

**Optimización del proceso de extrusión para la  
elaboración de pelets para alimentación de  
tilapia (*Oreochromis niloticus*) en Zamorano**

**Andrés Berman Fernández**

**Zamorano, Honduras**

Diciembre, 2007

**ZAMORANO**  
**CARRERA DE AGROINDUSTRIA ALIMENTARIA**

**Optimización del proceso de extrusión para la  
elaboración de pelets para alimentación de  
tilapia (*Oreochromis niloticus*) en Zamorano**

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

Presentado por

**Andrés Berman Fernández**

**Zamorano, Honduras**

Diciembre, 2007

El autor concede a Zamorano permiso  
para reproducir y distribuir copias de este  
trabajo para fines educativos. Para otras personas  
físicas o jurídicas se reserva el derecho de autor.

---

Andrés Berman Fernández

Zamorano, Honduras  
Diciembre, 2007

**Optimización del proceso de extrusión para la elaboración de pelets para alimentación de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en Zamorano**

Presentado por:

Andrés Berman Fernández

Aprobado:

---

Francisco J. Bueso, Ph.D.  
Asesor Principal

---

Luis Fernando Osorio, Ph.D.  
Director  
Carrera de Agroindustria Alimentaria

---

Edward Moncada, M.A.E.  
Asesor

---

Raúl Espinal, Ph.D.  
Decano Académico

---

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

## **DEDICATORIA**

A Dios.

A mis padres, Yaacov Berman y Andrea Fernández.

A mis hermanos, Lior y Meytal.

A mis amigos.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres por ser lo más apreciado que tengo en la vida, por ayudarme en alcanzar mis metas y ser mi ejemplo a seguir.

A mi asesor Dr. Bueso por su gran apoyo y entrega, paciencia y enseñanzas durante todo el proceso de elaboración de este trabajo.

A mi asesor Ing. Edward Moncada por su interés, ayuda y soporte durante la investigación.

Al Ing. Guido Valentin por su gran ayuda y dedicación y darme la oportunidad de aprender y seguir adelante con la investigación.

A mi familia en general por el cariño y consejos de toda una vida de aprendizajes.

A mis mejores amigos de toda la vida Jorge Esteban Fernández y Félix Navarro por darme su amistad incondicional.

A mi mejor amiga Diana Carvajal Aldáz por ser mi gran apoyo en Zamorano.

A mis amigos más cercanos en Zamorano Fernando Bertero, Juan Sebastián Cueva, Andrés Padilla, Eliécer Ávila, Luis Lima, Felipe Peguero y Álvaro Salinas por compartir los mejores momentos en Zamorano.

En general a todos mis compañeros de la clase 2007 y en especial a la carrera de Agroindustria, ¡muchas gracias!

## **AGRADECIMIENTO A PATROCINADORES**

A mis padres por su apoyo económico.

## RESUMEN

Berman A. 2007. Optimización del proceso de extrusión para la elaboración de pelets para alimentación de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en Zamorano. Proyecto especial del Programa de Ingeniería en Agroindustria, Zamorano, Honduras. 22p.

La tilapia (*Oreochromis niloticus*) es una de las especies acuícolas de mayor auge en Latinoamérica, donde los costos por alimentación abarcan más del 50%. El abastecimiento de dietas extruídas es una buena opción para reducir el desperdicio y mejorar la eficiencia en el consumo de alimento. El objetivo de este estudio fue determinar el efecto que tiene la humedad inicial de la mezcla de concentrado para tilapia en el contenido proteico y las características de índice de expansión, flotabilidad y estabilidad en agua del pelet extruído. El estudio se llevo a cabo en el Laboratorio de Análisis de Alimentos Zamorano (LAAZ) de la carrera de Agroindustria Alimentaria en conjunto con la Sección de Granos y Semillas. Se utilizaron cuatro tratamientos en un rango de 21-24% de humedad, con una velocidad de alimentación constante de 0.007 kg/s y 22.56% de proteína inicial en la mezcla. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar (DCA) y se compararon los tratamientos usando la separación de medias Tukey y una Prueba T para determinar si existió diferencia significativa en el porcentaje de proteína durante la extrusión. Los tratamientos evaluados presentaron una disminución significativa ( $P < 0.05$ ) entre el contenido de proteína antes y después de la extrusión, sin embargo, no hubo diferencia significativa entre los tratamientos. El tratamiento con 24% de humedad produjo los pelets con las mejores características físicas para favorecer el engorde del pez. Un mayor grado de gelatinización de los almidones generó una expansión promedio de 3.33 veces su peso hectolítrico, aumentó el tiempo de flotabilidad promedio a 24 minutos y dió mayor estabilidad a los pelets.

**Palabras clave:** humedad, alimento, proteína, acuicultura.

---

Francisco J. Bueso, Ph.D.



## CONTENIDO

Portadilla .....		i
Autoría.....		ii
Página de firmas .....		iii
Dedicatoria .....		iv
Agradecimientos.....		v
Agradecimiento a patrocinadores .....		vi
Resumen .....		vii
Contenido .....		viii
Índice de cuadros .....		x
Índice de figuras .....		xi
Índice de anexos .....		xii
<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1	OBJETIVOS.....	2
1.1.1	Objetivo general .....	2
1.1.2	Objetivos específicos.....	2
<b>2</b>	<b>REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
2.1	GENERALIDADES.....	3
2.1.1	Importancia económica .....	3
2.1.2	Antecedentes.....	4
2.2	JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.....	4
<b>3</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>6</b>
3.1	UBICACIÓN.....	6
3.2	MATERIALES Y EQUIPO .....	6
3.2.1	Extrusión de muestras.....	6
3.2.2	Análisis de humedad.....	7
3.2.3	Análisis de proteína .....	7
3.2.4	Análisis del índice de expansión .....	7
3.2.5	Análisis de flotabilidad y estabilidad en agua .....	7
3.3	MÉTODOS.....	8
3.3.1	Diseño experimental.....	8
3.3.2	Extrusión de tratamientos.....	8
3.3.3	Determinación de humedad.....	8
3.3.4	Determinación de proteína .....	9
3.3.5	Determinación del índice de expansión.....	9
3.3.6	Determinación de la flotabilidad y estabilidad en agua.....	9

3.4	ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	10
3.4.1	Análisis de proteína .....	10
3.4.2	Análisis de características físicas .....	10
<b>4</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>11</b>
4.1	ANÁLISIS DE PROTEÍNA.....	11
4.2	EFFECTO DE TRATAMIENTOS EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL PELET .....	12
4.2.1	Efecto de la humedad sobre el índice de expansión de los pelets .....	13
4.2.2	Efecto de la humedad sobre la flotabilidad de los pelets.....	14
4.2.3	Efecto de la humedad sobre la estabilidad en agua de los pelets .....	15
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>16</b>
<b>6</b>	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>17</b>
<b>7</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>18</b>
<b>8</b>	<b>ANEXOS</b> .....	<b>20</b>

**ÍNDICE DE CUADROS**

Cuadro		Página
1.	Formulación utilizada para la elaboración del alimento balanceado para tilapia en fase de engorde.....	6
2.	Resultados de prueba T para proteína.....	11
3.	Efecto del porcentaje de humedad de la mezcla sobre las características físicas del pelet.....	12

**ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura		Página
1.	Efecto de la humedad sobre el índice de expansión de los pelets.....	13
2.	Efecto de la humedad sobre la flotabilidad de los pelets.....	14
3.	Efecto de la humedad sobre la estabilidad en agua de los pelets.....	15

**ÍNDICE DE ANEXOS**

Anexo		Página
1.	Ensamblaje del tornillo.....	21
2.	Productos obtenidos según el tipo de cocción al que han sido sometidos....	22

## 1. INTRODUCCIÓN

Según estimaciones de la Secretaría de Agricultura y Ganadería de Honduras, en este país existen 92,272 hectáreas de agua aptas para el cultivo de peces de agua dulce, que de cultivar el 25%, aprox. 23,818 hectáreas, se podrían producir 43 mil toneladas métricas de pescado que al exportarse generarían divisas por 225 millones de dólares. En Honduras se están utilizando tres modelos de producción: en estanques de tierra, en jaulas, reservorios para riego y de igual forma en canales de cemento. En la actualidad operan en Honduras 14 proyectos comerciales de cultivo de tilapia de exportación, distribuidos en 154 hectáreas de agua y 114 hectáreas más, que se encuentran en manos de pequeños y medianos productores, lo que genera aproximadamente 17,000 empleos directos que benefician a unas 50 mil familias en forma indirecta (Romano, 2004).

Uno de los principales problemas en la industria acuícola son los altos costos por alimentación que pueden llegar a representar hasta un 70% de los costos de producción, tomando en cuenta que 100 libras de concentrado para tilapia oscila en los \$15 con un nivel de proteína de 25%. Estos costos se ven afectados en gran medida por la cantidad de desperdicio de alimento en los estanques de producción debido a varios factores como: baja flotabilidad en agua, la textura no es la adecuada por lo que se pierde el pelet en el agua y por la palatabilidad del alimento, la cual tiene su origen desde la formulación de la mezcla de alimento.

No es la intención en este proyecto analizar diferentes formulaciones para dietas acuícolas, sino optimizar el proceso de extrusión controlando las variables que afecten el producto para desarrollar un pelet con características deseadas según las condiciones de producción de la especie *Oreochromis niloticus*.

En el caso de los extrusores las variables más importantes de operación son la adición de agua, la temperatura, y la presión del extrudado que es controlada por el dado. La adición de agua es muy importante para el control de la densidad del producto, el grado de expansión y la apariencia del producto. No es extraño observar que dependiendo de la cantidad de agua agregada a una misma formulación el producto final flote o se hunda. De aquí la importancia de que una vez que se obtiene un buen producto, la tasa de adición y la presión de agua se mantengan constantemente (Moncada, 2006).

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivo general**

- Optimizar el proceso de extrusión para elaborar pelets para alimentación de tilapia en Zamorano.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Determinar el efecto de la humedad de la mezcla en un rango de 21-24% sobre el contenido proteico que aporta el pelet extruído.
- Determinar el efecto de los tratamientos sobre el índice de expansión de los pelets.
- Determinar la durabilidad del pelet midiendo la estabilidad y flotabilidad en agua como medida de productividad.

## **2. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1 GENERALIDADES**

En la actualidad se utilizan dos tipos de comprimidos para peces: los densos (que se hunden en el agua) y los extruídos (que por lo general flotan). Los comprimidos extruídos son procesados a mayor humedad y temperatura que los comprimidos densos, y después se hacen pasar a alta presión a través del extrusor. Como resultado la mayor parte del almidón se gelatiniza y el comprimido sale del extrusor parcialmente inflado (Hepher, 1988).

La formación de pelets extruídos en seco involucra el uso de distintas condiciones físicas para la compresión y que pueda resultar en muchos diferentes productos. Ajustando la combinación de ingredientes y las condiciones de cocción pueden ser producidos pelets flotantes o de hundimiento (De Silva y Anderson, 1995).

La tilapia es un pez tropical que no sobrevive a temperaturas menores a los 10 °C. Tiene características deseables para su cultura en los trópicos en cuanto a su rápida reproducción y crecimiento, uso eficiente de alimento acuático natural, aceptabilidad en una gran variedad de suplementos dietéticos y tolerantes a un amplio rango de condiciones de calidad de agua (Halver, 1989).

#### **2.1.1 Importancia económica**

El 95.84% de las exportaciones de filetes frescos de calidad a los Estados Unidos provinieron de tres países latinoamericanos y un país asiático: Ecuador con el 46.39%, Costa Rica con el 18.57%, Honduras con el 17.14% y China con el 13.73% (Panorama Acuícola, 2004).

La selección de los procesos de manufactura a ser empleados dependerá de los hábitos alimenticios de los peces a ser alimentados y de los requerimientos físicos del alimento (por ejemplo, tamaño del alimento, flotabilidad, textura, palatabilidad y estabilidad deseada en el agua) para todos los estados del ciclo de cultivo. Estos factores técnicos en cambio, tendrán que ser balanceados entre el valor de mercado de las especies en cultivo y la disponibilidad de los recursos económicos, ingredientes alimenticios y servicios (FAO, 1989).



El hecho de que los pelets floten conlleva algunas ventajas para el manejo, ya que permite al piscicultor observar la alimentación de los peces. De este modo él puede determinar si los peces ingieren el alimento y en qué cantidad (Hepher, 1988). La mayoría de los productores sienten que ver al pez cuando esta alimentándose vale la pena el costo extra (Parker, 1995).

### **2.1.2 Antecedentes**

La manufactura de alimentos implica la transformación física de una fórmula escrita en un compuesto “comestible” o dieta. Existe una amplia variedad de técnicas para la elaboración de dietas completas en acuicultura, comenzando desde el mezclado/licuado (alimento amasado seco; alimento amasado, en bolas, pasta o granulado semihúmedo/húmedo compactado a mano), hojueleado (dietas para larvas en hojuelas), procesadas (alimentos granulados o peletizados sin compactar, semihúmedos o secos), pelet compactado en húmedo (pelets semihúmedos o húmedos), pelets compactados a vapor o secos (pelets secos), peletizado por extrusión/expansión (pelets secos, húmedos o expandidos rehidratables), hasta la microencapsulación (dietas microencapsuladas para larvas, secas y rehidratables) (FAO, 1989).

## **2.2 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO**

El método por extrusión se ha convertido en una de las prácticas más utilizadas en la producción de alimentos como pastas, cereales, alimentos de tipo “snack” y en la fabricación de alimento peletizado para uso animal (Riaz, 2004).

El cocimiento por extrusión ofrece al fabricante la flexibilidad de producir alimentos estables en el agua, diseñados según los requerimientos físicos de alimentación de las especies cultivadas. Además, a través de una formulación cuidadosa y controlando la gelatinización del almidón en el extrusor, es posible producir alimentos con diferentes densidades y consecuentemente con diversas propiedades de flotación o de rápido hundimiento. Los alimentos flotantes son ideales para sistemas de cultivo en jaulas y estanques, donde las pérdidas por alimentación se pueden mantener a un mínimo y se puede verificar visualmente el consumo del alimento (FAO, 1989).

Este proyecto servirá de apertura para la investigación de aplicaciones nutricionales en las dietas de los peces utilizando la extrusión y para iniciar un proceso de análisis de

rentabilidad para abastecer dietas acuícolas de productores a pequeña y mediana escala con un nivel medio de proteína de alrededor al 25%.

Es importante tomar en cuenta lo que ocurre con los almidones y la proteína, debido a que la extrusión puede afectar su contenido en la mezcla por las altas temperaturas alcanzadas durante el proceso. Se puede relacionar la disponibilidad de los almidones con el grado de gelatinización, ya que un almidón gelatinizado facilita el aprovechamiento energético para el pez por existir más fuentes de energía disponibles. También se puede relacionar la desnaturalización proteica con la digestibilidad para el pez. El almidón gelatinizado es más fácilmente atacable por los enzimas, facilitando su digestión. Así, está claramente indicado para dietas de animales en primeras edades, cuya capacidad enzimática no está suficientemente desarrollada (Pané, 1993).

La dialización de grupos aminos libres en las muestras sin extruir confirma que el aumento de la digestibilidad proteica es una de las ventajas que se atribuyen al proceso de cocción por extrusión (Drago *et al.*, 2007).

## 3. MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1 UBICACIÓN

El estudio fue realizado en el Laboratorio de Análisis de Alimentos Zamorano (LAAZ) de la carrera de Agroindustria Alimentaria en conjunto con la Sección de Granos y Semillas, ambos situados en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, ubicada en el departamento de Francisco Morazán, Honduras.

### 3.2 MATERIALES Y EQUIPO

#### 3.2.1 Extrusión de muestras

- Extrusor Insta-Pro 600JR de tornillo simple por fricción.
- Mezcladora Davis Precision Horizontal Batch Mixer
- Secadora B.N.W. Industries Modelo 022E
- Formulación de alimento para tilapia 22.46% de proteína (Cuadro 1)

Cuadro 1. Formulación utilizada para la elaboración del alimento balanceado para tilapia en fase de engorde.

<b>Ingrediente</b>	<b>Porcentaje</b>
Harina de camarón	8
Harina de soya	28.8
Harina de maíz	59.4
Aglutinante para pelet	2
Fosfato dicálcico	1.5
Vitaminas y minerales	0.3

### **3.2.2 Análisis de humedad**

- 3g de muestra
- Balanza analítica Mettler AE 200
- Horno Fisher Scientific Isotemp Oven (105 °C)
- Crisoles
- Desecador
- Pinzas

### **3.2.3 Análisis de proteína**

- Molino Thomas-Wiley modelo A
- Balanza analítica Mettler AE 200
- 0.1g de muestra molida
- Digestor de muestras
- Balones para digestor de 100 ml
- Destilador de nitrógeno
- Erlenmeyers para destilar de 125 ml
- Bureta de titulación
- Agitador magnético
- Material inerte
- Campana de gases para la digestión
- Guantes aislantes
- Gabacha
- Mascarilla

### **3.2.4 Análisis del índice de expansión**

- Balanza volumétrica de peso bushel

### **3.2.5 Análisis de flotabilidad y estabilidad en agua**

- Beaker
- Agua
- Cronómetro

### **3.3 MÉTODOS**

#### **3.3.1 Diseño experimental**

Se evaluó el efecto de los cuatro porcentajes de humedad de la mezcla de concentrado (21, 22, 23 y 24%) sobre el índice de expansión, flotabilidad y estabilidad en agua bajo un diseño completamente al azar (DCA) con tres repeticiones. El contenido proteico inicial de 22.46% y la tasa de alimentación de mezcla en el extrusor (0.007 kg/s) se mantuvieron constantes.

Luego se recolectó en bolsas de polietileno de baja densidad aproximadamente 1.5 lb de muestra por cada tratamiento y fueron almacenadas a temperatura ambiente (25°C) hasta que se realizaron los análisis.

#### **3.3.2 Extrusión de tratamientos**

Partiendo de una mezcla de concentrado para la producción de los pelets con un nivel medio de proteína de 22.46%, se prepararon 4 tratamientos por triplicado adicionando el agua necesaria para alcanzar los niveles de humedad de cada tratamiento y mezclando por un tiempo aproximado de seis minutos. Durante la etapa de cocción de los ingredientes se tomaron las temperaturas que registren los termómetros colocados en las tres secciones del extrusor. A la salida de los pelets se colocó un dado con ocho moldes para pelets, cada uno con un diámetro de seis mm. La temperatura de la zona final de cocción del barril define el nivel de generación de calor del proceso de extrusión obteniendo las respuestas de cada tratamiento. Una vez obtenidos los pelets bajo las condiciones de cada tratamiento, fueron secados por aproximadamente ocho minutos hasta llevarlos a 12% de humedad.

#### **3.3.3 Determinación de humedad**

Para determinar el contenido de humedad de la mezcla se aplicó el método AOAC 964.22 para medición de porcentaje de humedad, en el horno de secado a 105 °C por 24 h. Las muestras se analizaron por duplicado y los resultados se expresaron en porcentaje de humedad.

### 3.3.4 Determinación de proteína

Para la determinación de la proteína cruda del alimento extruído se aplicó el método AOAC 960.52 Método de Micro Kjeldahl. Las muestras se analizaron por duplicado y los resultados fueron expresados en porcentaje de proteína cruda.

### 3.3.5 Determinación del índice de expansión

Para determinar el índice de expansión de los pelets se compararon las medidas del peso hectolítrico de la mezcla inicial a la entrada de la tolva, con el peso hectolítrico de los pelets a la salida del extrusor, expresado en número de veces que disminuye su peso bushel con la fórmula:

$$\text{tasa de reducción de densidad aparente} = \frac{(1/\text{peso hectolítrico de pelets})}{(1/\text{peso hectolítrico mezcla})} = \text{peso hectolítrico}$$

### 3.3.6 Determinación de la flotabilidad y estabilidad en agua

Para medir la flotabilidad del pelet se tomó una medida del tiempo en minutos que tarda el pelet en hundirse. Para medir la estabilidad en agua del pelet se tomó, de igual forma, una medida en tiempo donde el pelet pierda su estructura extruída inicial. Para ello se realizó un pequeño muestreo de cada tratamiento y sus repeticiones, y se colocaron las muestras en beakers para tomar el tiempo en minutos.

Con el deseo de tener una medida de productividad, los resultados de la flotabilidad y estabilidad en agua del pelet indicarán cual es el pelet que mejor reúne las características físicas para adaptarse a las condiciones acuáticas de producción de tilapia.

### **3.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

#### **3.4.1 Análisis de proteína**

Para el análisis de proteína se tabularon los datos del contenido proteico antes y después del proceso de extrusión y se realizó una Prueba T mediante el programa SAS<sup>®</sup> “Statistical Analysis System versión 9.1” para determinar si hubo una disminución significativa en el contenido proteico.

#### **3.4.2 Análisis de características físicas**

Los resultados obtenidos de los análisis fueron evaluados por el programa SAS<sup>®</sup> utilizando un análisis de varianza (ANDEVA) con una separación de medias Tukey y una probabilidad menor o igual a 0.05 ( $P \leq 0.05$ ).

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 ANÁLISIS DE PROTEÍNA

Cuadro 2. Resultados de prueba T para proteína.

Variable P	Media	Desv. estándar	Pr >  t
*P1	22.46	0	
**P2	21.15	0.58	
Dif (1-2)	0.96	0.41	<.0001

\*P1: Proteína Inicial

\*\*P2: Proteína Final

Hubo una reducción significativa en el contenido de proteína del producto antes y después de la extrusión, debido a la desnaturalización proteica como consecuencia de las altas temperaturas promedio alcanzadas de 43, 79 Y 104°C para cada sección del extrusor durante el proceso. Sin embargo, no hubo diferencia significativa entre los tratamientos, lo cual permite trabajar en un rango de 21-24% de humedad donde el efecto sobre el porcentaje de proteína sea estadísticamente el mismo entre éstas humedades.

Las proteínas durante el proceso de extrusión presentan cambios en sus formas estructurales. Hay ruptura en las cadenas de aminoácidos e interacción con otros los nutrientes, formando nuevos compuestos llamados “extrudados (Gómez, 2007).



#### 4.2 EFECTO DE TRATAMIENTOS EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL PELET

Cuadro 3. Efecto del porcentaje de humedad de la mezcla sobre las características físicas del pelet.

% Humedad	*IE	**F (min)	***ES (min)
24	3.33 ± 0.21 <sup>a</sup>	24.00 ± 1.00 <sup>a</sup>	18.00 ± 0.00 <sup>a</sup>
23	2.76 ± 0.33 <sup>ab</sup>	20.33 ± 0.58 <sup>b</sup>	17.00 ± 0.57 <sup>ab</sup>
22	2.41 ± 0.17 <sup>bc</sup>	14.00 ± 1.00 <sup>c</sup>	15.67 ± 0.58 <sup>ab</sup>
21	2.11 ± 0.15 <sup>c</sup>	9.33 ± 0.58 <sup>d</sup>	14.33 ± 1.15 <sup>b</sup>

\*IE: Índice de Expansión

\*\*F: Flotabilidad

\*\*\*ES: Estabilidad en agua

<sup>1</sup> Cada valor es expresado como la media ± la desviación estándar (n=4). Medias con letras diferentes en la misma columna son significativamente diferentes (P<0.05)

El Cuadro 3 nos indica que existió diferencia significativa entre los tratamientos en cuanto al índice de expansión, flotabilidad y estabilidad de los pelets en agua. A medida que aumentó el porcentaje de humedad de la mezcla al momento de ser extruída, aumentó el índice de expansión, la flotabilidad y la estabilidad en agua. Esto es debido a que la humedad de la mezcla eleva las temperaturas en las tres secciones del extrusor por la presencia de vapor y presión dentro del extrusor, adquiriendo una mayor cocción del producto.

La menor desintegración, junto a su gran capacidad de absorción de agua y especialmente, su mayor flotabilidad por el efecto de expansión, son características físicas determinantes para que el pez tenga más tiempo para consumir dietas extruídas y evitar pérdidas (Pokniak *et.al.*, 1999).

#### 4.2.1 Efecto de la humedad sobre el índice de expansión de los pelets

De acuerdo al análisis estadístico el tratamiento a 24% de humedad obtuvo el mayor índice de expansión en relación a los demás tratamientos. Esto se debió a que a éstas humedades se obtienen mayores temperaturas durante la extrusión y un mayor grado de gelatinización de los almidones presentes en la mezcla.

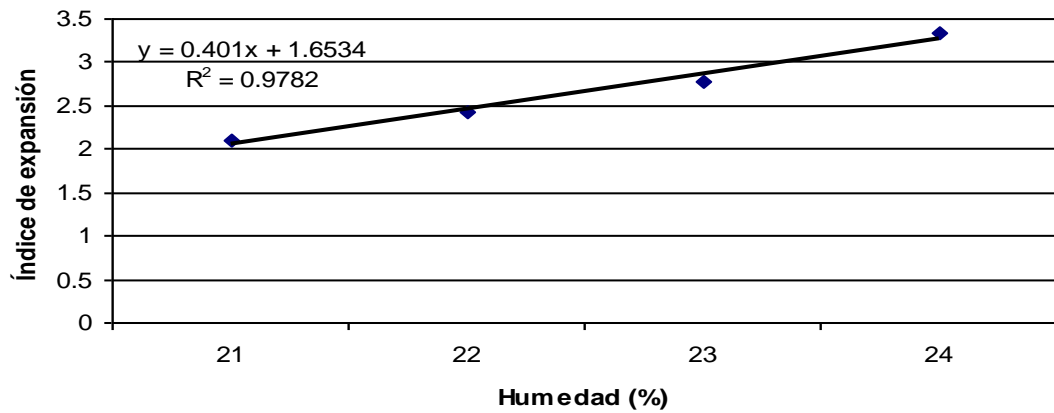


Figura 1. Efecto de los tratamientos sobre el índice de expansión de los pelets.

#### 4.2.2 Efecto de la humedad sobre la flotabilidad de los pelets

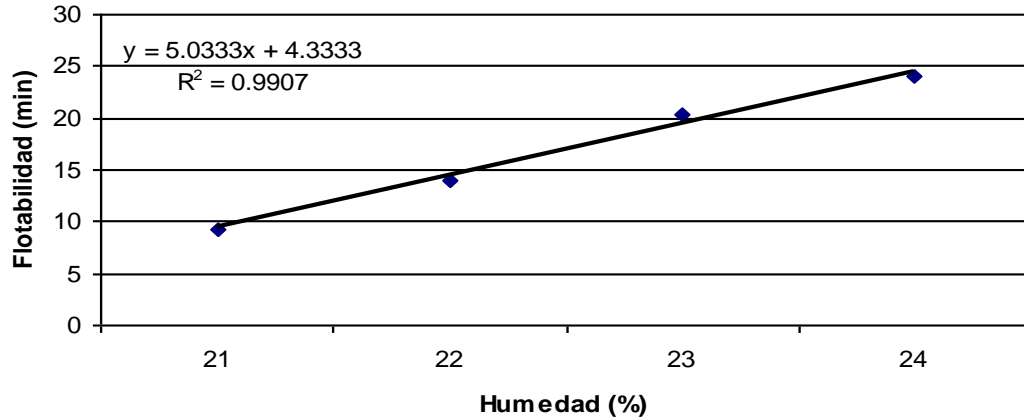


Figura 2. Efecto de los tratamientos sobre la flotabilidad de los pelets.

Se puede observar cómo la humedad de la mezcla generó una tendencia creciente en el tiempo de flotabilidad de los pelets. El extruído a 24% de humedad obtuvo el mayor tiempo de flotabilidad con 24 minutos y el tratamiento a 21% de humedad el de menor tiempo de flotabilidad con 9.33 minutos, teniendo el tratamiento a 24% de humedad un tiempo bastante prolongado para que los peces puedan ingerir el alimento. Esto se debe a que las densidades aparentes (kg/hl) obtenidas del tratamiento a 24% de humedad fueron menores que las densidades de los demás tratamientos y el de 23% de humedad fue el de mayor densidad, lo que provocó un menor tiempo de flotabilidad de los pelets.

#### 4.2.3 Efecto de la humedad sobre la estabilidad en agua de los pelets

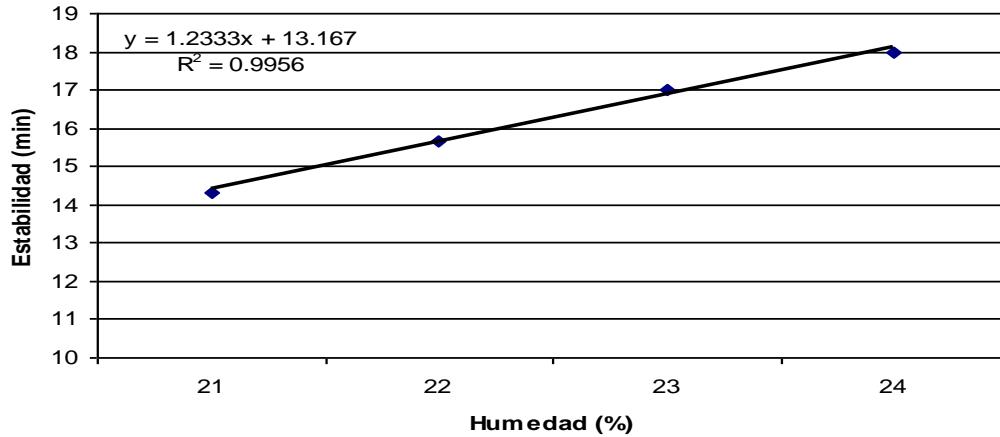


Figura 3. Efecto de los tratamientos sobre la estabilidad en agua de los pelets.

Los resultados obtenidos en la prueba de estabilidad muestran que a medida se aumentó el porcentaje de humedad de la mezcla, también aumentó el tiempo de estabilidad de los pelets en el agua, sin embargo, no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos de 22%, 23% y 24% de humedad. El mayor tiempo de estabilidad lo obtuvo el tratamiento a 24% de humedad con 18 minutos y el tratamiento a 21% de humedad obtuvo el menor tiempo con 14.33 minutos.

## **5. CONCLUSIONES**

- El proceso de extrusión disminuyó significativamente el contenido de proteína de los pelets extruídos.
- No hubo diferencia significativa entre tratamientos en el contenido de proteína.
- El tratamiento a 24% proveyó las mejores características físicas del pelet para el engorde de tilapia.

## **6. RECOMENDACIONES**

- Repetir el estudio para medir el efecto de la humedad sobre la estabilidad del pelet extruído sin el uso de aglutinante en la mezcla.
- Realizar el mismo estudio en un extrusor donde permita tomar la medida de presión para evaluar el efecto que tiene sobre la temperatura de cocción y el índice de expansión de los pelets.
- Agregar las vitaminas de la dieta después de la extrusión para evitar pérdidas de su contenido por las altas temperaturas del proceso.
- Realizar un estudio con una medida del grado de gelatinización del almidón y desnaturalización proteica para evaluar posibles variaciones de energía disponible para los peces al extruir el producto.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

De Silva, S, Anderson, T, 1995. Fish Nutrition in Aquaculture. Chapman & Hall Aquaculture Series, Australia. 194 p.

Drago, S; González, R; Chel-Guerrero, L; Valencia, M. 2007. Evaluación de la Disponibilidad de Minerales en Harinas de Frijol y en Mezclas de Maíz/Frijol Extrudidas (en línea). Consultado el 27 de octubre del 2007. Disponible en: [http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=s0718-07642007000100007&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=s0718-07642007000100007&script=sci_arttext)

Food and Agriculture Organization, 1989. Nutrición y alimentación de peces y camarones cultivados (en línea). Consultado el 27 de noviembre del 2006. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/field/003/ab492s/AB492S00.htm#TOC>

Gómez Torres, Richard, 2007. Extrusión de semilla de algodón (en línea). Consultado el 10 de octubre del 2007. Disponible en: [http://www.engormix.com/extrusion semilla algod on %E2%80%93 s articulos 436 BAL.htm+desnaturalizacion+de+proteinas+en+extrusion&hl=en&ct=clnk&cd=8](http://www.engormix.com/extrusion%20semilla%20algodon%20s%20articulos%20436%20BAL.htm+desnaturalizacion+de+proteinas+en+extrusion&hl=en&ct=clnk&cd=8)

Halver, John, 1989. Fish nutrition. Universidad de Washington. Academic Press, Seattle, Estados Unidos de América. 579 p.

Hepher, Balfour, 1988. Nutrición de peces comerciales en estanques. Fish and Aquaculture Research Station, Dor, Israel. 311 p.

Miller, J, 2007. Operaciones unitarias en procesos de extrusión (en línea). Consultado el 28 octubre del 2007. Disponible en: <http://www.asamex.nsrl.uiuc.edu/extrusion1.html>

Moncada, Luis Fernando, 2006. Puntos de control en la fabricación de alimentos balanceados para acuicultura (en línea). Consultado el 26 de noviembre del 2006. Disponible en: <http://educacion.uanl.mx/publicaciones/maricultura/acuicolaIII/pdfs/8.pdf>.

Pané, A. 1993. El proceso de extrusión en cereales y habas de soja (en línea). Consultado el 27 de octubre del 2007. Disponible en: [http://www.produccionbovina.com/informacion tecnica/manejo del alimento/76-extrusion en cereales y soja II.htm](http://www.produccionbovina.com/informacion%20tecnica/manejo%20del%20alimento/76-extrusion%20en%20cereales%20y%20soja%20II.htm)

Panorama Acuícola, 2007. Producción mundial de tilapia (en línea). Consultado el 10 de octubre del 2007. Disponible en: [http://www.panoramaacuicola.com/ediciones/pam-9-6/pam-9-6\\_56-57.pdf](http://www.panoramaacuicola.com/ediciones/pam-9-6/pam-9-6_56-57.pdf).

Parker, Rick, 1995. *Acuaculture Science*. Delmar Publishers, Estados Unidos de América. 263 p.

Pokniak, J; Cornejo, S; Galleguillos, C; Larraín, C; Battaglia, J. 1999. Efectos de la extrusión o peletización de la dieta de engorda sobre la respuesta productiva de la trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*) tamaño plato (en línea). Consultado el 28 de octubre del 2007. Disponible en: [http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0301-732X1999000100017&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0301-732X1999000100017&script=sci_arttext)

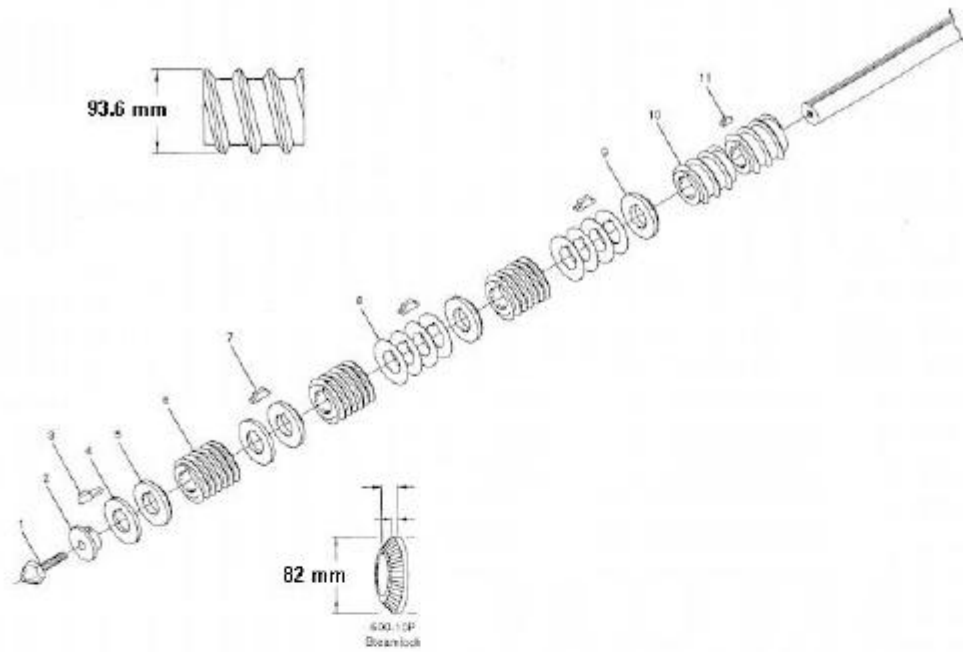
Riaz, Mian, 2004. TAMU Food Science Program: Pioneering Extrusion Technology (en línea). Consultado el 27 de noviembre del 2006. Disponible en: <http://foodprotein.tamu.edu/extrusion/inthenews.htm>

Romano, Tobías, 2004. Cultivo de tilapia en Honduras, una industria en movimiento (en línea). Consultado el 29 de octubre del 2007. Disponible en: [http://www.panoramaacuicola.com/ediciones/pam-9-6/pam-9-6\\_38-41.pdf](http://www.panoramaacuicola.com/ediciones/pam-9-6/pam-9-6_38-41.pdf)

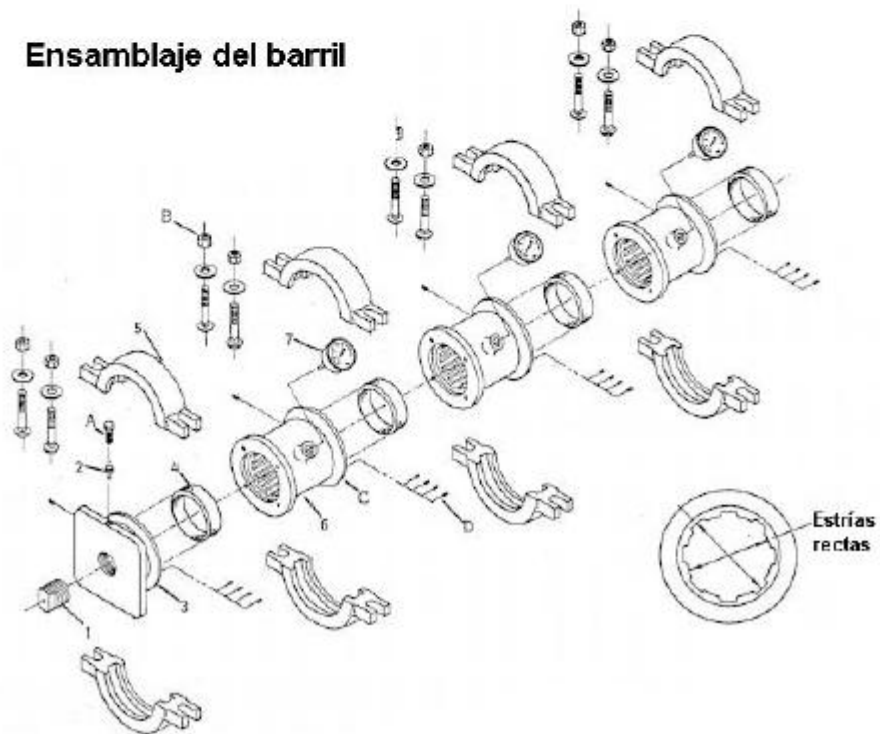


## **8. ANEXOS**

## Anexo 1. Ensamblaje del tornillo (Model 600JR Manual Pages, 2000).



## Ensamblaje del barril



Anexo 2. Productos obtenidos según el tipo de cocción al que han sido sometidos (Miller, 2007).

