

**Evaluación de las cualidades fisicoquímicas
de un alimento balanceado extruído
a base de maíz y harina de soya para
lechones de 28-42 días**

David Estevan Andino Verdy

Honduras
Diciembre, 2006

ZAMORANO
CARRERA DE AGROINDUSTRIA

**Evaluación de las cualidades fisicoquímicas
de un alimento balanceado extruído
a base de maíz y harina de soya para
lechones de 28-42 días**

Proyecto especial presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniero en Agroindustria en el Grado
académico de Licenciatura.

Presentado por:

David Estevan Andino Verdy

Honduras
Diciembre, 2006

El autor concede a Zamorano, permiso
para reproducir y distribuir copias de este
trabajo para fines educativos. Para otras personas
físicas o jurídicas se reservan los derechos de autor.

David Estevan Andino Verdy

Honduras
Diciembre, 2006

**Evaluación de las cualidades fisicoquímicas de
un alimento balanceado extruído a base
de maíz y harina de soya para
lechones de 28-42 días.**

Presentado por:

David Estevan Andino Verdy

Aprobado:

Edward Moncada, M.A.E.
Asesor Principal

Raúl Espinal, Ph.D.
Director
Carrera de Agroindustria

Rogel Castillo, M.Sc.
Asesor

George Pilz, Ph.D.
Decano Académico

Kenneth L. Hoadley, D.B.A.
Rector

DEDICATORIA

A Dios Padre Todopoderoso.

A mis padres amados Julio y Celeste, de quienes me siento muy orgulloso por sus grandes sacrificios, apoyo en todo momento y los ánimos brindados para poder realizar mis estudios universitarios y lograr culminarlos.

A mis queridos hermanos Antonio y Julio.

AGRADECIMIENTOS

El mayor agradecimiento es a mis padres Julio y Celeste, por estar siempre conmigo dándome todo su amor y ayuda, y porque siempre han sido y serán mis modelos a seguir en mi formación.

A toda mi familia por su cariño y apoyo, que en todo momento han estado pendientes de mi desempeño.

A mi asesor Ing. Edward Moncada por su apoyo, sus enseñanzas, sus oportunos y sabios consejos que hicieron posible la realización de este trabajo.

A mi asesor Ing. Rogel Castillo por su comprensión, confianza y ayuda para poder realizar este trabajo.

Al personal de la Unidad de Procesamiento de Granos y las personas de Laboratorios Everest quienes estuvieron involucrados en la realización de este trabajo.

A mi mejor amigo Christian Ramírez.

A todos mis amigos y compañeros por su amistad y ayuda en todo momento.

RESUMEN

Andino, D. 2006. Evaluación de las cualidades físico-químicas de la mezcla extruída de maíz y harina de soya utilizada como base de un alimento balanceado para lechones de 28-42 días. Proyecto Especial del Programa de Ingeniería Agroindustrial. Zamorano, Honduras. 28 p.

El proceso de cocción por extrusión de soya y maíz modifica las estructuras físicas y químicas de sus compuestos; inactiva enzimas y factores antinutricionales que pueden reducir la digestibilidad en alimentos para lechones de 28 a 42 días de vida. El objetivo de este estudio fue determinar los cambios físicos y químicos en la mezcla utilizada como base de un alimento balanceado para lechones post-destete elaborado bajo diferentes condiciones de extrusión. Se midió el grado de gelatinización del alimento, contenido de inhibidores de tripsina, el contenido de nitrógeno proteico, se calculó además el índice de expansión del extruído y se monitorearon las condiciones de temperatura y humedad durante el proceso. La mezcla compuesta de maíz, harina de soya y aceite vegetal fue procesada bajo 3 diferentes condiciones de extrusión, combinando velocidades de alimentación de la mezcla (3.2, 2.5 kg/min) con flujos de agua añadida al barril (0.2, 0.3 y 0.5 L/min). El estudio se realizó en la Unidad de Procesamiento de Granos, Escuela Agrícola Panamericana. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar (DCA) y se compararon los tratamientos usando la separación de medias Duncan. Las mezclas evaluadas presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$) en el grado de gelatinización, contenido de inhibidores de tripsina e índice de expansión; pero, no existió pérdida de nitrógeno proteico. Se determinó que el extruído elaborado con una alimentación de extrusión de 3.2 kg/min y un flujo de agua de 0.3 L/min produjo un balanceado con mejores características, en comparación a los otros parámetros de procesamiento.

Palabras clave: alimentación post-destete, cocción por extrusión, gelatinización.

Edward Moncada, M.A.E.
Asesor Principal

CONTENIDO

| | |
|-------------------------|--|
| Portada..... | i |
| Portadilla | ii |
| Autoría..... | iii |
| Página De Firmas. | iv |
| Dedicatoria | v |
| Agradecimientos..... | vi |
| Resumen | vii |
| Contenido | viii |
| Índice de Cuadros..... | x |
| Índice de Figuras | xi |
| Índice de Anexos | xii |
| | |
| 1 | INTRODUCCIÓN.....1 |
| | |
| 2 | REVISIÓN DE LITERATURA2 |
| 2.1 | GENERALIDADES DE EXTRUSIÓN.....2 |
| 2.2 | DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.....2 |
| 2.3 | CAMBIOS QUÍMICOS Y NUTRITIVOS DURANTE LA EXTRUSIÓN2 |
| 2.3.1 | Almidón.....3 |
| 2.3.2 | Proteínas.....3 |
| 2.3.3 | Vitaminas.....3 |
| 2.4 | INGREDIENTES SUPERIORES DE LA ALIMENTACIÓN EN LECHONES.3 |
| 2.4.1 | Soya.....3 |
| 2.4.2 | Maíz.....4 |
| 2.4.3 | Alimentación del lechón.....4 |
| 2.4.4 | Evaluación del producto final.....4 |
| | |
| 3 | MATERIALES Y MÉTODOS.....6 |
| 3.1 | MATERIALES Y EQUIPOS.....6 |
| 3.1.1 | Descripción del producto.....6 |
| 3.1.2 | Obtención de los tratamientos.....6 |
| 3.1.3 | Equipos de la línea de proceso.....7 |
| 3.1.4 | Materiales y equipos para la recolección de muestras.....8 |
| 3.2 | METODOLOGÍA.....8 |
| 3.2.1 | Proceso para la elaboración de los tratamientos.....8 |
| 3.2.2 | Formulación y mezcla de materias primas.....8 |
| 3.2.3 | Comprobación pre-arranque y arranque del extrusor.....9 |
| 3.2.4 | Operación de la línea de extrusión.....9 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 3.2.5 | Limpieza del extrusor y tornillo..... | 9 |
| 3.3 | DISEÑO EXPERIMENTAL..... | 9 |
| 3.3.1 | Muestreo..... | 10 |
| 3.4 | VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS A MEDIR..... | 10 |
| 3.4.1 | Temperatura..... | 10 |
| 3.4.2 | Humedad de entrada y salida del producto..... | 10 |
| 3.4.3 | Índice de expansión del extruído..... | 10 |
| 3.4.4 | Proteína cruda..... | 10 |
| 3.4.5 | Grado de gelatinización del alimento..... | 10 |
| 3.4.6 | Contenido de inhibidores de tripsina..... | 11 |
| 3.5 | ANÁLISIS DE COSTOS..... | 11 |
| 3.6 | ANÁLISIS ESTADÍSTICO..... | 11 |
| 4 | RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 12 |
| 4.1 | ANÁLISIS PARA EL GRADO DE GELATINIZACIÓN..... | 12 |
| 4.2 | ANÁLISIS DEL CONTENIDO DE INHIBIDORES DE TRIPSINA..... | 14 |
| 4.3 | ANÁLISIS DE LA PROTEÍNA DEL ALIMENTO..... | 15 |
| 4.4 | ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN DEL ALIMENTO..... | 16 |
| 4.5 | ANÁLISIS DE COSTOS..... | 18 |
| 5 | CONCLUSIONES..... | 20 |
| 6 | RECOMENDACIONES..... | 21 |
| 7 | BIBLIOGRAFÍA..... | 22 |
| 8 | ANEXOS..... | 24 |

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro

| | | |
|-----|--|----|
| 1. | Formulación utilizada para la elaboración del alimento balanceado para lechones de 28-42 días..... | 6 |
| 2. | Formulación utilizada para la extrusión de la mezcla de materias primas | 6 |
| 3. | Condiciones de procesado y operación del extrusor | 7 |
| 4. | Descripción y parámetros de extrusión de los tratamientos..... | 10 |
| 5. | Valores medios de los tratamientos del grado de gelatinización de las mezclas extruídas. | 12 |
| 6. | Valores medios de los tratamientos para el porcentaje de humedad de la mezcla a la entrada del extrusor | 13 |
| 7. | Valores medios de los tratamientos para el contenido de inhibidores de tripsina de las mezclas extruídas. | 14 |
| 8. | Valores medios de los tratamientos para las temperaturas durante el proceso de extrusión..... | 14 |
| 9. | Valores medios de los tratamientos para el contenido de proteína de los tratamientos..... | 16 |
| 10. | Valores medios de los tratamientos para la índice de expansión del alimento a la salida del troquel..... | 16 |
| 11. | Valores medios de los tratamientos para el contenido de humedad del extruído a la salida del troquel | 17 |
| 12. | Costo de la energía para la línea de extrusión..... | 18 |
| 13. | Destalle de los costos de operación por hora del proceso de extrusión. | 18 |
| 14. | Resultados de la dieta extruída en términos de eficiencias | 19 |

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura

1. Efecto del porcentaje de humedad a la entrada en el grado de gelatinización del alimento para los tratamientos. 13
2. Efecto de la temperatura en la reducción del contenido de inhibidores de tripsina de los extruídos (UIT/mg). 15
3. Efecto de la humedad de salida del extruído sobre el índice de expansión del alimento. 17

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo

| | | |
|----|--|----|
| 1. | Efecto de la humedad del producto extruído sobre el costo de producción y eficiencia alimentaria | 25 |
| 2. | Patrón de desarrollo de las enzimas digestivas en los lechones..... | 26 |
| 3. | Ensamblaje del tornillo..... | 27 |
| 4. | Zonas del barril donde se genera el proceso de extrusión..... | 28 |
| 5. | Diagrama del flujo para la elaboración de los tratamientos, mezclas extruídas | 29 |

1. INTRODUCCIÓN

La calidad de alimentación del lechón recién destetado está vinculada con la productividad futura de los cerdos, por lo que el alimento que se ofrezca tendrá un efecto significativo en los rendimientos. El lechón necesita una dieta altamente digerible y balanceada debido al bajo potencial de ingestión e inmadurez fisiológica del mismo (Campabadal, 1996).

Los principales ingredientes usados en las dietas postdestete de Zamorano son maíz y soya, estas materias primas presentan ciertas desventajas, como las estructuras complejas en el almidón de maíz, además la presencia de factores antinutricionales de la soya discute su uso en la alimentación de lechones, por los efectos negativos que estos tienen sobre su desarrollo fisiológico.

El sistema de cocción por extrusión puede transformar las texturas, características químicas y físicas de las materias primas, haciendo posible la unificación de diferentes ingredientes y consigue combinarlo dentro del equipo, éstas modificaciones son una manera alternativa para mejorar las propiedades digestibles de los componentes (Riaz, 2000). Por otra parte son considerados como nutrimentos de alta calidad y bajo riesgo debido a que el uso de la tecnología de extrusión provoca un nivel de esterilización de los ingredientes. Las necesidades exigentes de las dietas porcinas modernas por balanceados de máxima calidad fundamentan a los extruídos como un alimento para lechones competitivo y conveniente por su alto valor nutritivo, palatabilidad y digestibilidad (Wiseman, 1993).

El objetivo principal de este estudio es evaluar los cambios físicos y químicos en la mezcla extruída utilizada como base para un alimento balanceado para lechones elaborado bajo diferentes condiciones de humedad y alimentación del extrusor.

Usando diferentes condiciones de extrusión, se pretende determinar el flujo de agua añadida y la velocidad de alimentación de la mezcla en el extrusor para evaluar su efecto sobre la expansión del extruído, el grado de gelatinización y el contenido de factores antinutricionales y establecer los costos variables en la producción del alimento extruído para lechones de 28-42 días.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 GENERALIDADES DE EXTRUSIÓN

Según Riaz (2000), en el proceso de extrusión un material alimentario es forzado a fluir bajo una o más variables de condiciones de mezclado, calentamiento y cizalla, a través de un troquel o matriz para moldear, secar e inflar los ingredientes.

Algunas de las ventajas en la aplicación de la tecnología de extrusión contra los métodos tradicionales de cocción y moldeado son: la adaptabilidad del equipo a una amplia variedad de productos, menor costo, alta productividad y superior calidad del producto. El sistema de extrusión puede operar bajo varias condiciones de procesado para conseguir un conjunto de cualidades del producto final (Riaz, 2000).

2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Según Valls (1993), el proceso de extrusión involucra una serie de componentes primordiales para su operación y funcionamiento: que la mezcla de materias primas sean molidas y homogéneas, regular la temperatura del proceso para conseguir la máxima calidad nutritiva del producto y que el agua añadida sea la adecuada para conseguir el nivel de humedad óptimo, la configuración del tornillo y la medida del troquel necesarias para tener una alta producción y el mínimo costo (ver anexo 1). El producto extruído sale con una humedad alrededor de un 18-20% y tiene que someterse a un secado a través de una corriente de aire caliente para llegar a una humedad estable 10-12%.

2.3 CAMBIOS QUÍMICOS Y NUTRITIVOS DURANTE LA EXTRUSIÓN

Riaz (2000) indica que durante la cocción por extrusión pueden tener lugar cinco cambios fisicoquímicos: unión, división, pérdida de la conformación natural, recombinación de fragmentos y degradación térmica. La composición de los materiales alimentarios se altera mediante las pérdidas físicas incluyendo la pérdida de aceite y la evaporación del agua y compuestos volátiles en el troquel. Puesto que la mayoría de reacciones químicas tienen lugar en la porción del cilindro justo antes del troquel.

2.3.1 Almidón

Los granos y tubérculos almidonosos son las fuentes principales de energía en la dieta de lechones, los cambios en el almidón durante la extrusión tienen importantes efectos nutritivos. Una diferencia importante entre la extrusión y otras formas de procesamiento de alimentos es la gelatinización que tiene lugar a niveles de humedad más bajos (12-22%). La estructura ramificada de la amilopectina es propensa al cizallamiento, se homogeniza la estructura celular, igualmente las moléculas de amilasa y amilopectina de la harina de maíz pueden disminuir su masa molecular, la estructura del almidón se hace menos compacta y expande su área superficial (Riaz, 2000).

2.3.2 Proteínas

La desnaturalización es el cambio más importante durante la extrusión, la lisina es el aminoácido más susceptible al tratamiento térmico. La mayoría de enzimas pierden la actividad dentro del extrusor. En la extrusión los enlaces disulfuro se rompen y se pueden reformar, las interacciones electrostáticas e hidrófobas favorecen la formación de agregados insolubles. Se da la creación de nuevos enlaces peptídicos, las proteínas de alta masa molecular se pueden disociar en unidades más pequeñas y la exposición de los puntos susceptibles a las enzimas mejora la digestibilidad (Riaz, 2000).

2.3.3 Vitaminas

Las vitaminas difieren en su composición, su estabilidad durante la extrusión es también variable. Las vitaminas liposolubles, K y D son más estables que las vitaminas A, C, E y sus compuestos carotenoides y tocoferoles son muy susceptibles y se ven reducidas por el calor durante el proceso (120 °C), la tiamina es la más susceptible al tratamiento térmico (Riaz, 2000).

2.4 INGREDIENTES SUPERIORES DE LA ALIMENTACIÓN EN LECHONES

Según Merck (2005) un principio fundamental de la economía de la producción de cerdos es alimentar con granos de cereales más económicos y corregir las deficiencias por la suplementación, las dietas fortificadas de maíz y soya son muy populares.

2.4.1 Soya

La soya es muy palatable y tiene un perfil excelente del aminoácido que complementa el patrón de aminoácidos en cereales; puede nutrir a los cerdos, pero solamente después de un tratamiento térmico por tostado o extrusión, para inactivar los inhibidores de tripsina y otros factores antinutricionales (Merck, 2005). Éstos factores antinutricionales causan desórdenes digestivos en los animales y limita el uso de la harina de soya especialmente en fórmulas para animales jóvenes, los más importantes son los inhibidores de las proteasas y las lectinas (Bruggink, 1993).

2.4.1.1 Inhibidores de las proteasas

El efecto depresivo de estas proteínas inhibidores de las proteasas sobre el crecimiento ha sido atribuido principalmente a la inactivación de la quimotripsina y tripsina, debido a la formación de complejos estables e inactivos (Bruggink, 1993). La disminución de la concentración del contenido intestinal en estas enzimas causa un aumento de las secreciones pancreáticas que tiene como consecuencias un incremento de las pérdidas endógenas, además el páncreas sufre una hipertrofia (Leterme, 2001).

2.4.2 Maíz

El maíz es en gran medida el grano lo más extensamente posible usado para los cerdos de alimentación en los EE.UU., es palatable y alto en energía, pero es relativamente bajo en proteína cruda, es deficiente en lisina, triptófano, treonina y varios otros aminoácidos esenciales, así como las vitaminas y los minerales (Merck, 2005).

Los ingredientes que forman las dietas de lechones posdestete deben ser de excelente calidad. Estos ingredientes son de alto costo. Sin embargo su uso se justifica, por los rendimientos que producen y el bajo consumo de alimento que tienen los lechones en esa etapa. En la primera etapa productiva del cerdo, las fuentes de energía deben ser cereales procesados (avena, maíz o sorgo), mediante procesos de extrusión (Campabadal, 1996).

2.4.3 Alimentación del lechón

El efecto del destete en los lechones, es que su aparato digestivo en las primeras semanas de vida no está maduro (ver anexo 2) y la segregación de maltosa y amilasa son insuficientes para dietas ricas en cereales (Valls, 1993). Durante la fase de amamantado, el lechón recibía un alimento muy digerible y rico en grasa, lactosa y caseína que permitía su rápido desarrollo, después del destete es sometido a raciones secas con almidones, aceites y proteínas vegetales (Roppa, 2002).

En el proceso de extrusión el gránulo de almidón absorbe agua y en el instante de salida del extrusor, el agua sometida a presión pasa a la forma de vapor y el almidón sufre un proceso de alineamiento, rizado y rotura. El suministro de cereales extruídos, con un elevado grado de gelatinización de los almidones, facilita la digestión de los almidones haciendo el conjunto de la dieta más digestible y evitando así problemas sanitarios, favoreciendo un mayor consumo y un mayor crecimiento diario (Campabadal, 1996).

2.4.4 Evaluación del producto final

Según Riaz (2000), los inhibidores de las proteasas pueden ser destruidos por el tratamiento con calor durante la extrusión. Pérez (2000) afirma que una cantidad menor a 4 UIT/mg de inhibidores de tripsina es considerada de buena calidad ya que no afecta al crecimiento de los lechones ni produce daños fisiológicos. Según Riaz (2000) para alcanzar la inactivación completa de inhibidores de tripsina durante el proceso de extrusión de la soya se deben tener altas temperaturas (138- 154 °C).

La expansión ocurre debido a la salida repentina de masa fundida desde el dado del troquel que restringe la salida a muy altas presiones hacia la atmósfera, modificando la textura del extruído. La expansión de extruídos varía de 2 a 25 veces dependiendo el tipo de extrusor y la materia prima particular e ingredientes usados para la extrusión (Patil, 2005).

La digestibilidad del almidón es ampliamente dependiente de la gelatinización completa, el almidón rompe sus enlaces por el calor y aumentan su capacidad de absorción de agua. La alta digestibilidad del almidón es esencial para los alimentos nutritivos especializados tales como los alimentos de destete (Riaz, 2000).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MATERIALES Y EQUIPOS

3.1.1 Descripción del producto

El alimento balanceado fue hecho de acuerdo a la formulación establecida para lechones en la fase de inicio de 28-42 días, utilizada por la Planta de Concentrados de Zamorano (cuadro 1).

Cuadro 1. Formulación utilizada para la elaboración del alimento balanceado para lechones de 28-42 días.

| Ingrediente | Porcentaje |
|---------------------------|-------------------|
| Harina integral de maíz | 63.6 |
| Harina desgrasada de soya | 18 |
| Sal | 0.3 |
| Aceite | 3.1 |
| Núcleo Inicio 28-42 | 15 |

3.1.2 Preparación de los tratamientos

Para la elaboración de los tratamientos se utilizó una mezcla de maíz, harina de soya y aceite cuya formulación se muestra en el cuadro 2.

Cuadro 2. Formulación utilizada para la extrusión de la mezcla de materias primas.

| Ingrediente | Porcentaje |
|---------------------------|-------------------|
| Harina integral de maíz | 75.09 |
| Harina desgrasada de soya | 21.25 |
| Aceite vegetal de maíz | 3.66 |

3.1.3 Equipos de la línea de proceso

A continuación se especifican los equipos utilizados para la operación de extrusión instalados en el área de producción de la Unidad de Procesamiento de Granos de la Escuela Agrícola Panamericana.

- Extrusor INSTA-PRO 600 JR

El extrusor modelo 600 JR es un extrusor de tornillo único segmentado, de 5 roscas móviles que se ensamblan en la sección del tornillo (ver anexo 3). Se clasifica como un extrusor adiabático, porque desarrolla esencialmente todo el calor por fricción y opera bajo definidas condiciones de extrusión (cuadro 3).

Cuadro 3. Condiciones de procesado y operación del extrusor.

| Detalle | Extrusor Modelo 600 JR |
|--------------------------------------|--|
| Velocidad del tornillo (rpm) | 550 |
| Potencia del motor (hp) | 50 |
| Humedad del producto (%) | 15-30 |
| Densidad del producto (g/l) | 160-510 |
| Temperatura máxima del cilindro (°C) | 55-160 |
| Capacidad de producción/hora (kg) | 272-365 |
| Diámetro del tornillo (mm) | 93.66 |
| Tapa con troquel (cm) | 0.6 |
| Roscas segmentadas del tornillo | 5 |
| Segmentos del cilindro | 3 |
| Anillos de fricción (mm) | 82 |
| Productos típicos | Alimentos expandidos Soya texturizada Alimentos expandidos para animales Alimentos semi-húmedos para animales |

La transformación del extruído mediante el proceso de extrusión ocurre en el barril horizontal que consta de tres secciones rosca 600RX-06 separadas cada 30 cm, las zonas del cilindro del extrusor son: zona de alimentación, zona de amasado y zona de cocción final. El extrusor cuenta con 3 termómetros que registran los cambios en el nivel de temperatura para cada zona (ver anexo 4).

Para controlar la alimentación de la mezcla de materias primas, el extrusor cuenta con un dispositivo de alimentación en el panel de controles, que regula el caudal del material que se introduce dentro del extrusor en escala de 0 a 100% de la capacidad de operación.

El extrusor cuenta con un dispositivo de inyección de agua que ajusta el porcentaje de agua añadida al material dentro del cilindro del extrusor.

El tiempo de retención del alimento dentro del barril del extrusor es de 8 a 15 segundos, eso dependerá de la cantidad de material que resbala sobre el tornillo giratorio para conseguir un movimiento hacia la salida. El espacio de fuga entre el tornillo y el cilindro del barril del extrusor es alrededor de 5 mm.

- Secador enfriador

El secador continuo marca Belt-O-Matic, modelo 022E, tiene una velocidad de la corriente de aire de 70 m/min e incluye una fuente de calor para el secado del alimento previo a la extrusión.

- Molino

Molino experimental marca SeedBuro, es operado a 3400 rpm y cuenta con una malla No12/64".

- Mezcladora

La mezcladora horizontal tiene una capacidad de 150 kg.

- Balanza

La balanza digital alcanza un pesaje máximo de 100 kg.

3.1.4 Materiales y equipos para la recolección de muestras

- Molino

El molino para laboratorio marca SampleMill tritura y homogeniza las muestras del alimento que se van analizar.

- Bolsas plásticas de polietileno de baja densidad.

3.2 METODOLOGÍA

3.2.1 Proceso para la elaboración de los tratamientos

Las consideraciones para el proceso de extrusión de la mezcla son: la comprobación pre-arranque y arranque del extrusor, la formulación y mezcla de materias primas, la operación de la línea de extrusión y la limpieza del extrusor y tornillo. El flujo de proceso para la extrusión del alimento se muestra en el anexo 5.

3.2.2 Formulación y mezcla de materias primas

- Las materias primas crudas se reciben y son almacenadas en condiciones de baja humedad y en un lugar libre de contaminación.
- En la elaboración de la mezcla, los ingredientes son pesados acorde con la formulación y mezclados durante 5 minutos para conseguir una combinación homogénea.

3.2.3 Comprobación pre-arranque y arranque del extrusor

Existen varios puntos de comprobación que el operario tiene que verificar para el arranque correcto y seguro del equipo.

- El ensamblaje del tornillo tiene que realizarse en secuencia comprobando visualmente y armando las secciones del extrusor, el tornillo tiene 3 secciones, se acoplan los tornillos de rosca 600RX-06 intercalados con anillos de fricción de 82mm, colocando láminas de presión en cada espacio. Las piezas se ajustan al carril del corazón del tornillo por medio de cuñas colocadas en el carril y se aprieta en el final con el tornillo de rosca invertida (ver anexo 3). El operario ajusta y acopla el barril y la tapa con el troquel, comprobando el ajuste de pernos y piezas en cada sección en cada sección.
- La configuración del programa implica verificar el suministro de electricidad, el suministro de agua, el dispositivo de alimentación y la instrumentación.
- El arranque del extrusor involucra ajustar los suministros de alimentación de la mezcla e introducción de agua a una velocidad media para alcanzar temperaturas de extrusión (mayores a 100 °C).

3.2.4 Operación de la línea de extrusión

Una vez realizadas las comprobaciones del equipo y del programa, el operario fija la velocidad de descarga de la mezcla y el suministro de agua que se introducen al extrusor según los parámetros de operación para cada tratamiento.

La mezclas que se introducen al cilindro y son cocidas. El producto sale por el dado del troquel y se recolecta para someterlo al secado y enfriamiento, pasa por 10 min en promedio por la corriente de aire del secador, hasta alcanzar una reducción de humedad del (10-12 %).

El producto cocido es triturado en el molino experimental. Todos los componentes de la formulación se mezclan y homogenizan durante 8-10 min en las proporciones apropiadas.

3.2.5 Limpieza del extrusor y tornillo

Una vez terminada la operación de extrusión el extrusor se desarma inmediatamente, las piezas del barril y del tornillo se desmontan y previamente se realiza su limpieza.

3.3 DISEÑO EXPERIMENTAL

Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con 4 tratamientos y 3 repeticiones, la combinación de velocidad de alimentación y flujo de agua añadida para conseguir 3 configuraciones para los tratamientos cocidos, cada tanda de extrusión fue una unidad experimental. En el cuadro 4 se presenta la descripción de los tratamientos.

Cuadro 4. Descripción y parámetros de extrusión de los tratamientos.

| Tratamiento | Velocidad de alimentación kg/min | Flujo de agua L/min |
|--------------------|---|--------------------------------|
| T1 | Mezcla cruda, no procesada | |
| T2 | 3.2 | 0.3 |
| T3 | 3.2 | 0.5 |
| T4 | 2.5 | 0.2 |

3.3.1 Muestreo

Las muestras tomadas fueron de 2 kg del extruído, se las recolectó en bolsas plásticas de polietileno de baja densidad hasta que se realizaron los análisis. Las muestras fueron homogenizadas en el molino de laboratorio SampleMill.

3.4 VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS A MEDIR

3.4.1 Temperatura

La temperatura se registró de los termómetros colocados en el barril, la temperatura de la zona final de cocción del barril define el nivel de generación de calor del proceso.

3.4.2 Humedad de entrada y salida del producto

Para determinar el contenido de humedad del material antes y después de extruído se aplicó el método AACC 44-01 Porcentaje de Humedad (AACC, 1993). Se realizó en el horno de secado a 105 °C por 16 h.

3.4.3 Índice de expansión del extruído

Para determinar la tasa de expansión a la salida del extrusor se midió las dimensiones del diámetro del extruído a la salida del troquel con el diámetro del dado del troquel (Patil, 2005).

3.4.4 Proteína cruda

Para la determinación de la proteína cruda del alimento extruído se aplicó el método AACC 46-10 Método de Kjeldahl (AACC, 1993).

3.4.5 Grado de gelatinización del alimento

Para la determinación del grado de gelatinización se aplicó el método de Birch y Priestley Complejo de Amilosa-Yodo (Rahman, 1995).

3.4.6 Contenido de inhibidores de tripsina

Para determinar el contenido de inhibidores de tripsina se usó el método AACC 71-10 Determinación de Actividad Inhibidora de Tripsina en Productos de Soya (AACC, 1993).

3.5 ANÁLISIS DE COSTOS

Para el análisis económico se detallaron los costos de procesamiento y manufactura, los costos de mano de obra y los costos de mantenimiento y tenencia del producto. La suma éstos costos determina el costo total del producto puesto en bodega. Los costos se estimaron según la producción máxima del extrusor INSTA-PRO 600 JR.

3.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para la evaluación de los cambios fisicoquímicos en el alimento extruído se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) usando PROC GLM en el programa estadístico SAS®, junto con una separación de medias para las variables por el método de Duncan ($P < 0.05$).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 ANÁLISIS PARA EL GRADO DE GELATINIZACIÓN

En el análisis del grado de gelatinización de los tratamientos se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$), el tratamiento con una velocidad de alimentación de la mezcla del 3.2 kg/h y con un flujo de agua de 0.5 L/min, obtuvo el mejor grado de gelatinización para el producto final extruído, esto se debe a que la mezcla previo a la extrusión tuvo el mayor contenido de humedad (27.83%) que los demás tratamientos.

Para la cocción del alimento, el equipo se operó a temperaturas de extrusión mayores a 118 °C, lo cual es aceptable para la gelatinización parcial del almidón del alimento. Hongtrakul *et al.* (1998) en un estudio con dietas para lechones, presenta porcentajes de gelatinización del almidón de maíz de 69 y 89.3% a temperaturas de 119 y 137 °C respectivamente. Durante la gelatinización, el gránulo de almidón absorbe agua, se infla y pierde su cristalinidad, la gelatinización que ocurre durante el proceso puede mejorar la utilización de los almidones de los cereales en las dietas para cerdos (Riaz, 2000). Niveles de gelatinización para maíz extruído de 70% son considerados aceptables para una alta digestibilidad en lechones (Serrano, 1997).

El extruído del tratamiento 2 con un grado de gelatinización de 60.20% se acerca al efecto del tratamiento con mayor contenido de humedad, esto refleja que los tratamientos con alta humedad de la mezcla a la entrada del extrusor logran un grado de gelatinización mayor. Los resultados de la comparación múltiple de medias se observan en el cuadro 5 y 6.

Cuadro 5. Valores medios de los tratamientos del grado de gelatinización de las mezclas extruídas.¹

| Tratamiento | Grado de gelatinización % | | |
|-------------|---------------------------|---|-------|
| T1 | 0.00 ^d | ± | 0.000 |
| T2 | 60.20 ^b | ± | 0.754 |
| T3 | 62.13 ^a | ± | 1.446 |
| T4 | 55.70 ^c | ± | 0.953 |

¹Valores en columnas con letras diferentes no son iguales significativamente ($P < 0.05$)

Cuadro 6. Valores medios de los tratamientos para el porcentaje de humedad de la mezcla a la entrada del extrusor. ¹

| Tratamiento | Humedad de entrada (%) | | |
|-------------|------------------------|---|-------|
| T1 | 12.69 ^d | ± | 0.268 |
| T2 | 22.80 ^b | ± | 0.363 |
| T3 | 27.83 ^a | ± | 0.587 |
| T4 | 20.92 ^c | + | 0.398 |

¹Valores en columnas con letras diferentes no son iguales significativamente (P<0.05)

Por medio de las pruebas del grado de gelatinización del almidón, se determinó la eficiencia del efecto del tratamiento térmico en la cocción del alimento y el mejor flujo de inyección de agua al proceso para cada uno de los parámetros de extrusión del alimento (figura 1).

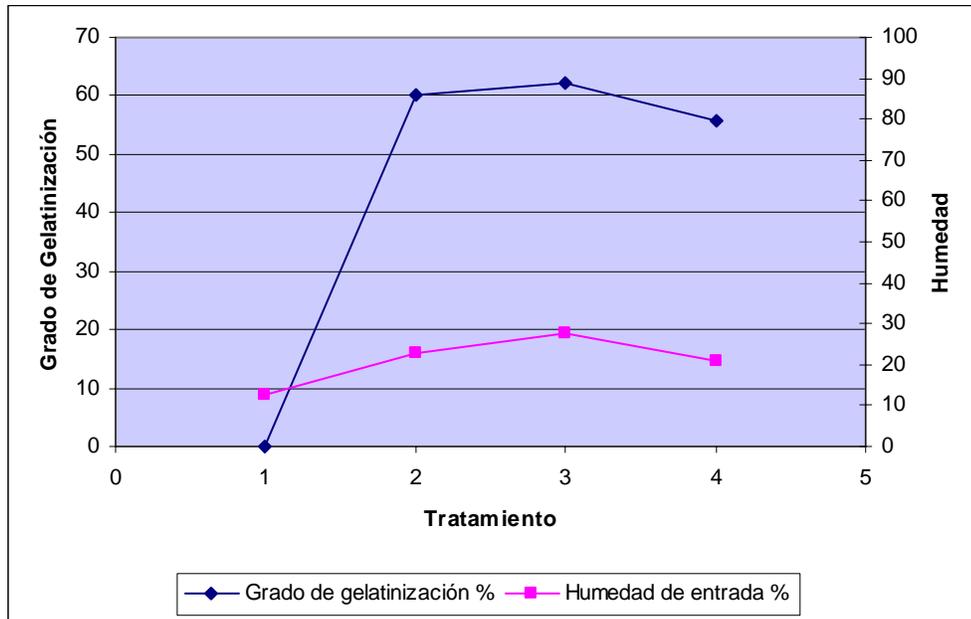


Figura 1. Efecto del porcentaje de humedad a la entrada en el grado de gelatinización del alimento para los tratamientos.

Se observa que a medida que el contenido de humedad a la entrada aumenta, la gelatinización del alimento es mayor. Según Apruzzese (1998), el agua es un reactivo en la gelatinización, y los cambios de gelatinización ocurren mejor cuando se tiene una mayor humedad durante el proceso de extrusión.

4.2 ANÁLISIS DEL CONTENIDO DE INHIBIDORES DE TRIPSINA

Para el contenido de inhibidores de tripsina presentes en el alimento (cuadro 7) para los tratamientos se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$). El tratamiento que más redujo el contenido de inhibidores de tripsina para los extruídos fue el T4, alcanzando temperaturas de extrusión (cuadro 8) de 135.80 °C e inactivando una mayor cantidad de enzimas proteasas de la soya.

Cuadro 7. Valores medios de los tratamientos para el contenido de inhibidores de tripsina de las mezclas extruídas.¹

| Tratamiento | Inhibidores de Tripsina (UIT/mg) | | |
|-------------|----------------------------------|---|-------|
| T1 | 15.57 ^a | ± | 0.973 |
| T2 | 5.90 ^{cb} | ± | 0.425 |
| T3 | 6.70 ^b | ± | 1.046 |
| T4 | 5.14 ^c | + | 0.398 |

¹Valores en columnas con letras diferentes no son iguales significativamente ($P < 0.05$)

Cuadro 8. Valores medios de los tratamientos para las temperaturas durante el proceso de extrusión.¹

| Tratamiento | Temperatura de proceso °C | | |
|-------------|---------------------------|---|-------|
| T1 | 0.00 ^d | ± | 0.00 |
| T2 | 128.46 ^b | ± | 1.504 |
| T3 | 118.16 ^c | ± | 2.351 |
| T4 | 135.80 ^a | + | 2.964 |

¹Valores en columnas con letras diferentes no son iguales significativamente ($P < 0.05$)

Clarke y Wiseman (1999) estudiaron el efecto de la humedad y la temperatura de extrusión sobre el contenido de inhibidores de tripsina en granos soya, revelando que a temperaturas de 110 °C se inactivaron alrededor del 25% de las UIT/mg de soya.

El contenido de UIT (Unidades Inhibidoras de Tripsina) del concentrado crudo fue de 15.57 UIT/mg. El tratamiento térmico (figura 2) de los tratamientos comprendido ente 118.16 y 135.80 °C para las mezclas extruídas eliminó alrededor del 60% de los inhibidores de tripsina presentes.

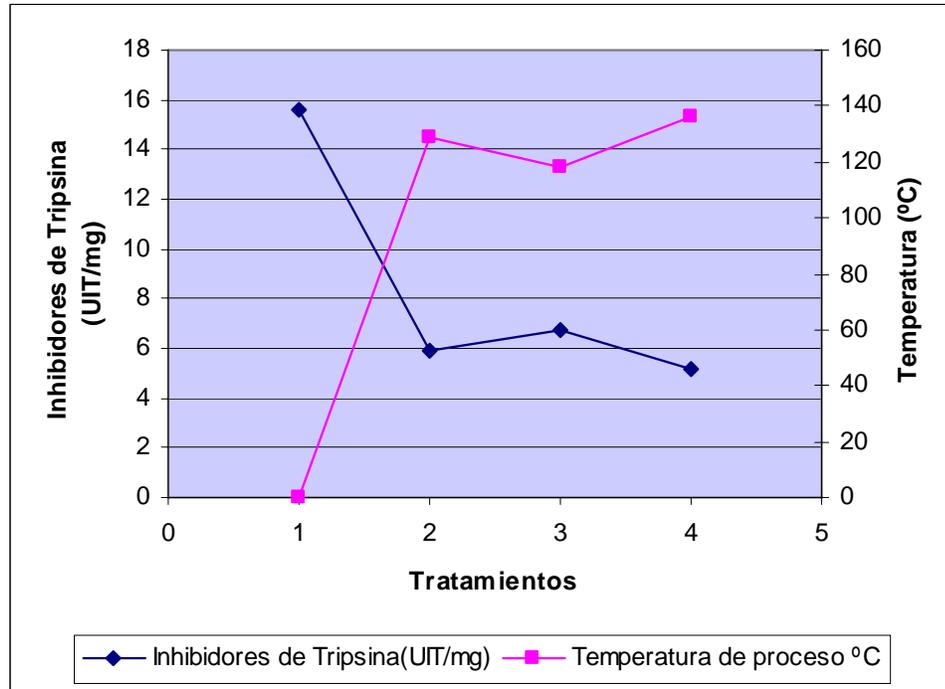


Figura 2. Efecto de la temperatura en la reducción del contenido de inhibidores de tripsina de los extruídos (UIT/mg).

A medida que la temperatura del tratamiento térmico incrementa tiene un efecto en la reducción en el contenido de inhibidores de tripsina del alimento.

Los tres tratamientos son eficientes en la reducción de inhibidores de tripsina comparados con el alimento crudo, el nivel del tratamiento térmico para los tratamientos alcanzó temperaturas comprendidas entre 118.16 y 135.8 °C.

4.3 ANÁLISIS DE LA PROTEÍNA DEL ALIMENTO

El contenido de proteína (cuadro 9) se determinó por el análisis del contenido de nitrógeno proteico del alimento. Los tratamientos no tuvieron una diferencia significativa para los datos de proteína. El calor generado por el proceso de extrusión desnaturaliza las proteínas pero se comienzan a tener reducciones en los aminoácidos más inestables al calor como la lisina a temperaturas mayores de 180 °C (Riaz, 2000).

Cuadro 9. Valores medios de los tratamientos para el contenido de proteína de los tratamientos.

| Tratamiento | Proteína (%) | | |
|-------------|--------------|---|-------|
| T1 | 17.142 | ± | 0.648 |
| T2 | 17.175 | ± | 0.406 |
| T3 | 17.218 | ± | 0.547 |
| T4 | 17.227 | + | 0.338 |

El tratamiento térmico de la soya cruda debe ser suficiente para destruir los factores inhibidores de tripsina, pero no tan fuerte que llegue a dañar a la proteína (<170 °C). Un severo tratamiento térmico de la soya para la disminución del contenido de factores antinutricionales tiene efectos claramente negativos, por la destrucción de la lisina y otros aminoácidos esenciales (Rokey, 1995).

4.4 ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN DEL ALIMENTO

Para el análisis de la expansión del alimento (cuadro 10), en los tratamientos se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$), el tratamiento con una velocidad de alimentación de la mezcla de 3.2 kg/min y con un flujo de agua de 0.3 L/min, presentó un índice de expansión mejor, en comparación a los demás tratamientos.

Cuadro 10. Valores medios de los tratamientos para la índice de expansión del alimento a la salida del troquel.¹

| Tratamiento | Índice de expansión | | |
|-------------|---------------------|---|-------|
| T1 | 0 ^d | | 0.000 |
| T2 | 23.830 ^a | ± | 0.820 |
| T3 | 12.245 ^b | ± | 0.896 |
| T4 | 9.327 ^c | + | 0.508 |

¹Valores en columnas con letras diferentes no son iguales significativamente ($P < 0.05$)

Cuando el material pasa a través del troquel, el agua que está íntimamente mezclada con el producto sufre un brusco cambio de presión y se evapora instantáneamente lo cual ocasiona la expansión del extruído (Riaz, 2000). La expansión se relaciona con el contenido de humedad final del material a la salida del troquel (cuadro 11).

Cuadro 11. Valores medios de los tratamientos para el contenido de humedad del extruído a la salida del troquel.¹

| Tratamiento | Humedad de salida (%) | | |
|-------------|-----------------------|---|-------|
| T1 | 0 ^d | | 0.000 |
| T2 | 12.83 ^b | ± | 0.323 |
| T3 | 17.44 ^a | ± | 0.627 |
| T4 | 11.43 ^c | + | 0.358 |

¹Valores en columnas con letras diferentes no son iguales significativamente (P<0.05)

En la figura 3 se muestra el efecto de las condiciones de extrusión de los tratamientos en el cambio del índice de expansión del alimento.

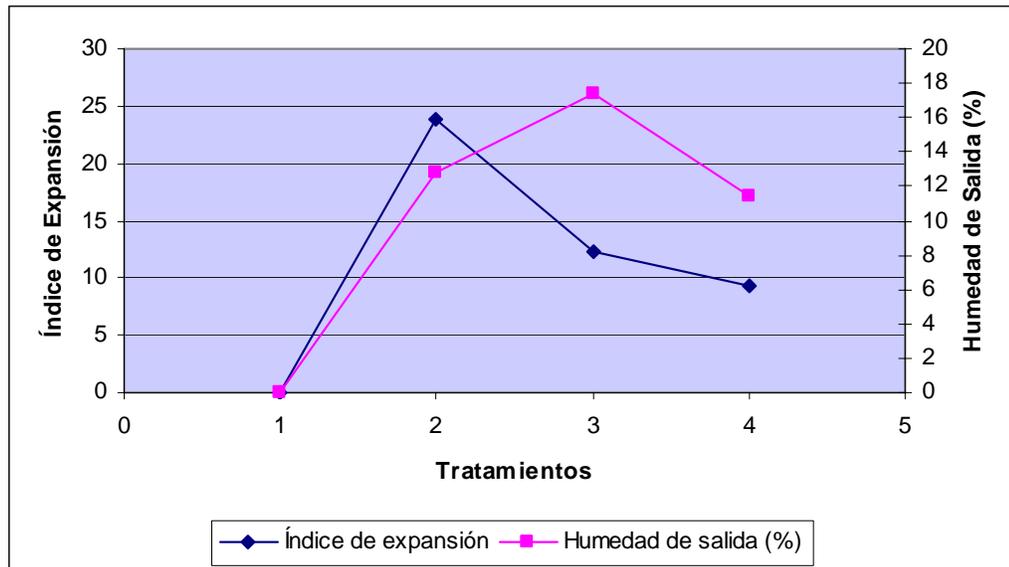


Figura 3. Efecto de la humedad de salida del extruído sobre el índice de expansión del alimento.

Se puede observar que el tratamiento con la mejor expansión del alimento posee un contenido de humedad óptima a la salida del troquel de alrededor de 12.8% y consiguió un índice de expansión de 23.83.

Según Valls (1993) cuando el material fundido sale del troquel que el producto sufre una expansión y las cadenas proteicas así como las de almidón son modificadas, aumentando el área de contacto a la acción enzimática del aparato digestivo.

4.5 ANÁLISIS DE COSTOS

Se determinó el costo del producto puesto en bodega de la planta de procesamiento tomando el consumo de energía de la línea de proceso (cuadro 12) y el detalle de los costos operacionales en la elaboración de alimentos balanceados para lechones (cuadro 13).

Cuadro 12. Costo de la energía para la línea de extrusión en lempiras y dólares*.

| Equipo | Consumo kw/h | L. | USD \$ |
|---------------|---------------------|-----------|---------------|
| Extrusor | 37.3 | 71.57 | 3.77 |
| Secadora | 30 | 57.56 | 3.03 |
| Mezcladora | 0.19 | 0.36 | 0.02 |
| Molino | 0.15 | 0.29 | 0.02 |

*Tasa de cambio \$1.00 = L 19.00

Cuadro 13. Destalle de los costos de operación por hora del proceso de extrusión en lempiras y dólares*.

| CATEGORIA DEL COSTO | Unidades | Costo | Total costos producción/h |
|---|-----------------|--------------|----------------------------------|
| Caudal de producción/h 0.20 tm/h | | | |
| PROCESAMIENTO Y MANUFACTURA | | | |
| Energía | | | |
| Extrusor | L./h | 71.57 | 71.57 |
| Secadora | L./h | 57.57 | 57.57 |
| Mezcladora | L./h | 0.36 | 0.36 |
| Molino | L./h | 0.29 | 0.29 |
| Ingredientes | L./tm | 9980.00 | 1996.00 |
| Depreciación línea de extrusión | L./tm | 35.00 | 7.00 |
| MANO DE OBRA | | | |
| Operario | L./h | 20.83 | 20.83 |
| MANTENIMIENTO Y TENENCIA | | | |
| Mantenimiento | L./tm | 17.00 | 3.40 |
| Total capacidad por hora de la equipos 200 kg/h | L. | | 2157.03 |
| Costo del producto puesto en bodega 50 kg | L. | | 539.26 |
| Costo en Dólares USD | \$ | | 28.38 |

*Tasa de cambio \$1.00 = L 19.00

Según (Goodband *et al.*, 1997) las ventajas potenciales del procesado del alimento se deben evaluar en términos de consideraciones económicas (cuadro 9). Al calcular qué precio que una explotación porcina puede pagar y el cambio en la eficiencia o la ganancia diaria de peso la ecuación siguiente pueden ser utilizados:

$$\frac{\text{Nuevo costo} - \text{Costo anterior}}{\text{Nuevo Costo}} \times 100 < \quad \% \text{ de la mejora en la eficiencia para compensar los costos de la dieta}$$

Paralelo al estudio se elaboró un alimento con las condiciones de extrusión (3.2 kg/min con 0.3 L/min) que consiguió obtener las mejores características físico-químicas, para el estudio de un programa de alimentación de lechones en la fase de 28- 42 días dirigido por Andrés Armas, estudiante de la Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria, dentro de la Granja Porcina de Zamorano. Los resultados de rendimiento de los animales y la utilización del alimento se detallan en el cuadro 14.

Cuadro 14. Resultados en el consumo de alimento y costos de la dieta extruída.

| Detalle | | | Incremento (%) |
|-----------------------|-----------|----------|-----------------------|
| Costo dieta cruda* | L. 499.00 | \$ 26.26 | 7.47 |
| Costo dieta extruída* | L. 539.26 | \$ 28.38 | |
| GDP cruda g/día | | 240.40 | 16.47 |
| GDP extruída g/día | | 287.80 | |
| ICA cruda | | 1.55 | 10.71 |
| ICA extruída | | 1.40 | |

*Tasa de cambio \$1.00 = L 19.00

El incremento de costos fue de un 7.47%, la ganancia diaria de peso (GDP) mejoró en 16.47% en GDP, además la eficiencia en la utilización del alimento es superior, la dieta extruída en términos del índice de conversión alimenticia (ICA) mejora en un 10.71%.

Debido a las ventajas potenciales demostró el balanceado extruído en la alimentación de lechones, es posible que en términos económicos la nueva dieta procesada refleje beneficios para la explotación. Castillo (2006) menciona que es importante invertir en un buen alimento en las fases de inicio para asegurar un aumento de peso en la crianza y en el período de engorde para tardar menos en llegar al peso de sacrificio.

5. CONCLUSIONES

El proceso de extrusión afectó las cualidades físico- químicas de la mezcla. Se alcanzaron grados de gelatinización de 60% en promedio. Se redujeron los inhibidores de tripsina en un 60% para todos los tratamientos. Se obtuvo un índice de expansión máximo de 23.8 y no existieron pérdidas del nitrógeno proteico.

El extruído elaborado con una alimentación de 3.2 kg/min y un flujo de agua de 0.3 L/min produjo un balanceado con mejores características físicas y químicas.

El costo variable en la producción de alimentos extruídos para lechones en Zamorano incrementó el 7.47% del precio en comparación al alimento crudo y demostró ventajas potenciales mostrando una mejor eficiencia en un programa de alimentación de lechones.

6. RECOMENDACIONES

Instalar el implemento que corta el alimento extruído a la salida del troquel en el extrusor para obtener productos con una forma determinada.

Evaluar en las mezclas proporciones de diferentes materias primas de fuente de proteína o almidón como sorgo, leche en polvo y sabores para el desarrollo de nuevos productos extruídos para alimentación animal.

Realizar estudios de la calidad microbiológica y vida de anaquel del producto extruído.

Hacer un estudio de mercado para la producción y comercialización de un alimento extruído para dietas de inicio de lechones con sus diferentes fases productivas.

7. BIBLIOGRAFÍA

AACC. 1993. Approved Methods of the American Association of cereal chemists. Vol 2. 8va ed. St Paul, MN: American association of cereal chemists.

Apruzzese, F. 1998. Modeling of Extrusion Cooking of Breakfast Cereals. Thesis (M Sc). Canada, University of Toronto, Department of Chemical Engineering and Applied Chemistry. 128 p.

Bruggink, J. 1993. Utilización de Concentrados de Proteína de Soja en Dietas de Animales Jóvenes. IX Curso de Especialización FEDNA. Avances en Nutrición y Alimentación Animal. Barcelona. P175-196.

Campabadal, C. 1996. Alimentación del lechón al destete. Revista Soya noticias. Asociacion Americana de la soya A.N. 1996;146:26.

Castillo, R. 2006. Producción de Cerdos. Academic Press. Zamorano, Honduras. 90p.

Clarke, E. y Wiseman, J. 1999. Extrusion temperature impairs trypsin inhibitor activity in soybean meal. Feed Technology 3 (8): 29-31.

Dapoza, C. 2002. Alimentación Nitrogenada del Lechón. (En línea). Consultado 10 septiembre 2006. Disponible en:
<http://www.edicionestecnicasreunidas.com/produccion/nitroct2.htm>

Goodband, R. D., Tokach, M. D., Dritz, S. S. and Nelssen, J. L., 1997, General Nutrition Principles for Swine, Kansas State University. 35 p.

Hongtrakul, K; Goodband, R; Behnke, K. 1998. The Effects of Extrusion Processing of Carbohydrate Sources on Weanling Pig Performance. Department of Animal Sciences and Industry, Kansas State University. 9p.

Leterme, P. 2001. Las Pérdidas Endógenas hasta el Íleon del Cerdo. VI Encuentro Regional de Nutrición y Alimentación de Animales Monogástricos. Cuba. (En línea). Consultado 4 septiembre 2006. Disponible en:
<http://www.sian.info.ve/porcinos/publicaciones/viencuent/leterme.htm>

Merck, 2005. The Merck Veterinary Manual. Management and Nutrition, Nutrition Pigs. (En línea). Consultado 4 septiembre 2006. Disponible en:
<http://www.merckvetmanual.com/mvm/index.jsp?cfile=htm/bc/182702.htm>

Patil, R. 2005 Physical Characteristics of Food Extrudates - A Review American Society of Agricultural and Biological Engineers. 18p.

Pérez, M. 2000. Uso de Concentrados de Proteína de Soya en Dietas de Lechones Recién Destetados. American Soybean Association Soynoticias. (En línea). Consultado 2 septiembre 2006. Disponible en:
http://www.ag.uiuc.edu/~asala/espanol/nutricionanimal/soyanoticias/no_263_05.htm

Rahman, S. 1995. Food Properties Handbook. Estados Unidos: CRC Press, Inc. 500 p.

Riaz, M. 2000. Extrusores en las aplicaciones de alimentos. Zaragoza: Acribia S.A. 227 p.

Rokey, G. 1995. Tecnología de la Extrusión e Implicaciones Nutricionales. Curso de especialización FEDNA: Avances en nutrición y alimentación animal, 11., Barcelona, España. p270-286.

Roppa, L. 2002. Nutrición de los Lechones en la Fase del Destete. (En línea). Consultado 4 septiembre 2006. Disponible en: <http://www.vetefarm.com/nota.asp?not=589&sec=8>

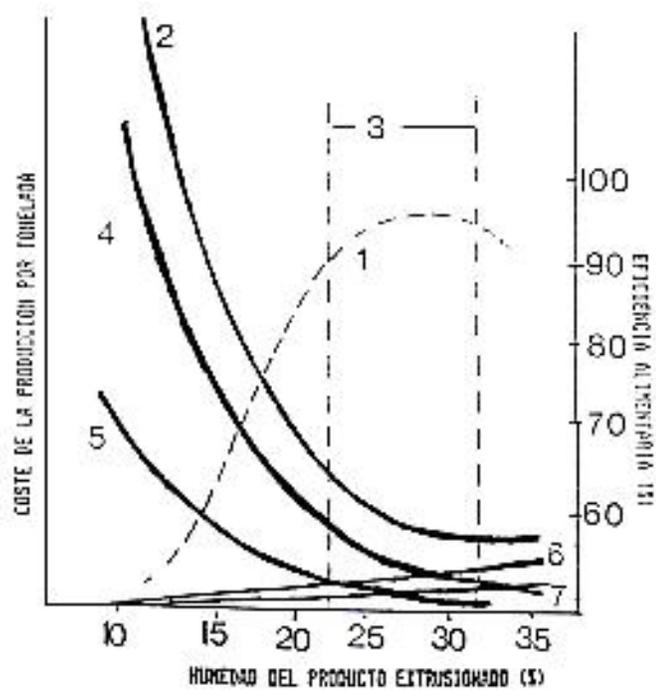
Serrano, X. 1997. The Extrusion Cooking Process in Animal Feeding Nutritional Implications. Feed manufacturing in Southern Europe: New challenges. 8p.

Valls, A. 1993. El proceso de Extrusión en Cereales y Habas de Soja, I. Efecto de la Extrusión sobre la Utilización de Nutrientes. IX° Curso de Especialización FEDNA, Barcelona. p109-115.

Wiseman, J. 1993. El Procesado de Cereales en Dietas de Monogástricos. Departamento Agricultura y Horticultura Universidad de Nottingham Loughborough. Gran Bretaña. 12p.

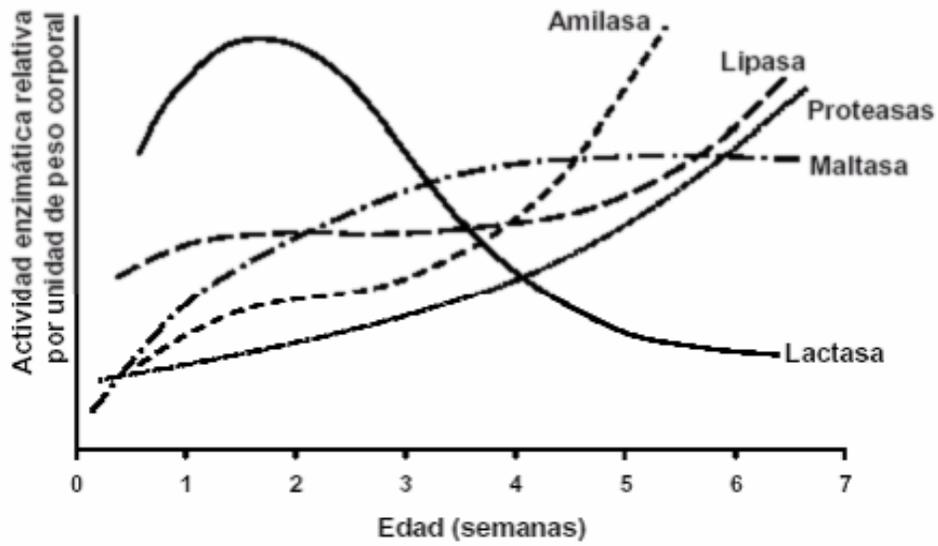
8. ANEXOS

Anexo 1.- Efecto de la humedad del producto extruído sobre el costo de producción y eficiencia alimentaria (Valls, 1993).

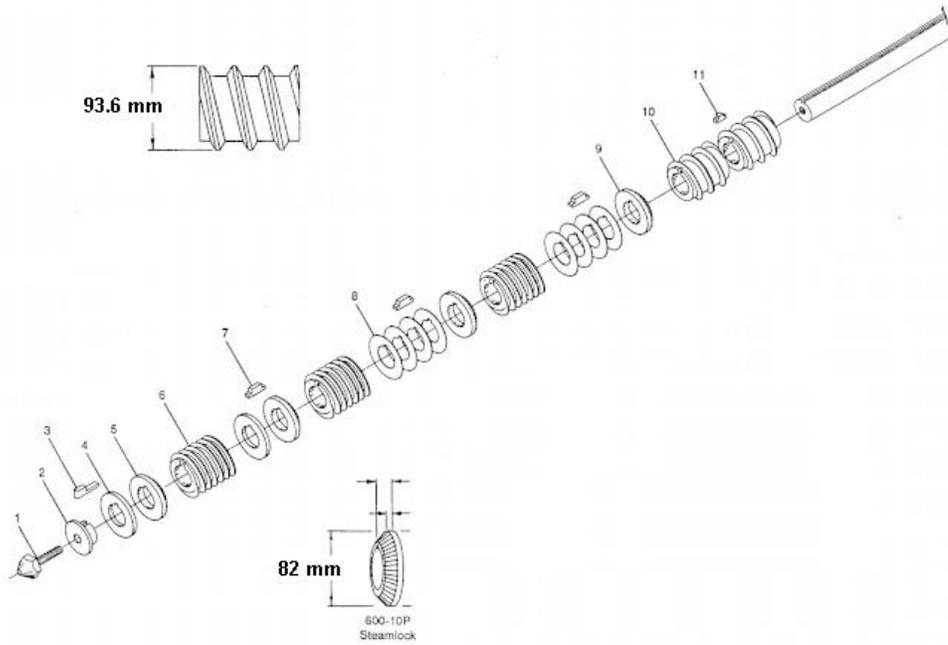


- 1.- Eficiencia alimentaria
- 2.- Costo total del sistema
- 3.- Rango óptimo de la operación del extrusor
- 4.- Costo de mantenimiento
- 5.- Costo eléctrico
- 6.- Energía de secado
- 7.-Energía de vapor

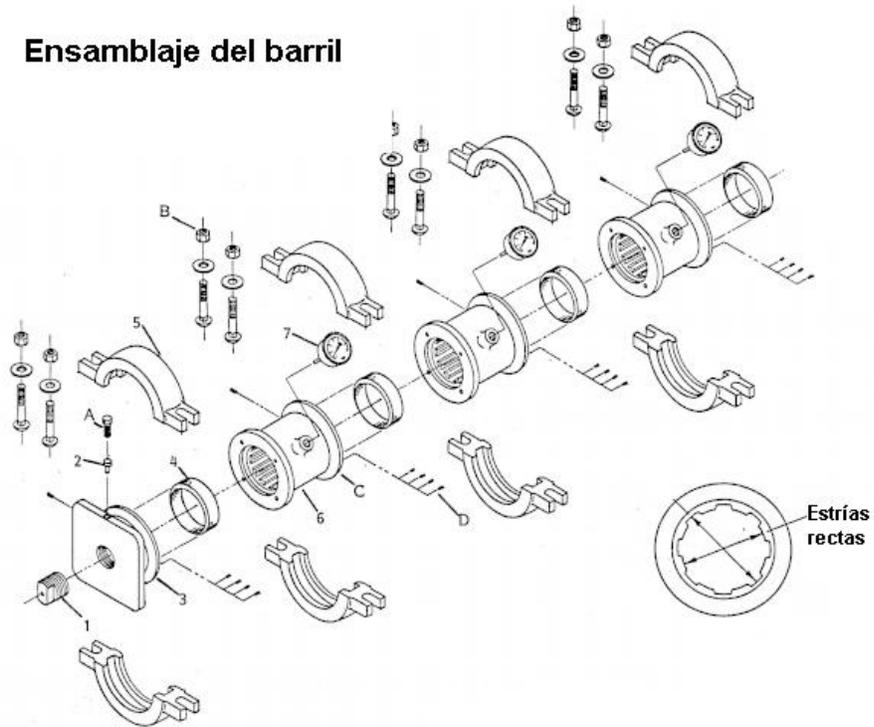
Anexo 2.- Patrón de desarrollo de las enzimas digestivas en los lechones (Dapoza, 2002).



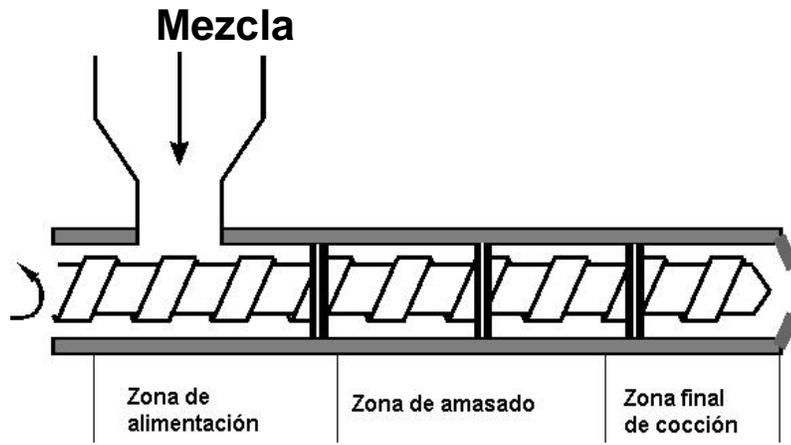
Anexo 3. Ensamblaje del tornillo (Model 600JR Manual Pages, 2000).



Ensamblaje del barril



Anexo 4.- Zonas del barril donde se genera el proceso de extrusión (Riaz,2000).



Anexo 5.- Diagrama del flujo para la elaboración de los tratamientos, mezclas extruídas (Zamorano, 2006).

