inclusión.

Según McCann (2009), se registró un efecto cuadrático significativo de la inclusión de glicerol sobre digestibilidad de materia seca, proteína cruda y digestibilidad de energía y contenido de energía digestible en la dieta. La inclusión de glicerol de 4% y 8% mejoró la digestibilidad de materia seca, proteína cruda y energía digestible y contenido de energía digestible con respecto a la dieta control pero no hubo diferencia en la utilización de nutrientes entre las dietas con 0% y 12% de inclusión de glicerol. De acuerdo a la regresión cuadrática para el contenido de energía digestible, la inclusión óptima de glicerol fue 7.4%. Estos resultados indican que la inclusión de glicerol de 4% o 8% mejoran la utilización de nutrientes pero la inclusión de 12% no. El efecto cuadrático puede deberse a una saturación de la glicerol kinasa por el glicerol a un nivel de inclusión mayor, por ende previniendo al glicerol ser metabolizado y representando un costo energético el excretar el exceso de glicerol.

Con el uso de glicerol en cerdos se mejoró la digestibilidad de la fibra que podría deberse a una mejor fermentación bacteriana en el tracto intestinal. La permeabilidad del glicerol a través de la membrana intestinal es relativamente baja. Es posible que el glicerol llegando al colon estimule el desarrollo de microorganismos degradadores de fibra (Hanczakowska, 2010).

**Tabla 2.16. Coeficientes de Digestibilidad de Materia Seca y Proteína por Tratamiento**

Parámetros	0% - 116 d	0% - 158 d	7.5% - 116 d	7.5% - 158 d	15% - 116 d	15% - 158 d	Valor p
Coeficiente Digestibilidad MS - Método RT (%)	89.11	88.75	89.14	90.31	90.06	90.19	0.6159
Coeficiente Digest Proteína - Método RT (%)	84.77	86.35	86.42	87.27	85.34	85.87	0.9601

*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ )*

Fuente y Elaboración: El Autor

**Tabla 2.17. Coeficientes de Digestibilidad de Materia Seca y Proteína por Nivel de Glicerol**

Parámetros	Nivel Glicerol			Valor p
	0%	7.5%	15%	
Coeficiente Digestibilidad MS - Método RT (%)	88.93	89.73	90.12	0.3242
Coeficiente Digest Proteína - Método RT (%)	85.56	86.84	85.60	0.7516

*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ )*

Fuente y Elaboración: El Autor

**Tabla 2.18. Coeficientes de Digestibilidad de Materia Seca y Proteína por Período (Edad)**

Parámetros	7.50%			15%		
	116	158	Valor p	116	158	Valor p
Coefficiente Digestibilidad MS - Método RT (%)	89.14	90.31	0.3620	90.06	90.19	0.8909
Coefficiente Digest Proteína - Método RT (%)	86.42	87.27	0.7819	85.34	85.87	0.7958

*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ )*

Fuente y Elaboración: El Autor

## **2.8. Respuesta Animal**

**Tabla 2.19. Respuesta Animal por Nivel de Glicerol**

Parámetros	Nivel Glicerol			
	0%	7.5%	15%	Valor p
Ganancia Diaria de Peso (grs/día)	1035	1050	951.4	0.285
Conversión Alimenticia - BS (kgs/kgs)	2.60	2.51	2.82	0.268
Conversión ED - BS (kcal/kg GDP)	9952.19	9593.83	10949.70	0.114
Conversión EM - BS (kcal/kg GDP)	9659.59	9201.91	10359.90	0.200

*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ )*

Parámetros	0% - 116 d	0% - 158 d	7.5% - 116 d	7.5% - 158 d	15% - 116 d	15% - 158 d
Consumo Alimento - Base Seca (kg/día)	2.63	2.65	2.61	2.64	2.59	2.63

Fuente y Elaboración: El Autor

El consumo de alimento fue fijado a un nivel prácticamente constante durante el periodo de recolección para evitar que influya en la digestibilidad.

### **2.8.1. Ganancia Diaria de Peso**

No se registró diferencia en ganancia diaria de peso entre los niveles de glicerol evaluados.

Según McCann (2009), a 12% de inclusión se registra un efecto negativo en ganancia diaria de peso. La diferencia entre los resultados de este autor y este estudio puede deberse a la diferencia entre los pesos de evaluación (en este estudio fueron 75 kgs – periodo 1 y 117 kgs – periodo 2 en comparación con 45 kgs de peso en el trabajo de estos autores).

A pesar que no se registró diferencia estadística en ganancia diaria de peso, numéricamente, se obtiene la mayor ganancia diaria de peso con el nivel de 7.5% de glicerol; el nivel de 0% de glicerol con valores intermedios en esta variable; y la menor ganancia diaria de peso con el nivel de 15% de glicerol.

### **2.8.2. Conversión Alimenticia**

No se registró diferencia en conversión alimenticia entre los niveles de glicerol evaluados.

A pesar que no se registró diferencia estadística en conversión alimenticia, numéricamente, se obtiene la menor conversión alimenticia con el nivel de 7.5% de glicerol; el nivel de 0% de glicerol con valores intermedios en esta variable; y la mayor conversión alimenticia con el nivel de 15% de glicerol.

### **2.8.3. Conversión Energía Digestible (ED)**

No se registró diferencia en conversión ED entre los niveles de glicerol evaluados.



A pesar que no se registró diferencia estadística en conversión ED, numéricamente, se obtiene la menor conversión ED con el nivel de 7.5% de glicerol; el nivel de 0% de glicerol con valores intermedios en esta variable; y la mayor conversión ED con el nivel de 15% de glicerol.

#### **2.8.4. Conversión Energía Metabolizable (EM)**

No se registró diferencia en conversión EM entre los niveles de glicerol evaluados.

A pesar que no se registró diferencia estadística en conversión EM, numéricamente, se obtiene la menor conversión EM con el nivel de 7.5% de glicerol; el nivel de 0% de glicerol con valores intermedios en esta variable; y la mayor conversión EM con el nivel de 15% de glicerol.

#### **2.8.5. Discusión Sobre Parámetros de Respuesta Animal**

A pesar que no se registró diferencia estadística en los parámetros de respuesta animal (ganancia diaria de peso, conversión alimenticia, conversión ED y conversión EM), numéricamente, se obtiene la mayor ganancia diaria de peso y menor conversión (alimenticia, ED y EM) con el nivel de 7.5% de glicerol; el nivel de 0% de glicerol con valores intermedios en estas variables; y la menor ganancia diaria de peso y mayor conversión (alimenticia, ED y EM) con el nivel de 15% de glicerol.

Empleando glicerol en cerdos, Lammers *et al.* (2008b) reportaron que la tasa de crecimiento, consumo de alimento ni eficiencia alimenticia fueron afectados por niveles de glicerol de hasta 10% en cerdos en crecimiento. En base a esto concluyen, que hasta 10% de glicerol puede ser incluido en dietas de cerdos en crecimiento y acabado, sin afectar respuesta zootécnica, composición de la carcasa, calidad de carne o score de lesiones en tejidos.

McCann (2009) reporta que la inclusión del glicerol redujo la ganancia de peso y hubo una tendencia a una conversión alimenticia menos eficiente a medida que la

inclusión de glicerol aumentó. Según este autor, a 12% de inclusión se registra un efecto negativo en ganancia de peso.

Según Schieck *et al.* (2010) suministrar glicerol a lo largo del período de crecimiento y engorde a cerdos o por solo 8 semanas antes del faenamiento, con un nivel de 8% de inclusión, no tuvo ningún efecto adverso sobre crecimiento.

Según Zijlstra y colaboradores (2008) el uso de glicerol hasta 8% de inclusión en dietas de lechones recién destetados mejoró la ganancia de peso y aumentó el consumo de alimento (esto con dietas en base de trigo, lo contrario a lo reportado en estudios con dietas en base a maíz que no se registró diferencias en consumo), además no se afectó la conversión alimenticia. La mejora en consumo se lo atribuye a una mejora en la palatabilidad con el uso de glicerol.

#### **2.8.6. Grasa Dorsal**

No se registró diferencia en grasa dorsal entre los niveles de glicerol evaluados. Lo que coincide por lo expresado por Lammers *et al.* (2008b), grasa dorsal a nivel de la 10<sup>ma</sup> costilla, área del lomo, porcentaje de tejido magro libre de grasa, calidad de carne ni tampoco la evaluación sensorial fueron afectados por la inclusión de glicerol.

**Tabla 2.20. Grasa Dorsal por Nivel de Glicerol**

Parámetros	Nivel Glicerol			Valor p
	0%	7.5%	15%	
Grasa Dorsal Faenamiento (mm)	13.25	17.25	16.00	0.4156

*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ )*

Fuente y Elaboración: El Autor

## **2.9. Determinación de Energía Digestible (ED) y Metabolizable (EM) en Glicerol**

Empleando la técnica de regresión lineal se determinó que la energía digestible del glicerol bajo el método de recolección total fue de **2807 kcal/kg**, bajo el método de cenizas insoluble en ácido # 1 fue de **2894 kcal/kg** y bajo el método de cenizas insoluble en ácido # 2 fue de **3020 kcal/kg**. Según Lammers y colaboradores (2008a) el valor de energía digestible obtenido en glicerol crudo (86.95% de concentración) fue de  $3344 \pm 8$  kcal/kg, siendo mayor a lo obtenido en este estudio bajo los distintos métodos. La diferencia puede deberse, a pesar que el contenido de glicerol era similar (87.98% vs 86.95% Lammers), el nivel de metanol en el glicerol de este estudio fue 64 veces mayor (1.81% vs 0.028% Lammers) que influye sobre el aprovechamiento energético del glicerol, ya que se menciona un nivel entre 0.015% (FDA) y 0.5% como nivel máximo permitido (Hann, 2008).

La determinación de la energía metabolizable en glicerol empleando la técnica de regresión lineal fue de **2574 kcal/kg (recolección total)** mientras que empleando el factor 0.96 ( $ED \cdot 0.96 = EM$ ) sería de **2695 kcal/kg**.

En cerdos, Bartelt y Schneider (2002), citado por Kerr *et al.*, (2009) usaron glicerol puro o refinado en dietas conteniendo hasta 15% de glicerol y reportaron un promedio de energía metabolizable (EM) de 3525 kcal/kg. Recientemente, Lammers *et al.* (2008a) reportaron que un glicerol crudo conteniendo 87% glicerol obtenido de una facilidad de biodiesel que emplea aceite de soya como materia prima de origen, resultó con 3207 kcal/kg de energía metabolizable cuando alimentado a cerdos de inicio y de acabado. Un valor que es menor que el valor obtenido por Bartelt y Schneider (2002), citado por Kerr *et al.* (2009) con una base equivalente de glicerol. Estos resultados indican que el nivel de energía del glicerol es similar al del maíz y pasta de soya, pero solo el 40 a 45% del contenido energético de grasas animales o aceites vegetales. Este menor contenido calórico en relación a grasas animales o aceites vegetales se debe probablemente a que

el componente de ácidos grasos se ha retirado del triglicérido (éster de metilo) durante el proceso de producción de biodiesel (Kerr, 2008).

En cambio, el valor de energía metabolizable estimado para un glicerol refinado fue de 3584 kcal/kg de materia seca, esto debido a que el nivel de glicerol del producto refinado es de 97.7% (Mendoza *et al.*, 2010).

Ya que el biodiesel se puede obtener de una variedad de fuentes (soya, canola, maíz, aceites de cocina y grasas animales) la composición del glicerol puede variar por ende el valor energético del glicerol podría variar en función de esto, además podría existir variación dependiendo de la fábrica que lo produce, además de la especie, edad del animal y nivel de inclusión (Kerr, 2008).

Resultados inconsistentes con el uso de glicerol se puede deber a la distinta composición del glicerol crudo, ya que no es un producto estandarizado (Hanczakowska, 2010).

Otra variable que podría afectar la capacidad de uso del glicerol como fuente energética en cerdos es el contenido de metanol. El metanol no es completamente retirado del glicerol durante el proceso de producción de biodiesel.

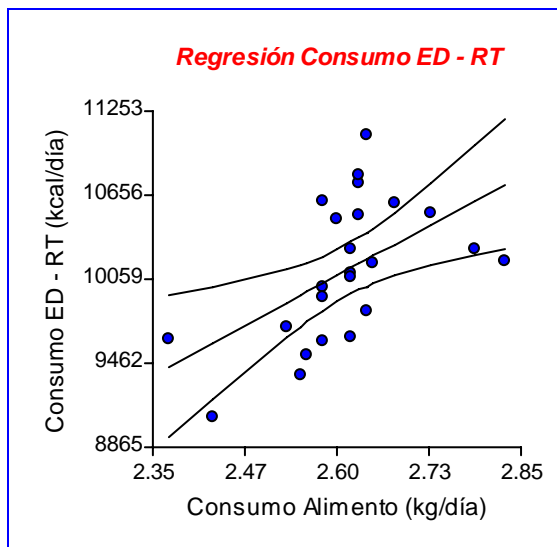
La energía metabolizable del glicerol obtenida en este estudio (2695 kcal/kg método cálculo por factor 0.96) es un 16% menos que la reportada por Lammers *et al.* (2008a) que registró un valor de 3207 kcal/kg. La diferencia puede deberse, a pesar que el contenido de glicerol era similar (87.98% vs 86.95% Lammers), el nivel de metanol en el glicerol de este estudio fue 64 veces mayor (1.81% vs 0.028% Lammers) que influye sobre el aprovechamiento energético del glicerol, ya que se menciona un nivel entre 0.015% (FDA) y 0.5% como nivel máximo permitido (Hann, 2008).

Según los resultados de este estudio, el glicerol tendría el 81% de la energía metabolizable del maíz (2695 kcal/kg de glicerol - método cálculo por factor 0.96

vs 3325 kcal/kg de maíz). Kerr (2008) indica que el nivel energético del glicerol es similar al del maíz (aproximadamente 3325 kcal de energía metabolizable/kg).

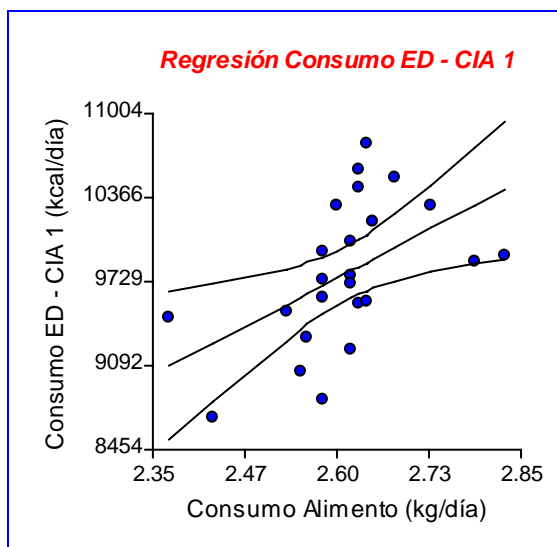
El metanol es un compuesto potencialmente tóxico que no es completamente recuperado del glicerol y puede generar una variedad de síntomas agudos y crónicos. El metabolismo del metanol resulta en una acumulación de formiato, que es el metabolito principal responsable de los efectos tóxicos del metanol (Kerr, 2008). Alteraciones gastrointestinales son uno de los síntomas de exposición crónica al metanol. No está completamente definido cual sería el nivel máximo permisible de metanol en el glicerol (Kerr, 2009). Según se cita en Lammers *et al.* (2008b), una intoxicación aguda con metanol puede dar a una acumulación de ácido fórmico que conlleva a una acidosis metabólica. Intermediarios en el metabolismo de metanol a dióxido de carbono y agua son formaldehído y formiato. También mencionan que consecuencias clínicas de intoxicación con metanol son depresión del sistema nervioso central, vómito, acidosis metabólica severa, ceguera y problemas motores similares a la enfermedad de Parkinson.

También puede influir niveles de otros componentes como cloruro de sodio y ácidos grasos libres, a parte del nivel de metanol, sobre el valor energético al animal, procesamiento de alimento y respuesta animal (Kerr, 2008).



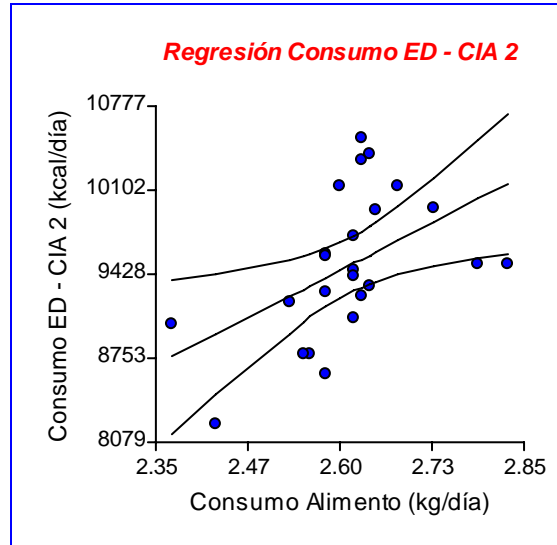
**Figura 2.12. Regresión entre Consumo de Alimento y Consumo de ED (Método de RT)**

Fuente y Elaboración: El Autor



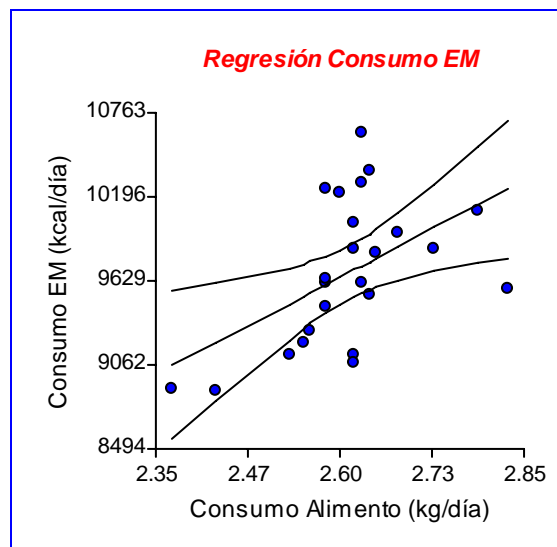
**Figura 2.13. Regresión entre Consumo de Alimento y Consumo de Energía Digestible (Método de CIA # 1)**

Fuente y Elaboración: El Autor



**Figura 2.14. Regresión entre Consumo de Alimento y Consumo de Energía Digestible (Método de CIA # 2)**

Fuente y Elaboración: El Autor



**Figura 2.15. Regresión entre Consumo de Alimento y Consumo de Energía Metabolizable (Método de Recolección Total)**

Fuente y Elaboración: El Autor

## **CAPÍTULO III**

### **3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **3.1. Conclusiones**

Del presente estudio se puede concluir lo siguiente:

- 1) Con respecto al coeficiente de digestibilidad de energía, bajo el método de recolección total (RT), no se registran diferencias entre los distintos tratamientos evaluados por lo que ni los niveles de glicerol evaluados ni las edades a las cuales se suministró el glicerol afectaron la digestibilidad de energía con respecto al control.
- 2) En cambio, con los métodos CIA # 1 y CIA # 2 se registran diferencias del coeficiente de digestibilidad de energía entre los niveles de glicerol y las edades a las cuales se suministró el glicerol, coincidiendo que la mayor digestibilidad se obtiene con 0% de glicerol a los 116 días de edad y la menor con 7.5% de glicerol a los 116 días.
- 3) La correlación del coeficiente de digestibilidad de energía entre el método de RT y CIA # 1 fue de 0.52 y entre RT y CIA # 2 fue de 0.50, en ambos casos siendo bajos. La correlación entre CIA # 1 y CIA # 2 fue de 0.90. Según esto, los métodos de CIA considerados en este trabajo no serían buenos predictores del coeficiente de digestibilidad de energía. El error analítico podría ser la causa principal de falla cuando se usa CIA como marcador, especialmente con alimentos con bajo contenido natural de CIA.
- 4) La energía digestible, bajo el método de recolección total (RT), al combinar las edades, no se registran diferencias estadísticas en energía digestible entre niveles de glicerol. Al comparar la energía digestible bajo las dos edades de suministro (116 días y 158 días) a un mismo nivel de glicerol se registra que no hay diferencia en 7.5% ni en 15% de inclusión.



- 5) En cambio, con los métodos CIA # 1 y CIA # 2 se registran diferencias en energía digestible entre los niveles de glicerol (menor con 7.5% de inclusión de glicerol) y las edades a las cuales se suministró el glicerol (mayor energía a los 158 días de edad).
- 6) La correlación de la energía digestible entre el método de RT y CIA # 1 fue de 0.86 y entre RT y CIA # 2 fue de 0.87, en ambos casos siendo altos. La correlación entre CIA # 1 y CIA # 2 fue de 0.97. Según esto cualquiera de los dos métodos de CIA evaluados podrían emplearse para predecir la energía digestible.
- 7) No hay diferencia del coeficiente de metabolicidad de energía entre niveles de glicerol y edades a las cuales se suministró el glicerol.
- 8) La energía metabolizable, bajo el método de recolección total (RT), al combinar las edades, no se registran diferencias estadísticas entre niveles de glicerol. Al comparar la energía metabolizable bajo las dos edades de suministro (116 días y 158 días) a un mismo nivel de glicerol se registra que no hay diferencia en 7.5% ni en 15% de inclusión.
- 9) Al calcular la energía metabolizable (empleando el factor 0.96 a la energía digestible) y al combinar las edades, no se registran diferencias estadísticas en energía metabolizable entre niveles de glicerol. Al comparar la energía metabolizable bajo las dos edades de suministro (116 días y 158 días) a un mismo nivel de glicerol se registra que no hay diferencia en 7.5% ni en 15% de inclusión.
- 10) La correlación entre la energía metabolizable determinada bajo el método de recolección total (RT) y el método de cálculo por un factor fue de 0.83 ( $P=0.58$ ) por lo que es viable aplicar el factor 0.96 para calcular la energía metabolizable a partir de la energía digestible.

- 11) La relación EM/ED no registra diferencia entre los distintos tratamientos evaluados por lo que la combinación de niveles de glicerol evaluados y edades a las cuales se suministró el glicerol no afectaron esta relación. Al combinar las edades, se registran diferencias estadísticas en la relación EM/ED entre niveles de glicerol, siendo la mayor con 0% (0.97), luego con 7.5% (0.96) y la menor con 15% (0.94). Según esto, es viable usar el factor 0.96 para determinar EM a partir de ED.
- 12) No se registran diferencias entre tratamientos para los coeficientes de digestibilidad de materia seca y proteína, por lo que los ni los niveles de glicerol evaluados ni las edades a las cuales se suministró el glicerol afectaron la digestibilidad de estos parámetros con respecto al control.
- 13) No se registró diferencia estadística en los parámetros de respuesta animal (ganancia diaria de peso, conversión alimenticia, conversión ED y conversión EM), numéricamente, se obtiene la mayor ganancia diaria de peso y menor conversión (alimenticia, ED y EM) con el nivel de 7.5% de glicerol; el nivel de 0% de glicerol con valores intermedios en estas variables; y la menor ganancia diaria de peso y mayor conversión (alimenticia, ED y EM) con el nivel de 15% de glicerol.
- 14) No se registró diferencia en grasa dorsal entre los niveles de glicerol evaluados.
- 15) Empleando la técnica de regresión lineal se determinó que la energía digestible del glicerol bajo el método de recolección total fue de **2807 kcal/kg**, bajo el método de cenizas insoluble en ácido # 1 fue de **2894 kcal/kg** y bajo el método de cenizas insoluble en ácido # 2 fue de **3020 kcal/kg**.
- 16) La determinación de la energía metabolizable en glicerol empleando la técnica de regresión lineal fue de **2574 kcal/kg (recolección total)**

mientras que empleando el factor 0.96 ( $ED \cdot 0.96 = EM$ ) fue de **2695 kcal/kg**.

- 17) La energía metabolizable del glicerol obtenida en este estudio (2695 kcal/kg método cálculo por factor 0.96) es un 16% menos que la reportada por Lammers *et al.* (2008a) que registró un valor de 3207 kcal/kg. La diferencia puede deberse, a pesar que el contenido de glicerol era similar (87.98% vs 86.95% Lammers), el nivel de metanol en el glicerol de este estudio fue 64 veces mayor (1.81% vs 0.028% Lammers) que influye sobre el aprovechamiento energético del glicerol, ya que se menciona un nivel entre 0.015% (FDA) y 0.5% como nivel máximo permitido (Hann, 2008).
- 18) Según los resultados de este estudio, el glicerol tendría el 81% de la energía metabolizable del maíz (2695 kcal/kg de glicerol - método cálculo por factor 0.96 vs 3325 kcal/kg de maíz). Kerr (2008) indica que el nivel energético del glicerol es similar al del maíz (aproximadamente 3325 kcal de energía metabolizable/kg).

### **3.2. Recomendaciones**

- 1) A partir de los resultados obtenidos en el presente estudio, se recomienda al glicerol de La Fabril como una fuente energética alternativa para uso en cerdos de engorde hasta un nivel de 15%. Su nivel de inclusión dependerá del precio al cual se obtenga esta materia prima.
- 2) Revisar con La Fabril la(s) razón(es) por la cual el glicerol resultó con un valor energético (energía digestible y metabolizable) menor a lo reportado en la literatura.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Adeola, O. (2001). *Digestion and balance techniques in pigs*. En A. J. Lewis y L. L. Southern, *Swine Nutrition* 2<sup>nd</sup> ed. (pp. 903-916). CRC Press. New York, NY.
- Anónimo. (2003). *Referencias bibliográficas formato Harvard*.
- Comunicación personal Ing. M. Corral, La Fabril. (2008).
- Groesbeck, C. N., L. J. McKinney, J. M. DeRouchey, M. D. Tokach, R. D. Goodband, S. S. Dritz, *et al* (2008). Effect of Crude Glycerol on Pellet Mill Production and Nursery Pig Growth Performance. *Journal of Animal Science*, 1- 23.
- Haan, H (2008). Glycerine: Fast Energy but Price Sets its Use. *Feedmix Vol. 16. No. 5*.
- Hanczakowska, E., K. Weglarzy, and B. Szymczyk. (2010). Effect of adding crude or refined glycerol to pig diets on fattening performance, nutrient digestibility and carcass evaluation. *Ann. Anim. Sci.*, Vol. 10, No. 1 (2010) 67–73.
- Johnston, L. (2008). *Pork Professor: Another Biofuel Co-Product for Feeding Hungry Pigs?* University of Minnesota.
- Kerr, B. J., W. A. Dozier, III, and K. Bregendahl. (2007). *Nutritional Value of Crude Glycerin for Nonruminants*. USDA-ARS.
- Kerr, B. J. and W. A. Dozier III. (2008). *Crude Glycerin for Monogastric Feeds*. Feedinfo.
- Kerr, B. J., T. E. Weber, W. A. Dozier III, and M. T. Kidd. (2009). Digestible and Metabolizable Energy Content of Crude Glycerin Originating from Different Sources in Nursery Pigs. *Journal of Animal Science*, 87:4042-4049.

- Lammers, P. (2007). *Growth and Performance of Nursery Pigs Fed Crude Glycerol*. Iowa State University Animal Industry Report 2007.
- Lammers, P. J., B. J. Kerr, T. E. Weber, W. A. Dozier III, M. T. Kidd, K. Bregendahl, *et al.* (2008a). Digestible and Metabolizable Energy of Crude Glycerol for Growing Pigs. *Journal of Animal Science*, 86:602–608.
- Lammers, P. J., B. J. Kerr, T. E. Weber, K. Bregendahl, S. M. Lonergan, K. J. Prusa, *et al.* (2008b). Growth Performance, Carcass Characteristics, Meat Quality, and Tissue Histology of Growing Pigs Fed Crude Glycerin-Supplemented Diets. *Journal of Animal Science*, 86:2962–2970.
- Lammers, P. J., B. J. Kerr, M. S. Honeyman, K. Stalder, W. A. Dozier III, T. E. Weber, *et al.* (2008c). Nitrogen-Corrected Apparent Metabolizable Energy Value of Crude Glycerol for Laying Hens. *Poultry Science*, 87:104–107.
- Ly, J., C. Ty and P. Samkol. (2002). *Studies on the use of acid insoluble ash as inert marker in digestibility trials with Mong Cai pigs*. University of Tropical Agriculture Foundation. Cambodia.
- McCann, M. E. E. (2009). *The Effect of Glycerol on Nutrient Digestibility in Finishing Pigs*. Agri-Food and Biosciences Institute. Hillsborough, UK.
- Mendoza, O. F., M. Ellis, F. K. McKeith and A. M. Gaines. (2010). Metabolizable Energy Content of Refined Glycerin and its Effects on Growth Performance and Carcass and Pork Quality Characteristics of Finishing Pigs. *Journal of Animal Science*, 88:3887-3895.
- NRC. (1998). *Nutrient Requirements of Swine*. 10th rev. ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC.

- Pachauri, N., and B. He. (2006). *Value-Added Utilization of Crude Glycerol from Biodiesel Production: A Survey of Current Research Activities*. American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- Sales, J., and G. Janssens. (2003). Acid-insoluble ash as a marker in digestibility studies: a review. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 12, 2003, 383–400.
- Schieck, S. J., G. C. Shurson, B. J. Kerr and L. J. Johnston. (2010). Evaluation of glycerol, a biodiesel co-product, in grow-finish pig diets to support growth and pork quality. *Journal of Animal Science*, doi:10.2527/jas.2010-2858.
- Técnicas Determinación Humedad, Energía y Proteína Cruda Pronaca. (2010).
- Van Keulen, J., and B. A. Young. (1977). Evaluation of acid-insoluble ash as a natural marker in ruminant digestibility studies. *Journal of Animal Science*, 44:282-287.
- Whitney, M. (2008). *Feeding Glycerol to Pigs?* University of Minnesota.
- Wikipedia, <http://es.wikipedia.org/>.
- Young, L. G., G. C. Ashton and G. C. Smith. (1977). Estimating the Energy Values of Some Feeds for Pigs Using Regression Equations. *Journal of Animal Science*, 44:765-771.
- Zijlstra, R. T., K. Menjivar, E. Lawrence and E. Beltranena. (2008). The Effect of Feeding Crude Glycerol on Growth Performance and Nutrient Digestibility in Weaned Pigs. *Canadian Journal of Animal Science*, 85-89.

## ANEXOS

### A. FOTOGRAFÍAS

#### Fase de Campo:



Fotografía 1 - Glicerol

Fuente y Elaboración: El Autor



Fotografía 2 – Galpón de ensayo

Fuente y Elaboración: El Autor



Fotografía 3 – Jaulas metabólicas

Fuente y Elaboración: El Autor



Fotografía 4 – Mezcladora de alimento

Fuente y Elaboración: El Autor





Fotografía 5 – Pesaje de glicerol

Fuente y Elaboración: El Autor



Fotografía 6 – Preparación de alimento con glicerol

Fuente y Elaboración: El Autor



Fotografía 7 – Alimento de cada nivel de glicerol

Fuente y Elaboración: El Autor



Fotografía 8 – Recolección de muestras de heces

Fuente y Elaboración: El Autor



Fotografía 9 – Pesaje de muestras de heces

Fuente y Elaboración: El Autor



Fotografía 10 – Recolección de muestras de orina

Fuente y Elaboración: El Autor





Fotografía 11 – Muestras de orina

Fuente y Elaboración: El Autor

## **Fase Análisis de Muestras:**

### ***Secado de Muestras y Determinación de Energía Bruta***



Fotografía 12 – Pesaje de muestras

Fuente y Elaboración: El Autor



Fotografía 13 – Estufa para secado y determinación de humedad

Fuente y Elaboración: El Autor



Fotografía 14 – Muestras de heces y alimento

Fuente y Elaboración: El Autor



Fotografía 15 – Bomba calorimétrica para determinación de energía bruta

Fuente y Elaboración: El Autor

**Determinación de Cenizas Insoluble en Ácido (CIA) – Ejemplo: Alternativa 1**

*Método Cenizas Insoluble en Ácido, HCl 4N*



**Muestras de heces**

Fotografía 16 – Muestras de heces

Fuente y Elaboración: El Autor



**Ácido clorhídrico (HCl)**

Fotografía 17 – Ácido clorhídrico (HCl)

Fuente y Elaboración: El Autor





Fotografía 18 – Adición ácido clorhídrico

Fuente y Elaboración: El Autor



Fotografía 19 – Muestras en la plancha de calentamiento

Fuente y Elaboración: El Autor





**Muestras en la plancha de calentamiento**

Fotografía 20 – Muestras en la plancha de calentamiento

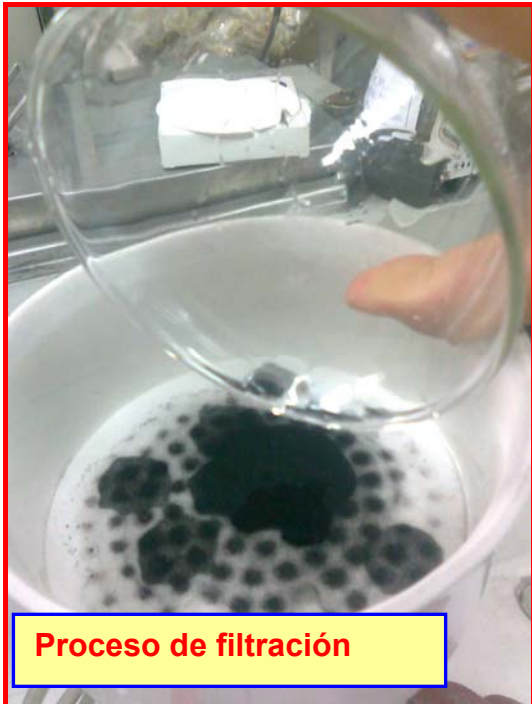
Fuente y Elaboración: El Autor



**Proceso de filtración**

Fotografía 21 – Proceso de filtración

Fuente y Elaboración: El Autor



**Proceso de filtración**

Fotografía 22 – Proceso de filtración

Fuente y Elaboración: El Autor



**Filtrado**

Fotografía 23 - Filtrado

Fuente y Elaboración: El Autor



Fotografía 24 – Mufla para determinación de cenizas

Fuente y Elaboración: El Autor



Fotografía 25 – Desecador con crisoles más ceniza

Fuente y Elaboración: El Autor



**Crisol con cenizas**

Fotografía 26 – Crisol con cenizas

Fuente y Elaboración: El Autor