

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA**

**INSTITUTO DE CIENCIAS AGRICOLAS**



**DIGESTIBILIDAD DE NUTRIENTES DE GRANOS DE DESTILERÍA  
DESECADOS CON SOLUBLES DE TRIGO Y MAÍZ, CON EXTRUSIÓN  
SENCILLA O DOBLE EN CERDOS**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**PRESENTA:**

**JUAN EDREI SANCHEZ TORRES**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**Ph. D. MIGUEL CERVANTES RAMIREZ**

**MEXICALI, DICIEMBRE DEL 2008**

La presente tesis titulada “**Digestibilidad de nutrientes de granos de destilería desecados con solubles de trigo y maíz, con extrusión sencilla o doble en cerdos**”, realizada por el **M.V.Z Juan Edrei Sánchez Torres**; fue dirigida y asesorada por el **Ph. D. Miguel Cervantes Ramírez**, siendo aceptada, revisada y aprobada por el Consejo Particular abajo indicado, como requisito parcial para obtener el grado de:

## **MAESTRIA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**

### **Consejo Particular**

**PRESIDENTE** \_\_\_\_\_

Dr. Miguel Cervantes Ramírez

**SINODAL** \_\_\_\_\_

Dr. Willem Cornelis Sauer

**SINODAL** \_\_\_\_\_

Dra. Adriana Morales Trejo

**SINODAL** \_\_\_\_\_

Dr. Benedicto Alfonso Araiza Piña

**“POR LA REALIZACION PLENA DEL HOMBRE”**

# *Dedicatoria*

# *Agradecimientos*

## CONTENIDO

|   |     |
|---|-----|
| <b>Consejo Particular</b> .....                     | i   |
| <b>RESUMEN</b> .....                                | vi  |
| <b>ABSTRACT</b> .....                               | vii |
| <b>Introducción</b> .....                           | 1   |
| <b>Revisión de literatura</b> .....                 | 3   |
| Variación nutricional .....                         | 3   |
| Digestibilidad de GDDS de maíz y trigo .....        | 4   |
| <b>Materiales y Métodos</b> .....                   | 12  |
| Instalaciones: .....                                | 12  |
| Animales, diseño experimental.....                  | 12  |
| Ingredientes y Dietas:.....                         | 13  |
| Procedimiento experimental:.....                    | 14  |
| Análisis químicos.....                              | 15  |
| Cálculos .....                                      | 16  |
| <b>Resultados</b> .....                             | 18  |
| Energía y nutrientes en ingredientes y dietas ..... | 18  |
| Digestibilidad Ileal Aparente .....                 | 19  |
| Digestibilidad Ileal Estandarizada.....             | 20  |
| Digestibilidad Aparente del Tracto Total.....       | 21  |
| <b>Discusión</b> .....                              | 23  |
| GDDS de trigo y maíz .....                          | 23  |
| Extrusión .....                                     | 24  |
| Extrusión sencilla y doble.....                     | 25  |
| <b>Literatura citada</b> .....                      | 27  |

## INDICE DE CUADROS

|   | Pag. |
|---|------|
| <b>1.</b> Composición de energía digestible (ED), proteína cruda (PC) y aminoácidos (AA) en granos de destilería desecados con solubles de maíz y trigo   | 5    |
| <b>2.</b> Composición de Proteína Cruda (PC) y aminoácidos (AA) de granos de destilería desecados con solubles (GDDS) de plantas productoras de etanol localizadas en Minnesota, Illinois y Kentucky                          | 6    |
| <b>3.</b> Digestibilidad ileal estandarizada (%) de proteína cruda (PC) y AA de granos de destilería desecados con solubles (GDDS) de plantas productoras de etanol localizadas en Minnesota, Illinois y Kentucky             | 7    |
| <b>4.</b> Concentración y digestibilidad ileal estandarizada de proteína cruda (PC) y aminoácidos (AA) en 36 muestras de granos de destilería desecados con solubles (GDDS) en cerdos en crecimiento                          | 9    |
| <b>5.</b> Comparación en la digestibilidad ileal de aminoácidos entre maíz vs maíz GDDS y trigo vs trigo GDDS   | 10   |
| <b>6.</b> Composición analizada de los granos de destilería desecados con solubles (GDDS) de trigo y maíz y su correspondiente tipo de extrusión (sencilla o doble)   | 31   |
| <b>7.</b> Composición de ingredientes de las dietas experimentales, (tal como se ofreció)   | 32   |
| <b>8</b> Composición analizada de las dietas experimentales (tal como se ofreció)   | 33   |
| <b>9.</b> Efecto de granos de destilería desecados con solubles (GDDS) de trigo o maíz y el tipo de extrusión (tornillo sencillo o doble) en la digestibilidad ileal aparente de energía bruta, materia seca y proteína cruda | 34   |
| <b>10</b> Efecto de granos de destilería desecados con solubles (GDDS) de trigo o maíz y el tipo de extrusión (tornillo sencillo o doble) en la digestibilidad ileal estandarizada de nutrientes                              | 35   |
| <b>11</b> Efecto de trigo o maíz GDDS y el tipo de extrusión (tornillo sencillo o doble) en la Digestibilidad aparente del tracto total de dietas e ingredientes  | 36   |

## RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la extrusión en la digestibilidad de la energía y aminoácidos de granos de destilería desecados con solubles (GDDS) de trigo y maíz y comparar el proceso de extrusión con tornillo sencillo vs extrusión con tornillo doble. Nueve cerdos (28.36 kg PV inicial) canulados en ileon terminal fueron asignados al azar a siete dietas experimentales en un diseño experimental en Cuadro Youden 7 x 9. Los tratamientos fueron: T1) Trigo GDDS, T2) Trigo GDDS extrudido con tornillo sencillo, T3) Trigo GDDS extrudido con tornillo doble, T4) Maíz GDDS, T5) Maíz GDDS extrudido con tornillo sencillo, T6) Maíz GDDS extrudido con tornillo doble, T7) Dieta libre de nitrógeno. Los cerdos fueron alimentados a 2.8 veces su requerimiento de energía metabolizable durante los 7 periodos experimentales. Cada periodo experimental consistió de 5 d de adaptación a la dieta, 2 d de colección de heces y 2 d de colección de digesta. La extrusión sencilla y doble incrementó ( $P < 0.05$ ) la digestibilidad aparente del tracto total de energía bruta. La interacción grano GDDS y extrusión resultaron significativas ( $P < 0.05$ ) para los valores de digestibilidad ileal estandarizada (DIE) de 8 de los 10 aminoácidos esenciales. La extrusión incrementó ( $P < 0.05$ ) la DIE de his, ile, leu, lys, met, phe, trp y valina en los GDDS de maíz, mientras que la extrusión en la DIE de aminoácidos en GDDS de trigo solo mostró efecto ( $P < 0.05$ ) en leu y met. Se concluye que la extrusión sencilla o doble son métodos de procesamiento efectivos en incrementar la digestibilidad de la energía en los GDDS de trigo o maíz, pero incrementan la digestibilidad de aminoácidos únicamente en los GDDS de maíz.

Palabras clave: Cerdos, Extrusión, GDDS

## ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of the extrusion in the digestibility of the energy and amino acids of distillers dried grains with solubles (DDGS) of wheat and corn and to compare the process of single- vs. twin-screw extrusion. Nine barrows (28.36 kg initial BW) fitted with a T-cannula at the distal ileum were at random assigned to seven experimental diets in 7 X 9 Youden square design. The treatments were: T1) wheat DDGS, T2) Wheat DDGS single-screw extrudate, T3) Wheat DDGS twin-screw extrudate, T4) Corn DDGS, T5) Corn DDGS single-screw extrudate, T6) Corn DDGS twin-screw extrudate, T7) N-free. The pigs were fed at 2.8 x maintenance over 7 periods consisting of a 5-d diet adaptation, a 2-d collection of feces, and a 2-d collection ileal digesta. The single- and twin-screw extrusion increased ( $P < 0.05$ ) the apparent total tract digestibility of gross energy. Grain DDGS and extrusion interacted ( $P < 0.05$ ) for standardized ileal digestibility (SID) of 8 of the 10 indispensable amino acids. Extrusion increased ( $P < 0.05$ ) the SID of his, ile, leu, lys, met, phe, trp and valine for corn DDGS, whereas the extrusion in the SID of amino acids in wheat DDGS only showed effect ( $P < 0.05$ ) in leucine and methionine. In conclusion, simple- or twin-screw extrusion are effective methods of processing to increase energy digestibility in DDGS of wheat and corn, although amino acid digestibility increases solely in corn DDGS.

**KEYWORDS:** Pigs, DDGS, Extrusion,.

## **Introducción**

Cada vez hay más interés en Norteamérica por aumentar la producción de etanol para satisfacer la demanda de etanol mezclado con gasolinas. En el proceso de producción de etanol se obtiene un subproducto, los granos de destilería desecados con solubles (GDDS), que es un ingrediente potencial en la formulación de dietas para la alimentación de ganado.

Se estima que el crecimiento de la industria del etanol en el oeste de Canadá puede generar alrededor de 400 000 toneladas por año de granos secos de destilados, principalmente GDDS de trigo (Beltranena and Zilstra., 2008) Como consecuencia, en la provincia de Alberta se intenta utilizar la mayoría de estos destilados en la alimentación del ganado de carne; sin embargo, el crecimiento limitado de la industria del ganado bovino en Alberta será insuficiente para consumir toda la producción del GDDS de trigo que se produce en la zona. Extender la alimentación de destilados a aves de corral y cerdos implicaría una oportunidad más amplia de utilización de estos destilados (Lumpkins et al., 2004) y permitirá reducir el costo de alimentación.

En Estados Unidos, el maíz ha sido utilizado como el principal cereal en la producción de etanol. Grandes cantidades de destilados de maíz son exportados de los Estados Unidos a Canadá y compiten con la producción local de destilados de trigo, a pesar de los costos adicionales del transporte que este conlleva. Los GDDS son un subproducto con altos niveles de proteína, fibra y relativamente bajo en energía para la alimentación de no rumiantes. Los destilados de maíz contienen cantidades más altas de grasa comparado con los destilados de trigo (Patience et al., 2007). Sin embargo, la digestibilidad de la fibra,

y por lo tanto, la disponibilidad de la energía se podría mejorar mediante el proceso de extrusión.

El proceso de extrusión envuelve la aplicación de presión y la generación de calor, lo cual resulta en expansión al momento de exposición del producto a la presión ambiental. En este proceso las paredes celulares se expanden y rompen, exponiendo el contenido celular y la fibra solubles a las enzimas digestivas del los animales (Dust et al., 2004). El proceso de extrusión también resulta en cocción, lo cual puede causar algunos daños a la proteína. La extrusión con tornillo sencillo es más agresiva que con tornillo doble, pero la adición de humedad en la extrusión con tornillo doble tal vez resulte en cocción más prolongada solubilizando más fibra.

Se evaluó el grado de mejora o reducción en la digestibilidad de los nutrientes con la extrusión utilizando tornillo sencillo o doble para la determinar el efecto de la adición de destilados extrudidos en dietas para animales no rumiantes, especialmente para cerdos en crecimiento. La hipótesis de este experimento fue que el proceso de extrusión con tornillo sencillo o doble incrementaría la digestibilidad de nutrientes en destilados de maíz y trigo. Los objetivo de este trabajo, por tanto, fueron a) caracterizar el efecto del proceso de extrusión en la digestibilidad de nutrientes de GDDS de trigo y maíz; y b) comparar el efecto de la extrusión con tornillo sencillo o doble en la digestibilidad de nutrientes de GDDS de trigo y maíz.

## Revisión de literatura

### Variación nutricional

Actualmente se utilizan varios procedimientos para la producción de etanol a partir de cereales como maíz y trigo. Los subproductos obtenidos de esta producción, los granos desecados de destilería con solubles (GDDS), varían en la composición química nutrientes.

La variabilidad en la composición de los nutrientes de los GDDS puede ser atribuidos a diferentes factores, entre los cuales se encuentran: 1) variación nutricional en el grano a utilizar, 2) cantidad de solubles adicionados a los granos fermentados para producir GDDS, 3) la eficiencia de convertir el almidón en alcohol durante la fermentación, 4) la temperatura y tiempo de secado de los GDDS (Shurson *et al.*, 2004).

Cromwell *et al.*, (1993) compararon el grado de variabilidad en las propiedades físicas y composición química de los GDDS procedentes de varias plantas productoras. Nueve muestras experimentales de diferentes plantas fueron evaluadas. Las propiedades de los destilados GDDS evaluados fueron físicas: olor y color, y químicas: Materia Seca (MS), proteína cruda (PC) extracto etéreo (EE), Cenizas, Fibra detergente neutra (FDN) y fibra detergente acida (FDA). Se observó dentro de las características físicas de los GDDS evaluados que cinco muestras tenían un olor normal, una muestra con olor ahumado, dos muestras con olor ligeramente quemado y una muestra con olor a quemado. Las muestras que tuvieron un olor normal tuvieron un color claro, mientras que las muestras restantes tuvieron un color oscuro. El contenido de MS tuvo un promedio de 90.5 % con un rango de 87.1 a 92.7 %, el rango de PC fue de 23.4 a 28.7 % con un promedio de 26.9 %. El

contenido de FDN tuvo un promedio de 35.1 % con un rango de 28.8 a 40.3%, mientras que la FDA tuvo un promedio de 14.4 % con un rango de 10.3 a 18.1 %.

Las muestras que tuvieron un olor normal y un color claro fueron las que tuvieron mayor porcentaje de PC. Por lo cual los resultados de esta investigación indican que existe una gran variación en las propiedades físicas y químicas entre diferentes plantas productoras de GDDS. La apariencia de color esta altamente relacionado con las propiedades nutricionales en los GDDS, observándose que un color oscuro tuvo un bajo contenido de nutrientes y un color claro presentaron un mayor porcentaje de nutrientes en los GDDS. Probablemente la causa de que las muestras de GDDS presentaran color oscuro y olor a quemado sea atribuido a un mal proceso de secado. Estudios recientes indican que existe gran variación en el contenido de energía, proteína cruda y aminoácidos en los GDDS de maíz y trigo (Cuadro 1).

### ***Digestibilidad de GDDS de maíz y trigo***

Investigaciones recientes indican que la digestibilidad de AA en GDDS pueden variar de acuerdo a la localización de la planta que lo produce (Spieh *et al.*, 2002). Pahn *et al.*, (2008) compararon la digestibilidad de AA en 5 plantas diferentes productoras de GDDS localizadas en Minnesota, Illinois y Kentucky. Se observó que existe mucha variación en el contenido de PC y AA presentes en los GDDS procedentes de 5 plantas productoras diferentes de GDDS (Cuadro 2), y además, observó que la digestibilidad ileal estandarizada (DIE) de la PC y todos los AA no eran diferentes ( $P < 0.05$  %) excepto para lisina y leucina (Cuadro 3), lo cual indica que existe variación en la digestibilidad de AA en los GDDS de maíz dependiendo de la planta que los produce.

Cuadro 1. Composición de energía digestible (ED), proteína cruda (PC) y aminoácidos (AA) en granos de destilería desecados con solubles de maíz y trigo.

| Variable        | Maíz |      |      |      | Trigo |      |
|-----------------|------|------|------|------|-------|------|
|                 | 1    | 2    | 3    | 4    | 5     | 6    |
| ED Mcal/kg      | 3.59 | 3.20 | -    | 3.67 | 3.02  | 3.62 |
| PC %            | 27.2 | 27.8 | 26.8 | 27.8 | 34.2  | 40.1 |
| AA esenciales % |      |      |      |      |       |      |
| Arginina        | 1.08 | 1.12 | 1.05 | 1.19 | 1.44  | 1.59 |
| Histidina       | 0.68 | 0.78 | 0.72 | 0.76 | 0.73  | 0.89 |
| Isoleucina      | 1.01 | 1.04 | 0.99 | 1.05 | 1.23  | 1.43 |
| Leucina         | 3.20 | 3.15 | 3.31 | 3.20 | 2.48  | 2.71 |
| Lisina          | 0.77 | 0.80 | 0.70 | 0.82 | 0.62  | 0.65 |
| Metionina       | 0.50 | 0.62 | 0.51 | 0.58 | -     | 0.62 |
| Fenilalanina    | 1.32 | 1.35 | 1.44 | 1.35 | 1.72  | 1.94 |
| Treonina        | 1.02 | 1.00 | 1.02 | 1.03 | 1.27  | 1.15 |
| Triptófano      | 0.23 | 0.17 | 0.19 | 0.22 | -     | 0.40 |
| Valina          | 1.35 | 1.43 | 1.34 | 1.41 | 1.58  | 1.72 |

- Todos los valores presentados están ajustados al 90 % de materia seca.
- Fuentes: 1) Spiels et al., 2002; 2) Stein et al., 2006 ; 3) Cromwell et al., 1993 ; 4) Shurson et al., 2004 ; 5) Nyachoty et al., 2005 ; 6) widyaratne and Zijlstra, 2007.

Las diferencias pueden ser debidas al diseño de la planta, proceso de producción y condiciones del crecimiento del maíz que puede afectar la concentración de almidón presente en el maíz.

Cuadro 2. Composición de Proteína Cruda (PC) y aminoácidos (AA) de granos de destilería desecados con solubles (GDDS) de plantas productoras de etanol localizadas en Minnesota, Illinois y Kentucky<sup>1</sup>

| Variable        | GDDS  |       |       |       |       |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                 | MN1   | MN2   | IL1   | IL2   | KY    |
| PC %            | 28.30 | 26.91 | 24.45 | 26.10 | 26.52 |
| AA esenciales % |       |       |       |       |       |
| Arginina        | 1.26  | 1.09  | 1.13  | 1.22  | 1.19  |
| Histidina       | 0.74  | 0.69  | 0.68  | 0.70  | 0.70  |
| Isoleucina      | 1.08  | 0.98  | 0.90  | 0.91  | 0.99  |
| Leucina         | 3.31  | 3.21  | 2.83  | 3.00  | 3.00  |
| Lisina          | 0.79  | 0.73  | 0.73  | 0.74  | 0.75  |
| Metionina       | 0.52  | 0.48  | 0.46  | 0.52  | 0.53  |
| Fenilalanina    | 1.38  | 1.30  | 1.19  | 1.25  | 1.27  |
| Treonina        | 1.09  | 1.01  | 0.92  | 0.98  | 0.95  |
| Triptófano      | 0.23  | 0.20  | 0.20  | 0.22  | 0.22  |
| Valina          | 1.42  | 1.28  | 1.20  | 1.22  | 1.28  |

<sup>1</sup> Todos los valores están ajustados al 88% de materia seca.

Stein et al., (2006) compararon la digestibilidad en cerdos en crecimiento de PC y AA en 10 muestras de GDDS procedentes de 10 diferentes plantas productoras de etanol en Dakota. El porcentaje de PC tuvo un rango de 24.60 a 29.07 % con un promedio de 27.45 %. Además, también se observó que existió gran variación en el contenido de AA

esenciales. Los resultados de la DIE de indicaron que existió diferencia ( $P < 0.05$ ) para PC y todos los AA.

Cuadro 3. Digestibilidad ileal estandarizada (%) de proteína cruda (PC) y AA de granos de destilería desecados con solubles (GDDS) de plantas productoras de etanol localizadas en Minnesota, Illinois y Kentucky

| variable        | GDDS               |                    |                    |                    |                    |
|-----------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                 | MN1                | MN2                | IL1                | IL2                | KY                 |
| PC %            | 81.6               | 82.9               | 81.7               | 84.3               | 81.3               |
| AA esenciales % |                    |                    |                    |                    |                    |
| Arginina        | 88.4               | 91.9               | 89.3               | 90.6               | 92.0               |
| Histidina       | 80.9               | 80.8               | 80.7               | 82.1               | 78.9               |
| Isoleucina      | 80.6               | 80.6               | 79.5               | 80.9               | 78.9               |
| Leucina         | 83.2 <sup>x</sup>  | 84.2 <sup>xy</sup> | 87.3 <sup>z</sup>  | 86.7 <sup>yz</sup> | 86.1 <sup>yz</sup> |
| Lisina          | 66.8 <sup>xy</sup> | 72.8 <sup>z</sup>  | 66.8 <sup>xy</sup> | 70.1 <sup>yz</sup> | 65.8 <sup>x</sup>  |
| Metionina       | 86.6               | 86.0               | 85.0               | 85.1               | 84.9               |
| Fenilalanina    | 85.1               | 84.9               | 84.8               | 85.1               | 84.6               |
| Treonina        | 75.1               | 74.3               | 74.5               | 75.9               | 73.9               |
| Triptófano      | 73.6               | 67.9               | 68.7               | 73.5               | 70.2               |
| Valina          | 79.3               | 79.2               | 79.2               | 80.5               | 78.2               |

Los resultados de este experimento indican que la digestibilidad de la PC y AA en GDDS varía entre plantas productoras.

Trabajos realizados en el oeste de Estados Unidos muestran la variación que existe en la digestibilidad de aminoácidos entre diferentes plantas de GDDS (Cuadro 4) (Stein *et al.*, 2005; Pahl *et al.*, 2006; Stein *et al.*, 2007; Urriola *et al.*, 2007) particularmente en lisina que es el AA que varía más de todos los AA esenciales, (Fastinger and Mahan, 2006; Stein, *et al.* 2006) la variación puede ser debida a que lisina pudo quedar no disponible debido al calor aplicado en el momento del secado de los GDDS (Cronwell, *et al.*, 1993).

El alto contenido de PC en trigo GDDS refleja la naturaleza del grano, porque el trigo tiene más PC que el maíz. Sin embargo, el alto contenido de PC en los GDDS no es un buen indicativo para incluirlo en dietas para cerdos, lo mejor es determinar la disponibilidad biológica de los aminoácidos en los cerdos.

Varios estudios indican que lisina tiene una menor digestibilidad en maíz GDDS que en el grano de maíz (Fastinger and Mahan, 2006). Sin embargo, Stein *et al.*, (2006) observó que triptofano es más digestible en GDDS de maíz que en el grano de maíz. Nyachoty, *et al.*, (2005) y Widyaratne and Zijlstra (2007) reportaron que los aminoácidos en trigo GDDS son menos digestibles en dietas para cerdos que el grano de trigo (Cuadro 5).

Lisina es el aminoácido de mayor interés, porque es el primer aminoácido limitante en dietas para cerdos, pero en realidad la biodisponibilidad todos los aminoácidos son importantes para poder balancear dietas para la alimentación de cerdos. Stein *et al.*, (2006) reportó que la DIE de lisina tuvo un promedio de 56.8% en 10 muestras de maíz GDDS, pero tuvo un rango de DIE de 43.9 a 63.0 %. Fastinger and Mahan (2006) observaron un promedio en la digestibilidad de lisina de 51.2 % en 5 muestras de maíz GDDS con un rango de 38.2 a 61.5 %.

Cuadro 4. Concentración y digestibilidad ileal estandarizada de proteína cruda (PC) y aminoácidos (AA) en 36 muestras de granos de destilería desecados con solubles (GDDS) en cerdos en crecimiento<sup>1</sup>.

| variable        | Concentración en GDDS, % |      |      |                 | Digestibilidad Ileal Estandarizada, % |      |      |                 |
|-----------------|--------------------------|------|------|-----------------|---------------------------------------|------|------|-----------------|
|                 | Promedio                 | Bajo | Alto | DE <sup>2</sup> | Promedio                              | Bajo | Alto | DE <sup>2</sup> |
| PC %            | 27.5                     | 24.1 | 30.9 | 1.8             | 72.8                                  | 63.5 | 84.3 | 5.33            |
| AA esenciales % |                          |      |      |                 |                                       |      |      |                 |
| Arginina        | 1.16                     | 0.95 | 1.41 | 0.10            | 81.1                                  | 74.1 | 92.0 | 5.18            |
| Histidina       | 0.72                     | 0.56 | 0.84 | 0.07            | 77.4                                  | 70.0 | 85.0 | 4.58            |
| Isoleucina      | 1.01                     | 0.87 | 1.31 | 0.09            | 75.2                                  | 66.5 | 82.6 | 4.77            |
| Leucina         | 3.17                     | 2.76 | 4.02 | 0.32            | 83.4                                  | 75.1 | 90.5 | 3.85            |
| Lisina          | 0.78                     | 0.54 | 0.99 | 0.09            | 62.3                                  | 43.9 | 77.9 | 7.61            |
| Metionina       | 0.55                     | 0.46 | 0.71 | 0.08            | 81.9                                  | 73.7 | 89.2 | 4.12            |
| Fenilalanina    | 1.34                     | 1.19 | 1.62 | 0.11            | 80.9                                  | 73.5 | 87.5 | 3.94            |
| Treonina        | 1.06                     | 0.89 | 1.71 | 0.20            | 70.7                                  | 61.9 | 82.5 | 5.26            |
| Triptófano      | 0.21                     | 0.12 | 0.34 | 0.04            | 69.9                                  | 54.2 | 80.1 | 6.98            |
| Valina          | 1.35                     | 1.15 | 1.59 | 0.11            | 74.5                                  | 65.8 | 81.9 | 4.72            |

<sup>1</sup> Datos de Stein, *et al.*, 2005; Pahm, *et al.*, 2006; Stein, *et al* 2006; Urriola *et al.*, 2007

<sup>2</sup> Desviación Estándar

Cuadro 5. Comparación en la digestibilidad ileal de aminoácidos entre maíz vs maíz GDDS y trigo vs trigo GDDS

| Tipo de grano          | Maíz          |      |               |      | Trigo    |      |               |      |
|------------------------|---------------|------|---------------|------|----------|------|---------------|------|
| Referencias            | 1             |      | 2             |      | 3        |      | 4             |      |
| ingrediente            | Grano         | GDDS | Grano         | GDDS | Grano    | GDDS | Grano         | GDDS |
| No de muestras         | 1             | 10   | -             | 5    | 1        | 2    | 1             | 1    |
| Tipo de Digestibilidad | Estandarizada |      | Estandarizada |      | Aparente |      | Estandarizada |      |
| Lisina                 | 67.7          | 56.8 | -             | 51.2 | 76.1     | 43.8 | 78.3          | 64.1 |
| Metionina              | 84.0          | 79.3 | -             | 80.7 | -        | -    | 88.4          | 84.2 |
| Treonina               | 73.7          | 67.0 | -             | 67.7 | 72.3     | 62.9 | 85.0          | 77.5 |
| Triptofano             | 72.8          | 77.4 | -             | 75.4 | -        | -    | 91.2          | 85.7 |
| Isoleucina             | 77.5          | 71.7 | -             | 75.9 | 84.8     | 68.0 | 89.1          | 81.4 |
| Leucina                | 85.2          | 80.3 | -             | 82.4 | 86.7     | 77.8 | 88.9          | 84.5 |
| Valina                 | 76.8          | 70.6 | -             | 73.7 | 81.6     | 67.1 | 92.4          | 87.4 |

Estos dos reportes utilizaron diferentes metodologías para determinar la DIE de los AA. Uno obtuvo sus resultados utilizando la DIA usando datos obtenidos a partir de los resultados de la DIA de una dieta libre de nitrógeno, y la otra investigación utilizó una aproximación matemática.

Actualmente existe poca información en la disponibilidad de AA en trigo GDDS, pero en el estudio realizado por Nyachoti *et al.*, (2005) indican que el problema es similar a lo observado en maíz GDDS. La inclusión de GDDS de maíz y trigo debe ser cuidadosa

debido a la variación en el procedimiento entre plantas de etanol, por lo que puede esperarse un balance incorrecto de AA.

## **Materiales y Métodos**

### **Instalaciones:**

Este estudio fue realizado en el Área de Metabolismo del Swine Research and Technology Centre (SRTC), Edmonton Research Station, de la Universidad de Alberta, en Edmonton, Alberta, Canadá. Se utilizó la Sala 191 que tenía una forma rectangular la cual medía 13.55 m de largo, 7.2 m de ancho y 3.0 m de alto. La sala estaba equipada con 2 filas paralelas de 8 jaulas metabólicas separadas por un pasillo central, y se contaba con condiciones de temperatura controlada ( $22 \pm 2.5$  °C). En el interior de la sala se contaba con una mesa de laboratorio que contenía un lavabo y gavetas para guardar equipo de trabajo. También se contaba con un congelador para guardar las muestras obtenidas al momento de la recolección.

Los corrales individuales de metabolismo, de plástico sólido, tenían una dimensión de 1.2 m de ancho, 1.5 m de largo y 0.95 m de alto y piso de plástico con ranuras. Los corrales estaban equipados con un comedero de acero inoxidable en la parte frontal de la jaula y un bebedero de chupón a un costado del comedero.

### **Animales, diseño experimental**

Se utilizaron 9 cerdos castrados (Duroc x Large White) con un peso promedio inicial de  $28.36 \pm 2.4$  kg. Todos los animales fueron identificados con aretes y alojados individualmente. Los cerdos fueron alimentados con 6 dietas experimentales de acuerdo a un cuadro Youden 7 X 9, más una dieta adicional libre de Nitrógeno, para estimar la secreción de proteína endógena. Los siete tratamientos se ofrecieron a los cerdos de modo

que cada cerdo consumió una dieta experimental en cada uno de los siete periodos. Por tanto, hubo uno o dos tratamientos que se repitieron en un mismo periodo en los diferentes animales.

Cada periodo experimental consistió de 9 d de los cuales 5 d fueron de adaptación a la dieta experimental, seguido de 2 d para coleccionar las muestras de heces y 2 d para coleccionar las muestras de contenido ileal. Cada animal fue la unidad experimental y de muestreo.

Los tratamientos (T) fueron las dietas que contenían lo siguiente:

T1 => GDDS de maíz

T2 =>GDDS de trigo

T3 =>GDDS de maíz extrudido con tornillo sencillo

T4 => GDDS de trigo extrudido con tornillo sencillo

T5 => GDDS de maíz extrudido con tornillo doble

T6 => GDDS de trigo extrudido con tornillo doble

T7 =>Dieta libre de Nitrógeno

### **Ingredientes y Dietas:**

El GDDS de trigo provenía de una planta de etanol (Husky Energy, Lloydminster, Saskatchewan, Canadá). El GDDS de maíz provenía de los Estados Unidos de America y fue adquirido en la planta de alimentos comercial Unifeed, localizada en Edmonton, Alberta, Canadá. La extrusión de ambos destilados con tornillo sencillo fue realizada en Oleet Processing en Regina, Saskatchewan, Canadá. La extrusión de ambos destilados con tornillo doble fueron realizados por Alberta Agriculture and Rural Development en Brooks, Alberta, Canadá.

Las dietas fueron formuladas para proveer 16% de proteína cruda (excepto la dieta libre de nitrógeno (Cuadro 2) y excedieron los requerimientos nutricionales del cerdo de acuerdo a NRC (1998). No se ajustó el contenido de energía, grasa o aminoácidos. Además, se adicionaron aceite de canola y azúcar en la misma proporción en relación al almidón de maíz en la dieta libre de nitrógeno. Los GDDS fueron la única fuente de proteína cruda y aminoácidos en las seis dietas que contenían GDDS. Se incluyó óxido crómico como marcador indigestible en una premezcla con almidón de maíz (25:75).

#### **Procedimiento experimental:**

El protocolo experimental, procedimiento quirúrgico y los procedimientos para el cuidado y tratamiento de los cerdos fue revisado y aprobado por el Comité de Uso y Cuidado Animal de la Universidad de Alberta de acuerdo con el lineamiento del Consejo Canadiense del Cuidado Animal.

Los cerdos fueron seleccionados, pesados y llevados a la sala de metabolismo 10 días antes de las cirugías. En este periodo de adaptación a la sala y corrales individuales, los animales tuvieron libre acceso a una dieta de crecimiento que contenía 18 % PC. Durante todo el experimento los cerdos tuvieron libre acceso al agua, excepto 6 h antes de las cirugías.

Posterior al periodo de adaptación, los cerdos fueron adaptados quirúrgicamente con una cánula tipo "T" simple en ileon distal, aproximadamente 5 centímetros antes de la válvula ileocecal (Sauer et al., 1983). Después de la cirugía, los cerdos se recuperaron durante un periodo de 7 días con incremento gradual en el consumo de alimento.

Durante cada periodo experimental, los cerdos fueron alimentados con las dietas experimentales a 2.8 veces el requerimiento de EM (110 kcal de ED por kg de PV<sup>0.75</sup>) las

cuales se ofrecieron en dos comidas de igual proporción a las 8:00 y 15:00 Hrs. Después de 5 d de adaptación a la dieta correspondiente para el periodo, se realizó la recolección de heces durante 48 h continuas utilizando un sistema de anillos de Velcro y cuero alrededor del ano que sujetaban una bolsa plástica para la recolección de heces (Van Kleef et al., 1994). Las bolsas se cambiaron al momento de notar la presencia de heces.

La recolección de contenido ileal se condujo durante 10 h en los siguientes dos días (tres días para el Periodo 1 y 2). Para este procedimiento, en la cánula abierta se instalaron bolsas plásticas con 15 mL de ácido fórmico al 5%. Las bolsas fueron reemplazadas tan pronto como se llenaran o después de 20 min.. Las muestras de heces y contenido ileal se agruparon para cada cerdo durante cada periodo experimental y se mantuvieron congeladas aproximadamente a -20 °C

Antes de iniciar los análisis, las heces y contenido ileal fueron descongeladas, homogenizadas, submuestreadas, y liofilizadas.

### **Análisis químicos.**

Las muestras de ingredientes, dietas, heces y contenido ileal liofilizado fueron molidas a través de una criba de 1 mm utilizando un molino centrífugo (modelo ZM 200; Retsch Co., Newtown, Pennsylvania). Se analizó el contenido de materia seca (MS) (método 930.15; Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1990), energía bruta (EB) (con una bomba calorimétrica adiabática, modelo AC-300, Leco Corp., St. Joseph, MI) y óxido crómico (por espectrofotometría, Fenton y Fenton, 1979) de los ingredientes, las dietas, heces y contenido ileal liofilizado, todos estos análisis fueron realizados en el Laboratorio de Nutrición de la Universidad de Alberta. Además se analizó el contenido de proteína cruda (método 990.03; AOAC, 1990), fibra cruda (método 962.09; AOAC, 1990),

extracto etéreo (método 920.39; AOAC, 1990) y cenizas de los ingredientes, las dietas, heces y contenido ileal liofilizado en la Agricultural Experiment Station Chemical Laboratories (ESCL) de la Universidad de Missouri-Columbia. Este laboratorio también analizó el contenido de aminoácidos en los ingredientes, las dietas y contenido ileal liofilizado.

### **Cálculos**

La digestibilidad ileal aparente (DIA) de un nutriente (Nut) fue calculada en relación al marcador (M; óxido crómico) por la siguiente fórmula de acuerdo a Stein et al. 2007 Eq. 2:

$$\text{DIA, \%} = [1 - (\text{Nutriente heces o contenido ileal} / \text{Nutriente dieta}) \times (\text{M dieta} / \text{Marcador heces o contenido ileal})] \times 100$$

La secreción endógena (Iend) de proteína cruda (PC) o aminoácidos (AA, g/Kg de consumo de MS) fue calculada de acuerdo a Stein et al. 2007 Eq. 3:

$$\text{Iend} = \text{PC en contenido ileal o heces o AA en contenido ileal} \times (\text{Marcador dieta} / \text{Marcador contenido ileal})$$

Los valores de digestibilidad ileal estandarizada (DIE) para cada aminoácido fueron calculados de acuerdo a Stein et al 2007 Eq. 7:

$$\text{DIE} = \text{DA} + (\text{IAA end} / \text{AA dieta})$$

La digestibilidad aparente de un nutriente en el ingrediente (DA) experimental se calculó de acuerdo a Adela 2001, Eq. 40.4:

$$\text{DA, \%} = 100 \times [(\text{DA} \times \text{Tp}) - (\text{DB} \times \text{Bp}) / \text{Ap}]$$

Donde DA es la digestibilidad, % de el nutriente en la dieta experimental (basal mas ingrediente experimental), DB es la digestibilidad, % de el nutriente en la dieta basal, Bp es la proporción, % del almidón de maíz en la dieta experimental, Ap es la proporción, % de el ingrediente experimental en la dieta experimental, de manera que

$$Bp + Ap = Tp \text{ o } 100\%$$

Los resultados fueron analizados usando el PROC MIXED SAS. El modelo factorial (2 x 3) incluyo el tipo de GDDS (trigo, maíz) y extrusión (destruido o no, tornillo sencillo, tornillo doble). El periodo y el corral fueron asignados al azar.

## **Resultados**

Todos los cerdos permanecieron estables durante el periodo experimental. Sin importar la dieta que se les ofreció, los cerdos consumieron sus asignaciones diarias de alimento durante el experimento. Los promedios de peso corporal al inicio y al final del experimento fueron de 28.36 y 46 kg, respectivamente.

### **Energía y nutrientes en ingredientes y dietas**

El análisis químico del GDDS de trigo y maíz se presenta en Cuadro 1. El contenido de EB, extracto etéreo, fibra Cruda, FDN, FDA y PC del GDDS del trigo fue 4706 cal/kg, 6.18%, 6.70 %, 40.93 %, 9.42 % y 32.30%, respectivamente. El contenido nutricional del GDDS de Maíz fue 4785 cal/kg, 10.51%, 5.55%, 33.49 %, 8.51%, 26.47% para EB, extracto etéreo, fibra Cruda, FDN, FDA y PC, respectivamente.

La composición de los AA presentes en los GDDS de trigo y maíz se muestran en cuadro 6. Se observan mínimas diferencias entre el contenido de los AA usualmente limitantes en las dietas para cerdos (lisina, treonina y metionina) de GDDS de trigo y de maíz. El contenido del resto de los AA esenciales es mayor en el GDDS de trigo en comparación con el de maíz. Los valores más altos para los AA no esenciales se encuentran en el GDDS de trigo excepto para el ácido aspártico, en donde los valores muestran una mínima diferencia y alanina en donde los valores más altos se encuentran en el GDDS de maíz.

La composición química y de los AA de las dietas de GDDS de trigo, GDDS de maíz y la dieta libre de nitrógeno se muestran en el cuadro 8. Las dietas elaboradas con GDDS de trigo y de maíz contenían, en promedio, 14.3 y 16.4% de PC, respectivamente. El

contenido de energía bruta, extracto etéreo, fibra cruda y cenizas en las dietas con GDDS de maíz fue superior que en las dietas con base en GDDS de trigo debido a las diferencia en el porcentaje de inclusión de los GDDS en las dietas, 60 y 40%, respectivamente (Cuadro 7).

### **Digestibilidad Ileal Aparente**

Los resultados de digestibilidad ileal aparente se muestran en el Cuadro 9. La interacción grano x extrudido mostró efecto ( $P = 0.0382$ ) en la DIA de EB. La DIA de EB fue 8.13 % mayor ( $P < 0.001$ ) en la dieta elaborada con GDDS de trigo no extrudido comparada con la dieta que contenía GDDS de maíz no extrudido. También se observó un incremento en la DIA de EB en 5.87% ( $P = 0.002$ ) en las dietas elaboradas con GDDS de maíz extrudidas en comparación con la dieta de GDDS de maíz sin extrudir. El tipo de grano mostró efecto ( $P < 0.0001$ ) en la DIA de MS en las dietas (Cuadro 10). La DIA de MS fue 10.12% mayor ( $P < 0.001$ ) en la dieta elaborada con trigo GDDS sin extrudir en comparación con la dieta que contenía maíz GDDS sin extrudir. Mientras que la DIA de MS de las dietas elaboradas con maíz GDDS extrudidas fue mayor en un 4.53 % ( $P = 0.004$ ) en comparación con la dieta que contenía maíz GDDS sin extrudir. La interacción grano x extrudido fue significativa ( $P = 0.0185$ ) en la DIA de PC de las dietas. La DIA de PC fue 5.09% mayor ( $P = 0.0282$ ) para las dietas elaborada con trigo GDDS extrudida con tornillo doble en comparación con la dieta elaborada con trigo GDDS extrudida con tornillo sencillo. Mientras que la DIA de PC fue mayor 7.27% ( $P = 0.004$ ) en las dietas elaboradas con maíz GDDS extrudidas en comparación con la dieta de maíz GDDS sin extrudir.

## **Digestibilidad Ileal Estandarizada**

El tipo de grano de GDDS afectó ( $P=0.0142$ ) la DIE de MS en las dietas (Tabla 10). La DIE de MS fue 11.52% mayor en la dieta elaborada con GDDS de trigo sin extrudir en comparación con la dieta a base de GDDS de maíz sin extrudir. Además se observó que la DIE en las dietas elaboradas con GDDS de maíz, con extrusión sencilla y doble, fueron mayores en 8.38% ( $P = 0.0159$ ) comparada con la dieta de GDDS de maíz sin extrudir.

La interacción de grano por tipo de extrusión para la DIE de PC fue significativa ( $P = 0.0235$ ), observándose que la dieta elaborada con GDDS de trigo extrudido con tornillo doble es 4.89 % mayor ( $P = 0.0328$ ) en comparación con la dieta que contiene GDDS de trigo extrudida con tornillo sencillo. Mientras que las dietas a base de GDDS de maíz extrudidas con tornillo sencillo y doble son 7.09% mayor ( $P = 0.0004$ ) comparadas con la dieta de GDDS de maíz sin extrudir.

La DIE de todos los AA esenciales fue mayor ( $P < 0.05$ ) en las dietas elaboradas con GDDS de maíz extrudidas con tornillo sencillo y doble en comparación con la dieta de GDDS de maíz no extrudida. La DIE en la dietas elaborada con GDDS de maíz mostraron los valores más altos ( $P<0.05$ ) para histidina, leucina, lisina, metionina, treonina y valina en comparación con la dietas elaborada con GDDS de trigo. Mientras que la dieta elaborada con GDDS de trigo extrudido sencillo fue mayor ( $P<0.05$ ) para leucina y metionina en 1.94 y 2.63% en comparación con la dieta elaborada con GDDS de trigo extrudido doble, respectivamente.

La DIE de AA no esenciales en las dietas elaboradas con GDDS de maíz extrudidas con tornillo sencillo y doble mostraron los valores mas altos ( $P < 0.05$ ) en alanina,

aspartico, serina y tirosina. Mientras que en glutamina el valor mas alto ( $P < 0.05$ ) de DIE se encontró en las dietas elaboradas con GDDS de trigo. En todos los contrastes realizados alanina fue diferente ( $P < 0.05$ ) excepto para maíz GDDS de maíz extrudido sencillo vs GDDS de maíz extrudido doble. La DIE en la dieta que contenía GDDS de maíz sin extrudir fue mayor ( $P < 0.05$ ) en ácido. aspartico y tirosina en un 15.5 y 1.15% en comparación con la dieta que contenía GDDS de trigo sin extrudir.

### **Digestibilidad Aparente del Tracto Total.**

La interacción grano x extrudido mostró efecto ( $P=0.0091$ ) en la DATT de EB y ED en las dietas, observándose un incremento de 8.42 ( $P < 0.0001$ ) y 3.52 % mayor ( $P=0.023$ ) en la dieta que contenía GDDS de trigo sin extrudir comparada con la dieta de GDDS de maíz sin extrudir respectivamente, además se observo un incremento del 3.46 y 4.35% en la DATT de EB y ED en las dietas que contenían GDDS de maíz extrudidas con tornillo sencillo y doble en comparación con la dieta de GDDS de maíz sin extrudir. La DATT en las dietas tuvo efecto en la interacción de grano x extrudido en MS ( $P=0.0163$ ), MO ( $P = 0.0313$ ) PC ( $P=0.0154$ ) y EE ( $P=0.0032$ ) respectivamente, encontrándose los valores mas altos en las dietas que contenían GDDS de trigo. Para el caso de cenizas en la DATT mostró efecto en extrudido ( $P < 0.05$ ), las dietas a base de GDDS de maíz extrudidas fue mayor ( $P=0.010$ ) en un 10.8% en comparación con las dietas que contenían GDDS de maíz sin extrudir.

La DATT de EB de los ingredientes tuvo efecto en grano ( $P=0.0118$ ) y extrudido ( $P=0.0204$ ), observándose que la EB y ED de GDDS de trigo sin extrudir fue 6.38 y 4.30 % mayor que el GDDS de maíz sin extrudir respectivamente, y el incremento del 6.41 y 6.48 % unidades mayor de EB y ED en los ingredientes extrudidos de maíz comparados con el

GDDS de maíz sin extrudir. La interacción de grano x extrudido de los ingredientes solo tuvo efecto en PC ( $P=0.0169$ ) observando un aumento en la DATT en la PC de GDDS de trigo sin extrudir de 4.11% en comparación con el GDDS de maíz sin extrudir, además se observo un incremento ( $P = 0.0092$ ) en la DATT de PC en el GDDS de maíz extrudido con tornillo sencillo y doble del 2.32% en comparación con el GDDS de maíz sin extrudir. Mientras que el grano tuvo efecto en la DATT de MS ( $P<0.0001$ ), MO ( $P<0.0001$ ) y cenizas ( $P=0.0144$ ) con un incremento del 6.77, 6.51 y del 13 % mayor en el GDDS de trigo sin extrudir comparado con el maíz GDDS sin extrudir respectivamente.

La comparación de GDDS de maíz extrudido contra GDDS de maíz sin extrudir tuvo efecto para todas las variables de dietas e ingredientes excepto para cenizas en los ingredientes ( $P=0.4468$ ).

## **Discusión**

En el presente estudio, la digestibilidad de energía y AA en dietas base trigo y maíz GDDS fue determinada en cerdos en crecimiento canulados. El proceso de extrusión con tornillo sencillo y doble mejoró la digestibilidad de energía y AA en dietas que contenían GDDS de trigo y maíz.

### **GDDS de trigo y maíz**

Los GDDS de trigo y maíz son el producto resultante de la fermentación de estos cereales durante el proceso de producción de etanol (Lan, et al 2007) en el cual el almidón es separado para formar alcohol y la concentración de los nutrientes remanentes se incrementa (Mustafa, et al 1999).

Varios factores influyen en las características físicas y composición química de los GDDS de trigo y maíz; entre estos se incluyen la variabilidad de los nutrientes presentes en el trigo y maíz utilizados como materia prima, la eficiencia en la conversión de almidón en alcohol, la temperatura y el tiempo de secado (Cromwell, et al 1992).

En el presente estudio, la composición química y nutricional de los GDDS de trigo y maíz mostraron que estos subproductos son una buena fuente de energía y AA (Cuadro 1). Sin embargo existe mucha variación en los valores de la composición química entre los GDDS de trigo y de maíz, también entre las fuentes de GDDS utilizados en el presente estudio con respecto a otras investigaciones.

El contenido de PC de las muestras de GDDS de trigo y maíz usadas en el presente estudio fue menor (27.4% y 12.8% respectivamente), que en las muestras de GDDS de trigo y maíz utilizadas por Widyaratne y Zijlstra (2007), lo que se relaciona también con el

menor contenido de AA en este estudio excepto para lisina. El contenido de EE, FC, FDA y cenizas en el GDDS de maíz en nuestro estudio son menores en un 17.9, 20.71, 41.71, 19.4% respectivamente mientras que para el GDDS de trigo el contenido de FC, FDA y cenizas en el presente estudio son menores en un 11.84, 55.35 y 6.41% respectivamente.

Stein et al. (2006) compararon la composición química y nutricional de GDDS de maíz procedentes de 10 plantas diferentes productoras de etanol, en donde se observa que los valores obtenidos en este estudio son similares, excepto para MS en donde los valores en nuestro estudio son mayores. En cuanto al contenido de AA son similares excepto para lisina y glutamina los cuales son 5.38 y 2.6% mayor en este estudio comparado con el valor mas alto de las 10 muestras utilizadas por Stein et al. (2006).

Esto es debido a que existe variación en el proceso de fermentación y temperatura de secado entre diferentes plantas productoras de etanol, además, la variación nutricional en el trigo y maíz empleados para la producción influye en la variación del GDDS de trigo y maíz.

## **Extrusión**

El proceso de extrusión comprende la combinación de todos los ingredientes que juntos se cocinan bajo condiciones de alta presión con incremento de temperatura (Cheeke, 2005). En este proceso la composición química y física puede ser modificada afectando así la palatabilidad y el sabor de los ingredientes (Bjork et al., 1985).

Actualmente no existe información en la composición y digestibilidad de GDDS de trigo y maíz extrudidos en cerdos. En el presente estudio, la DIA de EB, MS y PC

incremento con el proceso de extrusión en las dietas que contenían maíz GDDS, no observándose mejoría en las dietas a base de GDDS de trigo.

Muley et al., (2006) observaron un incremento del 5.6% en la digestibilidad de la MS en la dieta que contenía maíz extrudido comparada con la dieta que solo contenía maíz sin extrudir. Además, se incremento la concentración de metionina en un 7.40% en la dieta con maíz extrudido, no observándose incremento para el resto de AA.

En otros estudios con cerdos no se han observado resultados consistentes relacionados con el efecto de la extrusión en la digestibilidad de nutrientes. Se observó un incremento en la DIE de la MS, PC y AA en las dietas que contenían GDDS de maíz extrudidas comparadas con la dietas a base de GDDS de maíz sin extrudir excepto para cisteína, glicina y prolina en donde no existieron diferencias. El proceso de extrusión en el GDDS de maíz incremento la DATT en las dietas para MS, MO, EB, ED, PC, EE y cenizas, mientras que en los ingredientes incremento en MS, MO, EB, ED, PC y EE. En un estudio previo, el proceso de extrusión no afecto la DATT y DIA de PC y AA esenciales (Herkelman et al., 1990).

### **Extrusión sencilla y doble**

Actualmente no existe información en la composición y digestibilidad de GDDS en dietas base trigo y maíz extrudidos con tornillo sencillo y doble para la alimentación de cerdos.

En el presente estudio el proceso de extrusión con tornillo doble en la dieta que contenía GDDS de trigo mejoro la DIA y la DIE de PC comparada con la dieta que contenía GDDS de trigo extrudida con tornillo sencillo. Mientras que la DIE de los AA

esenciales y no esenciales solo tuvo diferencia leucina, metionina, alanina y ácido aspártico mejorando en las dietas de trigo extrudidas con tornillo doble comparada con la dieta extrudida con tornillo sencillo. Se observó que mejoró la digestibilidad de fenilalanina en la dieta de GDDS de maíz extrudida con tornillo sencillo comparada con la dieta de maíz GDDS extrudida con tornillo doble.

Htoo et al. (2008) no observaron diferencias en la DIA y DATT de dietas que contenían semillas de lino y frijol extrudidas con tornillo sencillo y doble.

La DATT en dietas se observó aumento en energía digestible y extracto etéreo en las dietas que contenían GDDS de maíz extrudido con tornillo sencillo comparada con la dieta a base de GDDS de maíz extrudida con tornillo doble.

## Literatura citada

- Adeola, O. 2001. Digestion and balance techniques in pigs. Pages 903-916 in Swine Nutrition. A. L. Lewis and L. L. Southern, ed. CRC press LLC, Boca Raton, FL.
- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis. 15th ed. Assoc. Offic. Anal. Chem. Arlington, VA.
- Beltranena, E., and Zijlstra R. 2008. Containing feed cost using biofuel coproducts. Pages 263-273. In: Advances in pork production Banff pork seminar.
- Cheeke, P. R. 2005. Applied animal nutrition feeds and feeding. third edition. Pearson prentice Hall edit. New Jersey.
- Cromwell, G. L., Herkelman, K. L., and T. S. Sthaly. 1993. Physical, chemical, and nutritional characteristics of distillers dried grains with solubles for chicks and pigs. J Anim Sci 1993. 71:679-686.
- Dust, J. M., Gajda, A. M., Flickinger, E. A., Burkhalter, T. M., Merchen, N. R., and G. C. Fahey. 2004. Extrusion conditions affect chemical composition and in vitro Digestion of select food ingredients. J. Agric. Food Chem.. 52:2989-2996.
- Fastinger, N. D. and Mahan, D. C. 2006. Determination of the ileal amino acid and energy digestibilities of corn distillers dried grains with solubles using grower-finisher pigs. J. Anim. Sci 84:1722-1728.
- Fenton, T. W. and Fenton, M. 1979. An improved procedure for the determination of chromic oxide in feed and feces. Can. J. Anim. Sci. 59: 631-634
- Herkelman, K. L., Rodhouse, S. L., Veum T. L. and M. R. Ellersieckl. 1990. Effect of extrusion on the ileal and fecal digestibilities of lysine in yellow corn in diets for young pigs. J Anim Sci 1990. 68:2414-2424.

- Htoo, J. K., Meng, X., Patience, J. F., Dugan, M. E. R., and R. T. Zijlstra. 2008. Effects of coextrusion of flaxseed and field pea in the digestibility of energy, ether extract, fatty acids, protein and amino acids in grower-finisher pigs. *J Anim. Sci.* 86:2942-2951
- Lan, Y, Opapeju, F. O., Nyachoti, C. M., 2007. True ileal protein and amino acid digestibilities in wheat dried distillers grains with solubles fed to finishing pig. *Animal feed Science and technology* 140:155-163.
- Lumpkins, B. S., A. B. Batal, and N. M. Dale. 2004. Evaluation of distillers dried grains with solubles as a feed ingredient for broilers. *Poultry Sci.* 83:1891–1896.
- Muley, N. S., van Heugten, E., Moeser, A. J., Rausch, K. D., and T. A. T. G. Van Kempen. 2007. Nutritional value for swine of extruded corn and corn fractions obtained after dry milling. *J. Anim Sci.* 85:1695-1701
- Mustafa, A. F., J. J. McKinnon and D. A. Christensen. 1999. Chemical characterization and in vitro crude protein degradability of thin stillage derived from barley- and wheat-based ethanol production. *Anim. Feed Sci. Technol.* 80:247–256.
- NRC. 1998. *Nutrient Requirements of Swine*. 10th ed. National Academy Press, Washington, DC.
- Nyachoti, C.M., House, J.D., Slominski, B. A. and Seddon, L. R. 2005. Energy and nutrient digestibilities in wheat dried distillers grains with solubles fed to growing pigs. *J. Sci. Food Agric.* 85:2581-2586
- Pahm, A. A., pederse, C., Hoehler, D., and H. H. Stein. 2008. Factors affecting the variability in ileal amino acid in corn distillers dried grain whit solubles fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 86:2180-2189.
- Patience, J. F., Leterme, P., Beaulieu, A. D., and R. T. Zijlstra. 2007. Utilization in swine diets of distillers dried grains derived from corn or wheat used in ethanol production. Pages 89-102.

In Biofuels: implications for the feed industry. Wageningen Academic publishers. The Netherlands.

Sauer, W. C., H. Jorgensen, and R. Berzins. 1983. The modified nylon bag technique for determining apparent digestibilities of protein in feedstuffs for pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 63:233–237.

Shurson, G., Spiels, M. And Whitney, M., 2004. the use of maize distiller's dried grains with solubles in pigs diets. *Pig new and information.* 25(2):75N-83N.

Spielh, M. J., Whifney, M. H., Shurson, G. C., 2002. Nutrient database for distillers dried grain with solubles processed for new ethanol plants in Minnesota and south Dakota. *J. Anim. Sci.* 80:2639-2645.

Stein, H. H., Pedersen, C., and M. G. Boersma. 2005. Energy and nutrient digestibility in dried distillers grain with solubles. *J. Anim. Sci.* 83(Suppl. 2):79 (Abstr.).

Stein, H. H., Gibson, M. L., Pedersen, C., and M. G. Boersma. 2006. Amino acid and energy digestibility in ten samples of distillers dried grain with solubles fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 84:853:860

Stein, H. H., B. Sève, M. F. Fuller, P. J. Moughan, and C. F. M. de Lange. 2007. Invited review: Amino acid bioavailability and digestibility in pig feed ingredients: Terminology and application. *J Anim. Sci.* 85:172-180

Urriola, P. E., D. Hoehler, C. Pedersen, H. H. Stein, L. J. Johnston, G. C. Shurson. 2007. Amino acid digestibility by growing pigs of distillers dried grain with solubles produced from corn, sorghum, or a corn-sorghum blend. *J. Anim. Sci.* 85(Suppl. 2): (Abstr.).

Van Kleef, D. J., K. Deuring, and P. van Leeuwen. 1994. A new method of faeces collection in the pig. *Lab. Anim.* 28:78–79.

Widyaratne, G. P., and R. T. Zijlstra. 2007. Nutritional value of wheat and corn distiller's dried grain with solubles: digestibility and digestible contents of energy, amino acids and phosphorus, nutrient excretion and growth performance of grower-finisher pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 87: 103-114.

Cuadro 6. Composición analizada de los granos de destilería desecados con solubles (GDDS) de trigo y maíz y su correspondiente tipo de extrusión (sencilla o doble)

| Variable                | GDDS Trigo      |                       |                    | GDDS Maíz       |                       |                    |
|-------------------------|-----------------|-----------------------|--------------------|-----------------|-----------------------|--------------------|
|                         | Extrusión       |                       |                    | Extrusión       |                       |                    |
|                         | No <sup>1</sup> | Sencillo <sup>2</sup> | Doble <sup>1</sup> | No <sup>1</sup> | Sencillo <sup>2</sup> | Doble <sup>1</sup> |
| Materia Seca, %         | 91.84           | 92.28                 | 93.43              | 91.41           | 92.77                 | 93.78              |
| Proteína Cruda, %       | 32.30           | 31.30                 | 30.88              | 26.40           | 27.06                 | 27.12              |
| EB, cal/kg <sup>3</sup> | 4706            | 4806                  | 4929               | 4785            | 4879                  | 4895               |
| Extracto Etéreo, %      | 6.18            | 7.69                  | 8.42               | 10.51           | 11.41                 | 11.07              |
| Almidón, %              | 0.57            | 1.34                  | 2.44               | 4.59            | 6.75                  | 6.08               |
| Fibra Cruda, %          | 6.70            | 5.99                  | 5.53               | 5.55            | 4.36                  | 4.46               |
| FDA, %                  | 9.42            | 9.42                  | 9.45               | 8.51            | 7.87                  | 8.24               |
| FDN, %                  | 40.93           | 33.40                 | 38.75              | 33.49           | 28.41                 | 28.79              |
| Cenizas, %              | 4.96            | 4.82                  | 4.73               | 3.87            | 3.98                  | 3.95               |
| Ca, %                   | 0.20            | 0.16                  | 0.13               | 0.05            | 0.05                  | 0.05               |
| P, %                    | 0.88            | 0.83                  | 0.85               | 0.71            | 0.70                  | 0.73               |
| AA Esenciales, %        |                 |                       |                    |                 |                       |                    |
| Arginina                | 1.46            | 1.50                  | 1.49               | 1.18            | 1.21                  | 1.28               |
| Histidina               | 0.71            | 0.76                  | 0.76               | 0.71            | 0.73                  | 0.75               |
| Isoleucina              | 1.25            | 1.33                  | 1.32               | 1.04            | 1.08                  | 1.11               |
| Leucina                 | 2.41            | 2.61                  | 2.70               | 3.07            | 3.08                  | 3.18               |
| Lisina                  | 0.96            | 0.99                  | 1.00               | 0.93            | 0.92                  | 0.99               |
| Lisina Disponible       | 0.78            | 0.82                  | 0.86               | 0.84            | 0.84                  | 0.91               |
| Metionina               | 0.52            | 0.53                  | 0.55               | 0.50            | 0.51                  | 0.55               |
| fenilalanina            | 1.63            | 1.67                  | 1.68               | 1.36            | 1.38                  | 1.43               |
| Treonina                | 1.05            | 1.07                  | 1.08               | 0.99            | 0.99                  | 1.02               |
| Triptófano              | 0.34            | 0.32                  | 0.34               | 0.19            | 0.20                  | 0.21               |
| Valina                  | 1.52            | 1.61                  | 1.61               | 1.36            | 1.41                  | 1.46               |
| AA no esenciales %      |                 |                       |                    |                 |                       |                    |
| Alanina                 | 1.31            | 1.45                  | 1.51               | 1.83            | 1.86                  | 1.93               |
| Acido Aspártico         | 1.69            | 1.78                  | 1.79               | 1.72            | 1.75                  | 1.84               |
| Cisteína                | 0.58            | 0.62                  | 0.61               | 0.49            | 0.49                  | 0.52               |
| Acido glutámico         | 7.40            | 7.74                  | 7.15               | 3.88            | 3.99                  | 4.19               |
| Glicina                 | 1.36            | 1.41                  | 1.39               | 1.05            | 1.11                  | 1.14               |
| Prolina                 | 2.73            | 2.69                  | 2.71               | 1.88            | 1.88                  | 1.95               |
| Serina                  | 1.39            | 1.39                  | 1.36               | 1.15            | 1.13                  | 1.17               |
| Tirosina                | 1.13            | 1.13                  | 1.17               | 1.00            | 0.99                  | 1.05               |
| Total del AA, %         | 29.74           | 30.99                 | 30.53              | 24.63           | 25.07                 | 26.08              |

<sup>1</sup>Promedio de análisis por triplicado

<sup>2</sup>Promedio de análisis por duplicado

<sup>3</sup>Promedio de análisis por cuadruplicado

Cuadro 7. Composición de ingredientes de las dietas experimentales, (tal como se ofreció)

| Ingredientes, %                | Trigo GDDS <sup>1</sup> o<br>Extrudido | Maíz GDDS <sup>2</sup> o<br>Extrudido | Libre - N |
|--------------------------------|--|---------------------------------------|-----------|
| Almidón de maíz <sup>3</sup>   | 52.37                                  | 33.90                                 | 85.33     |
| Trigo GDDS o extrudido         | 40.00                                  | -                                     | -         |
| Maíz GDDS o extrudido          | -                                      | 60.00                                 | -         |
| Azúcar                         | 3.04                                   | 1.95                                  | 5.00      |
| Solka flok <sup>6</sup>        | -                                      | -                                     | 3.00      |
| Aceite de Canola               | 1.22                                   | 0.78                                  | 2.00      |
| Piedra Caliza                  | 1.50                                   | 1.50                                  | 1.00      |
| Fosfato de mono/dicálcico      |  |                                       | 1.20      |
| Sal                            | 0.50                                   | 0.50                                  | 0.50      |
| Premix Vitaminico <sup>7</sup> | 0.50                                   | 0.50                                  | 0.50      |
| Premix Mineral <sup>8</sup>    | 0.50                                   | 0.50                                  | 0.50      |
| Carbonato de potasio           | -                                      | -                                     | 0.50      |
| Oxido de Magnesio              | -                                      | -                                     | 0.10      |
| Oxido Crómico                  | 0.38                                   | 0.38                                  | 0.38      |
| Total                          | 100.00                                 | 100.00                                | 100.00    |

<sup>1</sup>Trigo, granos de destilería desecados con solubles (GDDS), Husky Energy, Lloydminster, SK

<sup>2</sup>Maíz, granos de destilería desecados con solubles (GDDS), Unifeed, Edmonton, AB

<sup>3</sup>Melajel, National Starch and Chemical Company, city, state, US

<sup>4</sup>Oleat Processing Ltd., Regina, SK.

<sup>5</sup>Alberta Agriculture and Rural Development, Brooks, AB

<sup>6</sup>International Fiber Corporation, North Tonawanda, NY

<sup>7</sup>proporción por kilogramo de dieta: Vitamina A, 82 500 UI; Vitamina D<sub>3</sub>, 8 250 UI; Vitamina E, 400 UI; Menadiona, 40 mg; Tiamina, 10 mg; Riboflavina, 50 mg; Niacina, 350 mg; D-Acido Pantoténico, 150 mg; Vitamina B<sub>12</sub>, 0.25 mg; Biotina, 2 mg y Acido Fólico, 20 mg.

<sup>8</sup>proporción por kilogramo de dieta: Cobre, 500 mg; Hierro, 800 mg; Manganeso, 250 mg; Zinc, 1 000 mg; Yodo, 5 mg y Selenio, 1 mg.

Cuadro 8. Composición analizada de las dietas experimentales1 (tal como se ofreció)

| Variable                | GDDS Trigo      |          |       | GDDS maíz       |          |       | Libre-N |
|-------------------------|-----------------|----------|-------|-----------------|----------|-------|---------|
|                         | Extrusión       |          |       | Extrusión       |          |       |         |
|                         | No <sup>2</sup> | Sencillo | Doble | No <sup>2</sup> | Sencillo | Doble |         |
| Materia Seca, %         | 91.60           | 92.14    | 92.53 | 91.60           | 92.91    | 93.04 | 89.22   |
| Proteína Cruda, %       | 14.71           | 13.88    | 14.40 | 15.87           | 16.63    | 16.63 | 0.56    |
| EB, cal/kg <sup>3</sup> | 4097            | 4157     | 4142  | 4294            | 4408     | 4388  | 3755    |
| Extracto etéreo, %      | 3.67            | 4.41     | 4.47  | 7.09            | 7.81     | 7.17  | 1.55    |
| Fibra Cruda, %          | 2.95            | 2.73     | 2.63  | 3.53            | 3.55     | 2.94  | 1.70    |
| Cenizas, %              | 4.39            | 4.49     | 4.48  | 4.91            | 5.00     | 4.87  | 3.32    |
| Ca, %                   | 0.79            | 1.20     | 0.77  | 0.76            | 0.78     | 0.69  | 0.64    |
| P, %                    | 0.37            | 0.35     | 0.38  | 0.44            | 0.46     | 0.46  | 0.27    |
| AA Esenciales, %        |                 |          |       |                 |          |       |         |
| Arginina                | 0.64            | 0.61     | 0.62  | 0.73            | 0.75     | 0.76  | 0.01    |
| Histidina               | 0.31            | 0.30     | 0.31  | 0.44            | 0.45     | 0.46  | 0.00    |
| Isoleucina              | 0.53            | 0.52     | 0.52  | 0.64            | 0.65     | 0.66  | 0.01    |
| Leucina                 | 1.05            | 1.07     | 1.14  | 1.89            | 1.92     | 1.96  | 0.04    |
| Lisina                  | 0.42            | 0.40     | 0.41  | 0.58            | 0.57     | 0.59  | 0.01    |
| Metionina               | 0.22            | 0.21     | 0.23  | 0.30            | 0.30     | 0.32  | 0.00    |
| fenilalanina            | 0.66            | 0.65     | 0.65  | 0.81            | 0.83     | 0.84  | 0.01    |
| Treonina                | 0.45            | 0.44     | 0.45  | 0.59            | 0.61     | 0.61  | 0.00    |
| Triptofano              | 0.15            | 0.14     | 0.15  | 0.12            | 0.14     | 0.15  | 0.01    |
| Valina                  | 0.66            | 0.64     | 0.65  | 0.84            | 0.86     | 0.87  | 0.01    |
| AA no esenciales, %     |                 |          |       |                 |          |       |         |
| Alanina                 | 0.60            | 0.61     | 0.66  | 1.15            | 1.18     | 1.21  | 0.03    |
| Acido Aspártico         | 0.76            | 0.76     | 0.78  | 1.07            | 1.10     | 1.11  | 0.02    |
| Cisteína                | 0.25            | 0.25     | 0.25  | 0.29            | 0.29     | 0.30  | 0.01    |
| Glutamina               | 3.59            | 3.37     | 3.31  | 2.56            | 2.68     | 2.68  | 0.08    |
| Glicina                 | 0.60            | 0.58     | 0.58  | 0.66            | 0.69     | 0.70  | 0.02    |
| Prolina                 | 1.21            | 1.14     | 1.17  | 1.20            | 1.21     | 1.22  | 0.06    |
| Serina                  | 0.59            | 0.57     | 0.59  | 0.68            | 0.70     | 0.70  | 0.02    |
| Tirosina                | 0.42            | 0.42     | 0.43  | 0.58            | 0.60     | 0.61  | 0.01    |
| Total de AA, %          | 13.24           | 12.82    | 13.01 | 15.30           | 15.74    | 15.94 | 0.41    |

<sup>1</sup>Promedio de análisis por triplicado.

<sup>2</sup>Granos de destilería desecados con solubles.

<sup>3</sup>Promedio de análisis por cuadruplicado.

Cuadro 9. Efecto de granos de destilería desecados con solubles (GDDS) de trigo o maíz y el tipo de extrusión (tornillo sencillo o doble) en la digestibilidad ileal aparente de energía bruta, materia seca y proteína cruda

| Variable                                  | GDDS Trigo |          |       | GDDS Maíz |          |       | SEM   | <i>Valores-P</i> |           |                      |
|---|------------|----------|-------|-----------|----------|-------|-------|------------------|-----------|----------------------|
|   | Extrusión  |          |       | Extrusión |          |       |       | Grano            | Extrudido | Grano *<br>Extrudido |
|   | No         | Sencillo | Doble | No        | Sencillo | Doble |       |                  |           |                      |
| Ileal:<br>Energía <sup>a,b</sup><br>Bruta | 74.15      | 74.43    | 74.66 | 68.12     | 72.49    | 72.26 | 0.847 | <0.0001          | 0.0106    | 0.0382               |
| Materia <sup>a,b</sup><br>Seca            | 73.57      | 72.97    | 73.68 | 66.12     | 69.41    | 69.11 | 0.855 | <0.0001          | 0.1560    | 0.0725               |
| Proteína <sup>b,c</sup><br>Cruda          | 68.74      | 67.40    | 71.02 | 65.75     | 70.97    | 70.86 | 1.105 | 0.8801           | 0.0062    | 0.0185               |

<sup>a</sup> GDDS trigo no extrudido vs GDDS Maíz no extrudido: P < 0.05

<sup>b</sup> GDDS maíz no extrudido vs GDDS maíz extrudido P < 0.05

<sup>c</sup> GDDS trigo extrudido sencillo vs GDDS trigo extrudido doble P < 0.05

Cuadro 10. Efecto de granos de destilería desecados con solubles (GDDS) de trigo o maíz y el tipo de extrusión (tornillo sencillo o doble) en la digestibilidad ileal estandarizada de nutrientes

| Variable                    | GDDS Trigo |          |       | GDDS Maíz |          |       | SEM   | <i>Valores-P</i> |           |                   |
|-----------------------------|------------|----------|-------|-----------|----------|-------|-------|------------------|-----------|-------------------|
|                             | Extrusión  |          |       | Extrusión |          |       |       | Grano            | Extrudido | Grano * Extrudido |
|                             | No         | Sencillo | Doble | No        | Sencillo | Doble |       |                  |           |                   |
| Materia <sup>a,b</sup>      |            |          |       |           |          |       |       |                  |           |                   |
| Seca                        | 64.63      | 63.14    | 64.90 | 57.18     | 62.66    | 62.17 | 1.705 | 0.0142           | 0.2850    | 0.1250            |
| Energía Bruta               | 68.63      | 69.34    | 69.89 | 64.59     | 71.88    | 71.50 | 3.724 | 0.9879           | 0.3133    | 0.5048            |
| Proteína <sup>b,c</sup>     |            |          |       |           |          |       |       |                  |           |                   |
| Cruda                       | 70.16a     | 68.94    | 72.49 | 67.07b    | 72.24    | 72.14 | 1.104 | 0.9559           | 0.0066    | 0.0235            |
| AA Esenciales %             |            |          |       |           |          |       |       |                  |           |                   |
| Arginina <sup>b</sup>       | 78.76      | 78.78    | 80.57 | 78.21     | 82.50    | 82.55 | 1.346 | 0.1130           | 0.0623    | 0.2659            |
| Histidina <sup>a,b</sup>    | 74.16      | 74.19    | 76.32 | 75.87     | 80.39    | 79.60 | 1.062 | <.0001           | 0.0039    | 0.0410            |
| Isoleucina <sup>b</sup>     | 76.01      | 77.01    | 77.48 | 74.46     | 80.33    | 78.50 | 1.031 | 0.1229           | <.0001    | 0.0061            |
| Leucina <sup>a,b,c,d</sup>  | 80.63      | 82.24    | 83.87 | 84.64     | 89.18    | 87.75 | 0.775 | <.0001           | <.0001    | 0.0084            |
| Lisina <sup>a,b</sup>       | 50.66      | 49.20    | 51.37 | 53.58     | 60.29    | 58.82 | 1.769 | <.0001           | 0.0802    | 0.0206            |
| Metionina <sup>a,b,c</sup>  | 80.66      | 80.66    | 82.84 | 80.84     | 86.23    | 85.19 | 0.726 | <.0001           | <.0001    | 0.0001            |
| Fenilalanina <sup>b,e</sup> | 82.41      | 83.05    | 83.76 | 80.48     | 85.53    | 83.98 | 0.789 | 0.5615           | <.0001    | 0.0009            |
| Treonina <sup>a,b</sup>     | 61.43      | 61.05    | 62.89 | 61.49     | 66.59    | 65.12 | 1.512 | 0.0108           | 0.0697    | 0.0798            |
| Triptófano <sup>a,b</sup>   | 80.32      | 78.05    | 80.22 | 72.86     | 78.45    | 78.63 | 1.408 | 0.0016           | 0.0326    | 0.0013            |
| Valina <sup>a,b</sup>       | 71.31      | 72.12    | 73.49 | 72.47     | 78.45    | 76.97 | 1.150 | <.0001           | 0.0001    | 0.0109            |
| AA no Esenciales %          |            |          |       |           |          |       |       |                  |           |                   |
| Alanina <sup>a,b,c,d</sup>  | 70.10      | 71.94    | 74.38 | 80.52     | 84.94    | 83.60 | 1.057 | <.0001           | 0.0001    | 0.0866            |
| Ac. <sup>a,b,c</sup>        |            |          |       |           |          |       |       |                  |           |                   |
| Aspártico                   | 54.76      | 54.42    | 58.26 | 64.81     | 69.98    | 69.31 | 1.566 | <.0001           | 0.0115    | 0.0833            |
| Cisteína                    | 70.39      | 68.85    | 70.10 | 68.78     | 70.88    | 70.68 | 1.584 | 0.7550           | 0.8206    | 0.3725            |
| Ac <sup>a,b</sup>           | 87.86      | 87.62    | 88.20 | 81.59     | 85.74    | 85.10 | 0.819 | <.0001           | 0.0056    | 0.0051            |
| Glutámico                   |            |          |       |           |          |       |       |                  |           |                   |
| Glicina                     | 61.93      | 60.58    | 63.61 | 58.47     | 62.85    | 63.94 | 3.841 | 0.9067           | 0.4963    | 0.6264            |
| Prolina                     | 74.29      | 80.68    | 78.03 | 72.13     | 76.37    | 69.29 | 8.246 | 0.3574           | 0.6954    | 0.8753            |
| Serina <sup>b</sup>         | 73.12      | 73.33    | 75.15 | 72.37     | 76.62    | 76.02 | 0.950 | 0.1497           | 0.0112    | 0.1122            |
| Tirosina <sup>a,b</sup>     | 78.95      | 80.07    | 80.87 | 79.87     | 84.53    | 83.93 | 0.884 | <.0001           | <.0001    | 0.0189            |
| Total % <sup>b</sup>        | 75.42      | 75.15    | 76.93 | 73.88     | 78.22    | 77.62 | 1.366 | 0.4470           | 0.0772    | 0.1614            |

<sup>a</sup> GDDS trigo no extrudido vs GDDS maíz no extrudido P < 0.05

<sup>b</sup> GDDS maíz extrudido vs GDDS maíz no extrudido P < 0.05

<sup>c</sup> GDDS trigo extrudido sencillo vs GDDS trigo extrudido doble P < 0.05

<sup>d</sup> GDDS trigo extrudido vs GDDS trigo no extrudido P < 0.05

<sup>e</sup> GDDS maíz extrudido sencillo vs GDDS maíz extrudido doble

Cuadro 11. Efecto de trigo o maíz GDDS y el tipo de extrusión (tornillo sencillo o doble) en la Digestibilidad aparente del tracto total de dietas e ingredientes

| Variable                                 | GDDS Trigo |          |         | GDDS Maíz |          |         | SEM    | <i>Valores-P</i> |           |                     |
|--|------------|----------|---------|-----------|----------|---------|--------|------------------|-----------|---------------------|
|  | Extrudido  |          |         | Extrudido |          |         |        | Grano            | extrudido | Grano*<br>extrudido |
|  | No         | Sencillo | Doble   | No        | Sencillo | Doble   |        |                  |           |                     |
| <b><i>Dietas</i></b>                     |            |          |         |           |          |         |        |                  |           |                     |
| Materia <sup>a,b</sup><br>Seca           | 84.23      | 84.46    | 84.78   | 77.87     | 79.86    | 79.37   | 0.406  | <0.0001          | 0.0006    | 0.0163              |
| Materia <sup>a,b</sup><br>Orgánica       | 86.23      | 86.44    | 86.65   | 79.84     | 81.62    | 81.23   | 0.405  | <0.0001          | 0.0019    | 0.0313              |
| Energía <sup>a,b</sup><br>Bruta          | 83.84      | 84.51    | 84.68   | 77.13     | 80.26    | 79.53   | 0.495  | <0.0001          | <0.0001   | 0.0091              |
| Energía <sup>a,b,c,d</sup><br>Digestible | 3748       | 3812     | 3788    | 3616      | 3809     | 3752    | 23.124 | 0.0004           | <0.0001   | 0.0023              |
| Proteína <sup>a,b</sup><br>Cruda         | 78.35      | 77.41    | 78.86   | 75.13     | 77.42    | 76.49   | 0.7191 | 0.0002           | 0.2413    | 0.0154              |
| Extracto <sup>a,b,c,d</sup><br>Etéreo    | 88.02      | 90.26    | 90.11   | 85.04     | 91.02    | 89.54   | 0.635  | 0.0338           | <0.0001   | 0.0032              |
| Cenizas <sup>b</sup>                     | 44.11      | 45.49    | 47.56   | 41.81     | 48.54    | 45.24   | 1.895  | 0.6815           | 0.0282    | 0.1305              |
| <b><i>Ingredientes</i></b>               |            |          |         |           |          |         |        |                  |           |                     |
| Materia <sup>a,b</sup><br>Seca           | 73.92      | 74.49    | 75.39   | 68.91     | 72.26    | 71.38   | 1.436  | <0.0001          | 0.0903    | 0.3830              |
| Materia <sup>a,b</sup><br>Orgánica       | 75.19      | 75.71    | 76.34   | 70.29     | 73.30    | 72.58   | 1.425  | <0.0001          | 0.1649    | 0.4915              |
| Energía <sup>a,b</sup><br>Bruta          | 72.03      | 73.71    | 74.25   | 67.43     | 72.69    | 71.41   | 1.861  | 0.0118           | 0.0204    | 0.4013              |
| Energía <sup>a,b,c</sup><br>Digestible   | 3690.43    | 3839.87  | 3918.52 | 3531.38   | 3824.40  | 3727.92 | 96.869 | 0.0348           | 0.0026    | 0.3976              |
| Proteína <sup>a,b</sup><br>Cruda         | 79.18      | 78.32    | 79.74   | 75.92     | 78.19    | 77.27   | 0.707  | <0.0001          | 0.2130    | 0.0169              |
| Extracto<br>etéreo                       | 86.46      | 90.48    | 89.39   | 84.27     | 91.36    | 90.42   | 2.39   | 0.9681           | 0.0546    | 0.7496              |
| Cenizas <sup>a</sup>                     | 65.58      | 71.53    | 77.76   | 57.05     | 67.54    | 62.82   | 5.413  | 0.0144           | 0.1000    | 0.4462              |

a GDDS trigo no extrudido vs GDDS maíz no extrudido P < 0.05

b GDDS maíz extrudido vs GDDS maíz no extrudido P < 0.05

c GDDS trigo extrudido vs GDDS trigo no extrudido P < 0.05

d GDDS maíz extrudido sencillo vs GDDS maíz extrudido doble P < 0.05