



Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología
Universidad Nacional Autónoma de México

00366
5
UNAM

**USO DE EXTRUIDOS A BASE DE HARINA DE MAÍZ Y VÍSCERAS
DE ATÚN COMO SUBSTITUTO DE LA HARINA DE PESCADO EN
DIETAS PARA PECES (*Oreochromis niloticus*, Linneaus, 1758)**

T E S I S

que para obtener el grado académico de

**Maestro en Ciencias
(Biología Marina)**

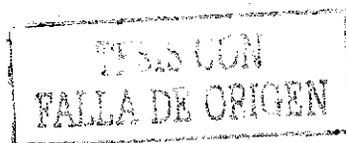
p r e s e n t a

ALFREDO CABRERA GONZÁLEZ

Director de Tesis: Dr. CARLOS A. MARTÍNEZ PALACIOS

**Comité Tutorial: Dra. Ma. CRISTINA CHÁVEZ SÁNCHEZ
M. en C. ANGELA SOTELO LÓPEZ**

México D.F, de 2002





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres; **Jorge Cabrera Juárez** y **María González Cruz**, por haberme enseñado un camino recto con su ejemplo de compromiso y entrega en todo momento. Por enseñarme, además, que el canto de un pájaro y la sencillez de un hombre, son de las cosas más caras de conseguir y apreciar en esta vida, pero también las más baratas, quizá porque tengan que ver con la esencia de lo que Dios es.

A mis hermanos con mucho cariño: **Juan, Yolanda, Gilberto, Ma. de los Ángeles, Ma. Dolores** y en especial a **Jorge** por ser parte muy importante de este logro, muchas gracias.

A todos mis sobrinos, en especial a **Oscar A. Fajardo C.**, por su apoyo y atenciones.

A mi amiga y compañera, la Hidrobióloga, **Sonia González Rebollar**, por sus palabras de aliento, amor y cariño, y por estar conmigo en los momentos importantes.

Alfredo Cabrera González

AGRADECIMIENTOS

Al CONACyT, por su programa de becas crédito para estudios de postgrado, que hizo posible esta maestría y espero, la de muchos más.

Al Proyecto CIC-UMSNH-APC-5-5.2, acuicultura, alimentación y nutrición de especies nativas y exóticas con potencial acuicultural.

Al Dr. Carlos A. Martínez Palacios, por darme la oportunidad de realizar esta tesis bajo su tutela, por su confianza y amistad.

A la M en C. Ángela Sotelo López, la Dra. Ma. Cristina Chávez Sánchez, Dra. Gabriela Gaxiola Cortés, y la Dra. Cecilia Vanegas Pérez, por brindarme parte de su valioso tiempo en la revisión de esta tesis y por sus atenciones.

A la M en C. Crisantema Hernández González, por su enseñanza en el manejo del extrusor, elaboración de dietas, por su amistad y gran apoyo.

A la Biol. Blanca Teresa González Rodríguez, por su enseñanza y calidad en los análisis bromatológicos.

A la Ing. Química, Iliana González por su apoyo en el análisis de aminoácidos.

A las M en C. Ana Carmela Puello Cruz e Isabel Abdo de la Parra, por auxiliarme en la formulación de dietas y la parte del bioensayo.

Al M. en C. Pedro Cervantes Hernández, por su asesoría en la parte estadística.

Al Ing. Bernabé González y su equipo de trabajo, de la planta de Pescados Industrializados S.A. (PINSA), del puerto de Mazatlán, Sin., por su apoyo en la donación de vísceras de atún, muchas gracias.

Al Dr. Jesús Zendejas H., gerente de producto en acuicultura, Agribrans, Purina. México, por la donación de vitaminas y minerales.

A la Ing. Acuícola, Jasmina Sarmiento Pardo y Luis C. Inda, por su apoyo en el laboratorio, en la planta experimental de alimentos, y en especial, por su valiosa amistad.

A los señores, Felipe Hernández Peinado y Ramón Osuna Reyes por su apoyo técnico y atenciones.

A las secretarías de la coordinación de postgrado, en C.U, a Gabriela Almaraz y Norma Suazo, en la Unidad Mazatlán, a Margarita Cordero, al igual que a Clara Ramírez J. (biblioteca) por su gran apoyo y atenciones.

A Luis Martínez Rocha de Morelia Mich., y su respetable familia por brindarme su hogar y su apoyo, gracias.

A todos mis amigos y compañeros del postgrado: López Méndez Ma. Eugenia, Maldonado Cuevas Miguel Ángel, Molina Aja Almudena, Montoya Márquez José Alberto, Morales Whitney Johanna, Núñez García Rosa María, Pantoja Reyes Norma Isabel, Rodríguez Almazán Claudia, Sánchez Malinali, Cuna Pérez Estela, Robledo Torrano Rodolfo, Vázquez López Horacio, Pedro Cervantes, Erik Barriga, Rubén Airola, Carlos Cuenca, Lennin, Ernesto Castro, Irma Martínez, Nacho y Germán (del centro de cómputo), Linda (biblioteca ICMYL.), Natalia Medina, Rebeca y de manera especial a Eva Bojórquez Leyva por su gran ayuda y calidad humana.

CONTENIDO

INDICE DE TABLAS	iv
INDICE DE FIGURAS	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	4
2.1 Extrusión	4
2.2 Fuentes de Proteína Vegetal	5
2.3 Fuentes de Proteína a partir de Subproductos Pesqueros	6
3. OBJETIVOS	8
4. DISEÑO EXPERIMENTAL	9
4.1 Materias Primas	9
4.1.1 Vísceras de atún	9
4.1.2 Harina de maíz	9
4.1.3 Harina de pescado	9
4.1.4 Pasta de soya	10
4.2 Proceso de Extrusión	10
4.2.1 Tipo de extrusor	10
4.2.2 Elaboración de extruidos	12
4.2.3 Parámetros registrados	14
4.3 Elaboración de Dietas Experimentales	15
4.3.1 Fuentes de proteína y nivel de inclusión en dietas	15

4.3.2 Materias primas y análisis proximal en dietas experimentales	16
4.3.3 Elaboración de dietas	17
4.4 Sistema Experimental y Calidad del Agua	18
4.4.1 Sistema experimental	18
4.4.2 Alevines	19
4.5 Parámetros de Evaluación Biológica	19
4.6 Análisis Químicos	21
4.6.1 Análisis bromatológicos	21
4.6.2 Análisis de aminoácidos en dietas	22
4.6.3 Análisis de digestibilidad	22
4.7 Análisis Estadístico	23
5. RESULTADOS	24
5.1 Primeros Extruidos de Prueba 75/25, 70/30	24
5.2 Segundos Extruidos 50/50	25
5.2.1 Parámetros de proceso de extrusión	27
5.3 Análisis de Aminoácidos	28
5.4 Resultados de Calidad del Agua	29
5.5 Resultados de la Evaluación Biológica	29
5.6 Análisis de Digestibilidad	31
5.7 Análisis del Cuerpo	32
6. ANALISIS DE COSTOS	33
6.1 Evaluación Económica del Primer y Segundo Extruidos 50/50	33
6.2 Costo Específico por Dieta	34
7. DISCUSIONES	36
7.1 Extruidos	36
7.2 Análisis de Aminoácidos	37

7.3 Evaluación Biológica	38
7.4 Análisis de Digestibilidad	39
7.5 Análisis del Cuerpo	39
7.6 Análisis de Costos en Extruidos 50/50	40
7.7 Análisis de Costos en Dietas	41
8. CONCLUSIONES	42
9. BIBLIOGRAFÍA	44
10. APENDICES	57
Apéndice 1. Método para la Determinación de Humedad	58
Apéndice 2. Método para la Determinación de Proteína Cruda	59
Método Simple Propuesto por Chow <i>et al.</i> , (1980)	60
Apéndice 3. Método para la Determinación de Extracto Etéreo	62
Apéndice 4. Método para la Determinación de Fibra Cruda	64
Apéndice 5. Método para la Determinación de Cenizas	66
Apéndice 6. Método para la Determinación de ELN	67
Apéndice 7. Método para la Determinación de Oxido de Cromo en Heces y Alimentos	69
Apéndice 8. Método para la Determinación de Aminoácidos	71
Apéndice 9. Precio y Proveedor de los ingredientes usados en dietas	73
Apéndice 10. Contenido de Nutrimentos y Oxido de Cromo en Heces	74

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Análisis nutrimental en materias primas para extruidos	12
Tabla 2. Fuentes de proteína y porcentaje de inclusión por dieta	15
Tabla 3. Análisis proximal de materias primas para elaboración de dietas	16
Tabla 4. Composición porcentual de ingredientes en dietas	17
Tabla 5. Análisis y método empleado en las determinaciones bromatológicas	21
Tabla 6. Contenido de proteínas, lípidos y fibras en los extruidos de prueba	24
Tabla 7. Porcentajes de humedad en mezclas y extruidos de prueba	25
Tabla 8. Porcentaje de peso perdido, o merma, por secado	25
Tabla 9. Análisis de proteínas, lípidos y fibras en los segundos extruidos	25
Tabla 10. Porcentaje de humedad en mezclas y extruidos	26
Tabla 11. Porcentaje de peso perdido, o merma, por secado	26
Tabla 12. Evaluación de aminoácidos en la dieta D-Test y dieta D-40	29
Tabla 13. Valores promedio de parámetros de calidad del agua durante el bioensayo	29
Tabla 14. Datos de crecimiento y consumo de alimento	30
Tabla 15. Valores de digestibilidad	32
Tabla 16. Composición proximal del cuerpo de las tilapias al inicio y final del bioensayo con las cinco dietas experimentales	32
Tabla 17. Costo de energía eléctrica para la elaboración de los extruidos 50/50	33
Tabla 18. Costo por tonelada del primer y segundo extruidos 50/50	34
Tabla 19. Costo específico por Kg en dietas experimentales	35
Tabla 20. Costo de proteína en materias primas para dietas	41

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Partes externas del extrusor Insta-Pro Jr-600	10
Fig. 2. Alabe sencillo, anillo de presión y rondana de presión	11
Fig. 3. Partes de la Flecha: D-F).- Alabes sencillos, G-I).- Anillos de presión	11
Fig. 4. Diagrama de proceso para la elaboración de los dobles extruidos 50/50	14
Fig. 5. Sistema de recirculación con filtro biológico	18
Fig. 6. Comportamiento de parámetros en el proceso de extrusión	28
Fig. 7. Respuesta en peso promedio, en alevines de Tilapia Nilótica a lo largo de las 7 semanas de bioensayo	28

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo principal evaluar las vísceras húmedas de atún extruidas con harina de maíz, para generar harina que pudiera ser utilizada como fuente de proteína en la elaboración de dietas para tilapia *Oreochromis niloticus*. Se elaboraron dos extruidos de prueba en la proporción 25/75 y 30/70 con **vísceras de atún / harina de maíz (VA/HM)** con el fin de alcanzar un nivel adecuado de proteína, lo cual se logró con un doble extruido 50/50 VA/HM, que permitió alcanzar un nivel de proteína de 29%. Los extruidos se llevaron a cabo en un extrusor Insta-Pro modelo Jr-600. Se elaboraron 5 dietas isoproteicas (35%) e isoenergéticas 16.8 KJ/g. Los niveles de inclusión en las dietas, de la harina generada a partir del doble extruido 50/50 fueron: 20,30, y 40%, la dieta testigo (D-Test), tuvo como fuente de proteína harina de pescado y pasta de soya, en la dieta D-100, se reemplazó en un 100% la harina de pescado por pasta de soya y harina del doble extruido 50/50. Para medir la digestibilidad se utilizó óxido de cromo como marcador al 0.5 %.

El bioensayo se llevó a cabo en un sistema de recirculación con filtro biológico utilizando alevines de tilapia de 65 mg de peso promedio, como organismos experimentales, los cuales se distribuyeron al azar en tres replicas por dieta y fueron alimentados ad libitum. Para su cultivo se usaron tinajas de 60 litros de capacidad con un flujo de 1.7 l/min. El bioensayo tuvo una duración total de 7 semanas.

Los resultados mostraron un mayor crecimiento en los alevines alimentados con las dietas D-20 y D-30 ($P>0.05$), sin encontrar diferencias significativas entre las dietas D-Test, D-40 y D-100. En la tasa de eficiencia proteica, utilización neta de proteína, factor de conversión alimenticia y razón de crecimiento específico, la D-100 presentó los valores significativamente más bajos ($P>0.05$), sin observarse diferencias significativas entre las dietas D-Test y D-40. La digestibilidad proteínica fue alta en todas las dietas, con un valor promedio de 91%, la dieta D-20 presentó el valor significativamente más bajo (90%), la digestibilidad de extracto etéreo fue más alta en la dieta D-100, si bien, no hubo diferencias significativas entre las cinco dietas, en tanto que la digestibilidad de materia seca se observó más baja en la dieta D-100 ($P>0.05$).

El análisis de aminoácidos que se hizo en las dietas D-Test y D-40 mostró a la lisina limitante en ambas dietas, y en menor grado el triptófano.

Por ultimo, de las dietas que reportaron buenos resultados, la D-40 resultó ser la más barata en costo de proteína, comparada con la D-Test, aunque no resultó competitiva al compararse con un alimento comercial.

Se concluye que es posible mediante la extrusión, usar subproductos de la industria del atún para generar harina de alta calidad que pueda competir en calidad proteínica con la harina de pescado, sustituyendo esta última con harina extruida de vísceras de atún / harina de maíz, hasta en un 40% en términos de proteína, en dietas practicas, sin encontrar diferencias significativas con dieta control.

ABSTRACT

The present work had as the main objective, the evaluation of fresh tuna viscera extruded with corn meal to generate a meal that could be used as a protein source in diets for tilapia, *Oreochromis niloticus*. Two extruded test, 25/75 and 30/70, were made with **tuna viscera / corn meal (TV/CM)** with the purpose to reach a high protein level, this was obtained with a double extruded 50/50 TV/CM, that allow to reach a 29% of protein level. The extrusions were carried out in an extruder Insta-Pro Jr-600 model. Five isoprotein (35%) diets and isoenergetic (16.8 KJ/g), were prepared based on the extruded material. The levels of inclusion in the diets, of the meal generated from the two extruded 50/50 were: 20,30, and 40%, the control diet (D-Test), had fish meal and soy meal as a only protein source, in the diet D-100, it was replaced in 100% the fish meal by soy cake, and meal of the double extruded 50/50. In order to measure digestibility, was used chromic oxide as indicator at the concentration of 0,5 %. The bioassay was carried out in a system of recirculation with biological filter and tilapia fry of 65 mg of average weight, distributed randomly with three replicates by diet, and fed ad libitum. Tanks of 60 L of capacity with a flow of 1,7 l/min were used. Bioassay lasted 7 weeks. The results showed a better growth in fry fed diets D-20 and D-30, without significant difference ($P>0.05$), between the diets D-Test, D-40 and D-100. In the ratio of protein efficiency, net use of protein, feed conversion ratio and specific growth ratio, D-100 showed values significantly lower, no significant differences between the diets D-Cont and D-40 were found ($P>0.05$). The protein digestibility was high in all diets, with average of 91%, the diet D-20 presented a significantly lower value (90%), fat digestibility was higher in the diet D-100, although, it there was not significant differences between the five diets, whereas the digestibility of dry matter were observed lower in the diet D-100 ($P>0.05$).

The amino acids analysis in both diets, D-Test and D-40, showed lysine was limited in both diets, and in a small degree, the tryptophan.

From the diets that reported good results, D-40 turned out to be the cheapest in cost for protein, compared with D-Test, although it was not competitive when comparing itself with a commercial food.

The work shows that it is possible by means of the extrusion, the use of tuna by-products of the industry, to generate meal of high quality to compete in protein quality with the fish meal, replacing with TV/CM meal, up to 40% in practical diets with out find significative differences with the test diet.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la acuicultura es reconocida como una actividad viable y rentable en el ámbito mundial, la cual continuará creciendo y generando gran parte de la creciente demanda de productos pesqueros para consumo, debido a que los océanos han sido inadecuadamente manejados (sobre explotados), y por tanto, su productividad es a futuro impredecible. Abasto, precio y calidad pueden ser manejados más efectivamente cuando los peces son cultivados bajo condiciones controladas. A medida que la tecnología en la acuicultura ha evolucionado, la tendencia es generar más altas producciones con un más rápido crecimiento de los organismos, los cuales han requerido de un reemplazo de alimento natural por dietas preparadas (Lovell, 1989).

El incremento en el costo del alimento es uno de los factores más importantes que limitan la rentabilidad en los sistemas acuaculturales; este aumento es causado principalmente por el precio de la harina de pescado, la cual es usada como fuente principal de proteína debido a su alto contenido proteico y a un balance adecuado de aminoácidos esenciales (McCoy, 1990). La harina de pescado es también excelente fuente de ácidos grasos esenciales, energía digerible, minerales y vitaminas. Por esto, no sorprende que la harina de pescado sea la fuente de proteína más cara en alimentos para animales de corral y para acuicultura (Tacon, 1993). El déficit global en la producción de la harina de pescado está ligado a una creciente demanda y competencia en su uso para alimento de aves y ganado, lo cual también genera un incremento en el precio de esta harina. Es evidente que en el corto plazo, los países en vías de desarrollo serán incapaces de depender de la harina de pescado como fuente principal de proteína en alimentos para la acuicultura (El-Sayed, 1999). Como resultado, se ha dado una constante búsqueda por fuentes alternas de proteína para la elaboración de alimentos en la acuicultura (Olvera., *et al.*, 1997).

En alimentos comerciales la inclusión de harina de pescado puede fluctuar entre 10 y 40 %, si bien puede incrementarse aún más si el precio es bajo; desafortunadamente, se espera que este costo continúe incrementándose ya que todo parece indicar que las capturas en las pesquerías comerciales disminuirán un 5 % para la próxima década (Akiyama, *et al.*, 1991; McCoy, 1990), o en el mejor de los casos permanecerán estables (Hardy y Masumoto, 1991). Esto se debe a la sobreexplotación de los recursos pesqueros, los ciclos naturales en las capturas y fenómenos ambientales como el de El Niño (Barlow y Pike, 1992). Las proyecciones para los próximos años indican que la producción pesquera mundial se situará alrededor de 6 a 6.5 millones de toneladas para el año 2001, mientras que se espera que los alimentos para acuicultura consuman entre el 15 y 17 % de esta producción, lo cual equivale al doble de la actual. Aiken y Sinclair (1995) predicen que para el año 2025 habrá un déficit de organismos pescados, de 55 millones de toneladas, entre la pesca marina (60 millones de toneladas) y la demanda de alimento marino (115 millones de toneladas). Csavas (1994) ha calculado que la producción mediante la acuicultura tendrá que incrementarse 3.5 veces para poder cubrir dicha demanda de organismos acuáticos.

En México la producción pesquera reportada para la parte sur de Baja California, llega a rendir capturas del orden de 500 toneladas o más por viaje de atún Aleta Amarilla (*Thunnus albacares*), cuya carne es la de mayor importancia económica, comparada con la de las otras especies de atún (Soria, 1996 in Vizcarra M., 1998). Para el puerto de Mazatlán el Anuario Estadístico de Pesca (1997) reportó capturas de 79,217 toneladas de túnidos, con un promedio de 54 mil toneladas en los últimos 11 años. En este sentido, tan solo la compañía Pescados Industrializados S.A (PINSIA), la más grande en Latinoamérica y ubicada en el puerto de Mazatlán, de donde se obtuvo el material para el presente estudio, procesa hasta 120 toneladas de atún por día, con un promedio de 38 mil toneladas por año (comunicación personal).

Durante el procesamiento del atún se generan varias clases de subproductos como son: vísceras frescas, agallas, músculo oscuro, cabezas y piel (Vizcarra *et al.*, 1999), que no son aprovechados adecuadamente, ya que son molidos y

hechos harina sin un adecuado control de calidad. Entre estos subproductos se encuentran las branquias, el esqueleto óseo, la carne negra rica en ácidos grasos, el hígado y el resto de las vísceras (estómago e intestinos); estas últimas representan el 6 % del peso del animal y tienen un 69.28 % de proteína (base seca).

Para poder aprovechar esta valiosa fuente de proteína se eligió trabajar con el proceso de extrusión. Las ventajas que reporta el proceso de extrusión de pescado entero fresco o congelado, incluyendo vísceras son las siguientes: capacidad de almacenamiento, incorporación directa en fórmulas para alimentos compuestos y esterilización. Este método destruye a la mayoría de organismos patógenos mediante la temperatura (115-155°C) y presión ejercidos durante el proceso, como es el caso de las bacterias (gram positivas y negativas), hongos, virus e incluso exo-toxinas de estos microorganismos, todo esto sin afectar la calidad nutricional de las proteínas (Cluet, 1990; Goldhor *et al*, 1990; Kerns *et al*. 1988; Woodroffe, 1995), asimismo desactiva factores antinutricionales que se presentan en las fuentes vegetales, tales como inhibidores de proteasas, fitohemaglutininas, glucosinolatos, cianógenos, factores anti-vitamínicos, factores antienzimáticos, factores estrogénicos, entre otros, además de incrementar el valor nutricional en el producto generado (Tacon y Jackson, 1985).

En general los subproductos deben ser considerados como recursos renovables o recursos secundarios que al ser procesados correctamente, pueden ser utilizados como ingredientes de buena calidad, reduciendo además, los problemas ambientales de eutroficación y sobrepesca, así como el costo de producción del alimento (Nabil, 1992).

2. ANTECEDENTES

2.1 Extrusión

La tecnología de la extrusión se estableció y se ha venido utilizando para plásticos y otros materiales desde 1853. Su aplicación a la industria de los alimentos tales como pastas, fideos y macarrones, empezó desde el año 1900. Para el año de 1930, la tecnología de la extrusión dio un gran salto con la compañía Adams Corp, la cual inició la fabricación de extrusores para producir alimentos que alcanzaban altas temperaturas de cocción debido al calor generado por la fricción de los substratos y las partes del extrusor (Acosta, 1990).

Los extrusores son básicamente tornillos bombecedores en los cuales el material está sujeto a calor, presión y fuerzas de corte. Ahora existe una gran cantidad de mecanismos disponibles y aplicables a un vasto rango de productos (Woodrooffe, 1995).

La extrusión en seco, como la usada en el presente trabajo, fue originalmente diseñada únicamente para procesar frijol soya. Para esta operación la adición de humedad no fue necesaria debido a que el alto contenido de aceite del frijol soya actuaba como lubricante durante la extrusión.

Con el paso del tiempo, la extrusión en seco ha adquirido mayor relevancia debido a otra técnica en la cual se mezclan dos o más materiales para eliminar cantidades importantes de agua (*co-extrusión*). Esta técnica ha permitido la posibilidad de mezclar y procesar subproductos húmedos de la industria pesquera junto con harinas vegetales como la de soya, sorgo, frijol y algunos otros cereales, dándoles un valor nutricional agregado, al incrementar la digestibilidad del almidón. Esto ha permitido generar alimento de elevada calidad proteica a bajo costo y de alta digestibilidad (Woodrooffe, 1995).

2.2 Fuentes de Proteína Vegetal

La harina de soya ha probado ser una adecuada fuente de proteína vegetal debido a su adecuado perfil de aminoácidos, aunque es limitante en aminoácidos sulfurados tales como metionina, cisteína y cistina, además de lisina. Posee también antinutrientes como inhibidores de tripsina, fitohemaglutinina, y antivitaminas; antinutrientes que pueden ser desactivados durante el proceso térmico al que se somete la soya (Tacon, 1993). Varios autores han utilizado la harina de soya extraída con solventes, con o sin adición de aminoácidos, logrando exitosamente sustituciones de la harina de pescado, hasta de un 75% para alimento de alevines de Tilapia Nilótica (Pantha, 1982; Tacon, *et al.*, 1983), y *O. Mossambicus* (Jackson *et al.*, 1982) y de 67% en el caso de híbridos de tilapia (Shiau *et al.*, 1989).

La harina de semilla de algodón es otra fuente proteínica disponible a nivel mundial; contiene entre 26 y 54% de proteína cruda y un adecuado perfil de aminoácidos (FAO, 1983). Sin embargo, contiene relativamente bajos niveles de metionina, cistina y lisina, además de un alto contenido de gossipol (un antinutriente fenólico), que puede limitar su uso. El uso de harina de semilla de algodón, así como de su cascarilla, ha tenido resultados controvertidos; por ejemplo, Ofojekwu y Ejike (1984) y Robinson *et al.* (1984), encontraron que *O. Niloticus* y *O. Aureus* alimentadas a partir de harina y cáscara de semilla de algodón, respectivamente, tuvieron un crecimiento menor al registrado con harina de pescado. En contra parte, la harina de algodón extraída con solventes fue exitosamente usada en dietas para *O. mossambicus* (Jackson *et al.*, 1982) y tilapia nilótica (El-Sayed, 1990). La cascarilla de semilla de algodón también ha sido utilizada favorablemente como fertilizante en cultivos semi-intensivos de tilapia (Middendorp, 1995; Middendorp y Huisman, 1995).

También han sido utilizados subproductos de semillas oleaginosas; entre estos se puede mencionar al girasol, copra, sésamo y macadamia. Omoregie y Ogbemudia, 1993; y Deoliveira *et al.*, 1997 reportaron que el crecimiento en alevines de tilapia



nilótica no se afectó con el uso de harina de subproducto de semilla de palmera africana, en sustituciones de hasta 35%.

En el caso de plantas acuáticas, los resultados no han sido muy alentadores como es el caso de las hidrofítas *Azolla pinnata* y *Azolla microphylla*, las cuales fueron incluidas en dietas para tilapia a niveles de reemplazo desde 25% hasta un 100%, encontrándose pobre crecimiento en ambos casos (El-Sayed, 1992; Almazan *et al.*, 1986). En contraste, Naegel (1997) y Santiago *et al.* (1988) en trabajos con *Azolla sp.* y *A. Pinnata*, a niveles de inclusión de 35% y 42% respectivamente, reportaron mejores crecimientos en tilapia nilótica que con la dieta testigo.

Leguminosas y concentrados proteínicos de plantas han sido también usados como fuente de proteína en dietas para tilapia; por ejemplo, Olvera-Ilova *et al.* (1997) encontraron buenos resultados al trabajar con concentrados proteínicos de la leguminosa *Vigna unguiculata*, en reemplazos del 20 al 30% de la harina de pescado, en alevines de Tilapia Nilótica.

Por último, es importante mencionar el uso de proteínas de organismos unicelulares, como es el caso de algas unicelulares, hongos, bacterias, cianobacterias y levaduras. Chamberlain y Hopkins (1994) reportan el uso de salvado de trigo como fuente de carbono y celulosa en estanques con aireación continua; con esto lograron un importante crecimiento bacterial que ayudó a bajar los niveles de amonio, a la vez que sirvió de alimento para peces. Con este esquema se han obtenido buenos resultados con *O. Aureus* (Avnimelech y Mokady, 1988); así como con otras especies de tilapia (Moriarty y Moriarty, 1973; Shrestha y Knud-Hansen, 1994; Dempster *et al.*, 1995).

2.3 Fuentes de Proteína a partir de Subproductos Pesqueros

Con excepción del ensilado de pescado, se ha puesto poca atención al potencial comercial de subproductos de pesquerías (incluidos los concentrados de proteína de pescado e hidrolizados, harina de camarón, harina de krill y de calamar) como fuentes de proteína parcial o total para la acuicultura (El-Sayed, 1999).

Toledo *et al.* (1987) reportó que la cabeza de camarón fue incorporada a dietas de tilapia azul hasta en un 15 % sin efectos adversos en los animales.

Mansour (1998) y El-Sayed (1998) encontraron que la harina de camarón (con un 50% de proteína) puede ser usada como sustituto total de la harina de pescado en juveniles de tilapia roja (*O. niloticus* X *O. hornorum*) y tilapia Nilótica, sin una significativa pérdida en ganancia en peso y eficiencia alimenticia.

Dominy y Lim (1989) evaluaron la pasta de soya coextruida con vísceras de calamar en mezclas 50/50 y 40/60 en dietas para camarón *Penaeus vannamei*, encontrando buenos resultados en ganancia de peso. En ambos casos, la dieta 40/60 mostró los mejores resultados en peso que cuando se uso únicamente la pasta de soya.

Pelcastre (1996) evaluó el efecto de coextruido elaborados con subproducto de carpa y pasta de soya en el crecimiento del bagre de canal *Ictalurus punctatus*, encontrando el mejor crecimiento en las dietas con inclusiones de 40 y 50% de subproducto de carpa.

Melo (1997) trabajó con cabezas de camarón coextruidas con pasta de soya, incluidas en dietas a un nivel de 4 y 8% aunque sin encontrar diferencias significativas en crecimiento.

Camarena (1998) trabajó con cabeza de camarón coextruida con trigo o sorgo sobre el crecimiento del camarón *Penaeus stylirostris*, encontrando las mejores tasas de crecimiento en los coextruidos dobles con un 8% de inclusión de cabeza de camarón.

El-Sayed (1998) evaluó el efecto en el crecimiento de tilapia Nilótica (*O. niloticus*), en reemplazos al 100% de la harina de pescado por subproductos animales, donde encontró similares resultados en crecimiento, con ambas fuentes de proteína.

Por todo lo anterior es claro que se requiere más investigación en cuanto al uso de materiales no convencionales en dietas para organismos acuáticos, sobre todo, de aquellos materiales que incluyan altos niveles de aminoácidos azufrados como es el caso de los desperdicios industriales de la pesca comercial.

3. OBJETIVOS

GENERAL

- Evaluar las vísceras de atún en la elaboración de extruidos con harina de maíz, y generar harina que pueda sustituir a la harina de pescado en la elaboración de dietas para peces.

ESPECIFICOS

- Determinar las mejores mezclas y proporciones de ingredientes para llevar a cabo los extruidos y alcanzar altos niveles de proteína.
- Elaborar harina a partir de extruidos con vísceras húmedas de atún y harina de maíz, que pueda ser utilizada como fuente de proteína en la elaboración de dietas para tilapia.
- Medir la respuesta en crecimiento de la tilapia (*O. niloticus*) a varias inclusiones de harina de extruido como fuente de proteína.
- Determinar el porcentaje de digestibilidad de cada una de las dietas.
- Llevar a cabo un análisis de costos por dieta.
- Proponer una dieta a base de extruidos de vísceras de atún que satisfaga las necesidades nutricionales de *O. niloticus*.

4. DISEÑO EXPERIMENTAL

4.1 Materias Primas

4.1.1 Vísceras de atún

Las vísceras de atún, *Tunnus albacares*, fueron obtenidas en la planta de enlatado de atún, Pescados Industrializados S.A. (PINSIA), localizada en el puerto de Mazatlán Sin. Dichas vísceras fueron colectadas en la propia planta tan pronto como los atunes fueron eviscerados a una temperatura de 0°C (32°F). A dichas vísceras, se les retiró el hígado dada su gran cantidad de vitamina D (Tacon, 1989), y posteriormente la gónada, debido a su alto precio de venta en el mercado internacional (comunicación personal). Las vísceras fueron transportadas en cubetas de plástico y posteriormente congeladas a -15°C hasta su uso en los extruidos.

4.1.2 Harina de maíz

Se trabajo con maíz en grano, el cual fue adquirido en un comercio de insumos agrícolas del puerto de Mazatlán; dicho maíz se almacenó en un costal con buena ventilación hasta su molienda en un molino de martillos.

4.1.3 Harina de pescado

Se utilizó harina de pescado de la industria COPPEL ubicada en el puerto de Mazatlán Sin., la cual está elaborada a base de sardina crinuda.

4.1.4 Pasta de soya

Se utilizó pasta de soya (extraída con solventes) de la más alta calidad, dicha pasta fue adquirida de un establecimiento de insumos agrícolas del puerto de Mazatlán.

4.2 Proceso de Extrusión

4.2.1 Tipo de extrusor

Se trabajó con un extrusor Insta-Pro modelo Jr-600 (Figura 1), donde se realizaron las extrusiones en seco. Fueron utilizados alabes sencillos y una configuración de anillos de presión a partir del inicio de la flecha de 10 (3 ½ pulgadas), 08 (3 pulgadas), 08, 08 (Figuras 2 y 3), similar al usado por Pelcastre (1996), con un cono de nariz de 13 mm. (diámetro interno) a la salida, roscado 4 vueltas hacia afuera.

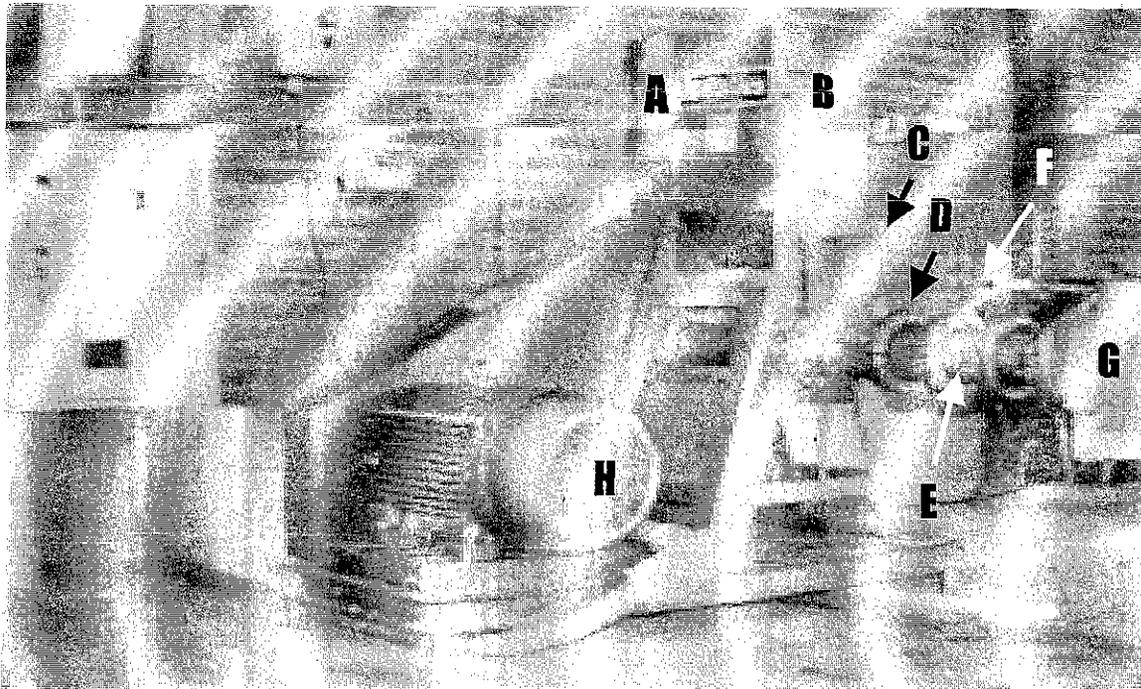


Fig.1 Partes externas del extrusor Insta-Pro Jr-600: A).- Motor alimentador, B).-Mezclador, C).- Tolva pequeña, D).-Abrazadera, E).- Barril, F) - Termistor, G).- Protector, H).- Motor.

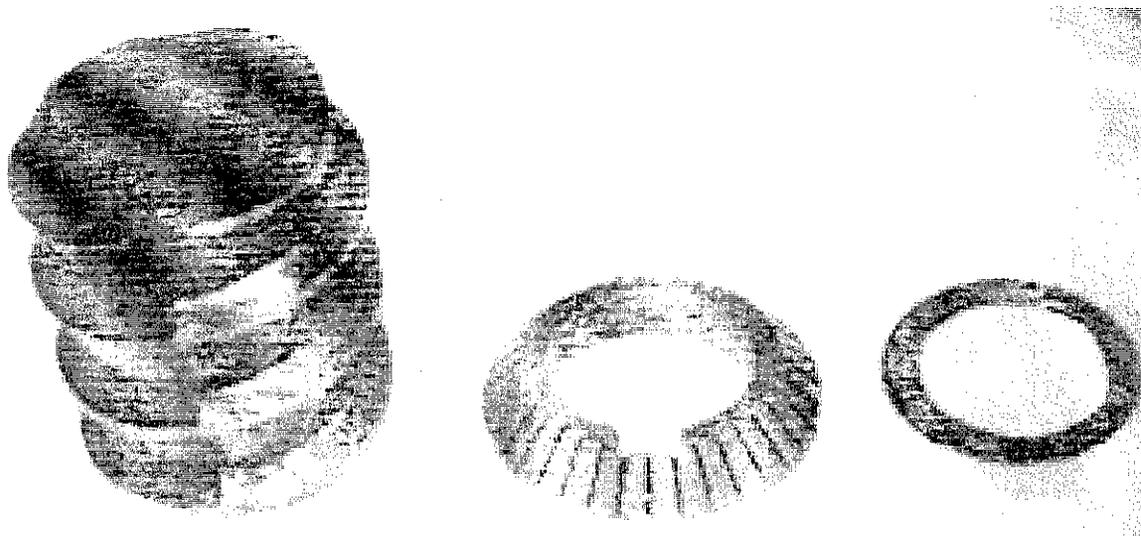


Fig.2. De izquierda a derecha: alabe sencillo, anillo de presión, rondana de presión.

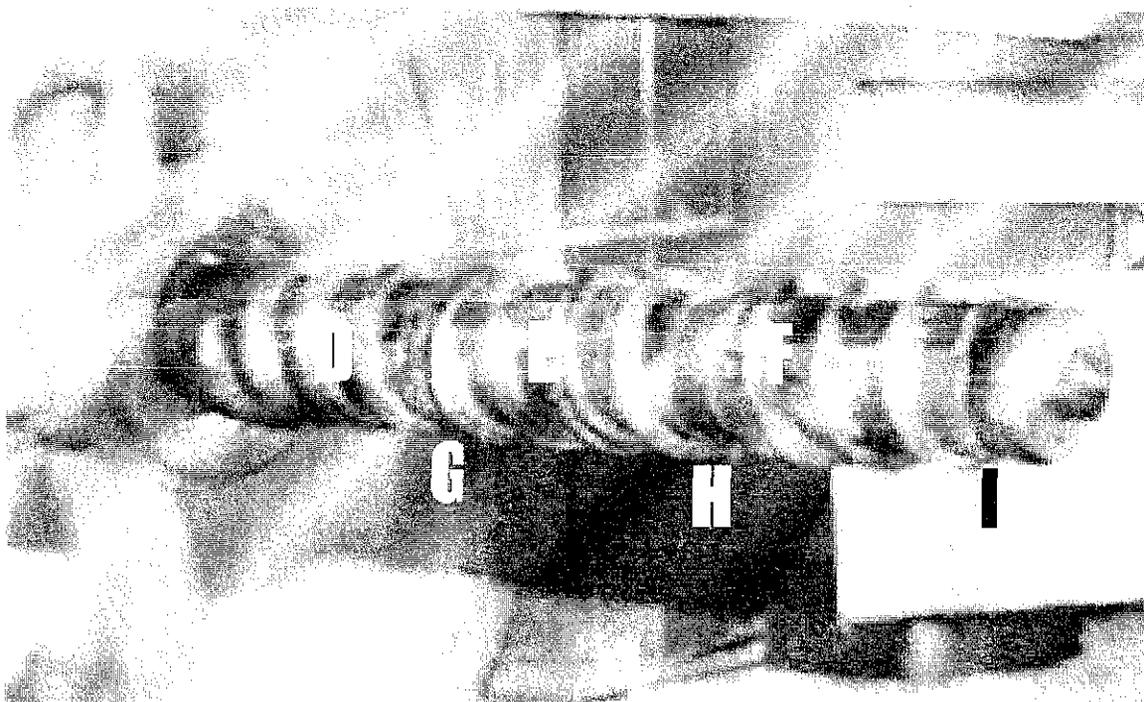


Fig. 3. Flecha: D-F).- Alabes sencillos, G-I).- Anillos de presión.

4.2.2 Elaboración de extruidos

Las materias primas para la elaboración de los extruidos fueron; harina de maíz y vísceras de atún, su contenido nutrimental se observa en la Tabla 1.

Tabla 1. Análisis nutrimental en materias primas para extruidos

Materias Primas	Humedad %	Grasa %	Proteína %	Ceniza %
Vísceras de atún	77.7 ± 0.2	9.7 ± 0.1	70.4 ± 0.2	7.3 ± 0.2
Harina de maíz	11.2 ± 0.1	4.9 ± 0.2	8.3 ± 0.1	1.5 ± 0.1

% base seca

Se llevaron a cabo dos extruidos de prueba a fin de alcanzar el mayor porcentaje de proteína y lograr una mayor optimización del proceso; el primer extruido se hizo con harina de maíz / vísceras de atún en proporción 75/25; el segundo 70/30 con harina del primer extruido / vísceras de atún. Finalmente el porcentaje mínimo requerido de proteína (20%) se logró con un doble extruido 50/50, proporción máxima con buenos resultados de extrusión sugerida por Pelcastre (1996). El primer extruido se llevó a cabo con harina de maíz / vísceras de atún en proporción 50/50, el segundo extruido 50/50 con harina del primer extruido / vísceras de atún. La siguiente fórmula se utilizó para calcular el porcentaje de humedad teórica de la mezcla a extruir, tomada de Airola (1999).

$$HT = \frac{(H1 \cdot P1) + (H2 \cdot P2)}{100}$$

Donde:

HT= Humedad teórica de la mezcla

H1= Humedad del primer componente de la mezcla en %

H2= Humedad del segundo componente de la mezcla en %

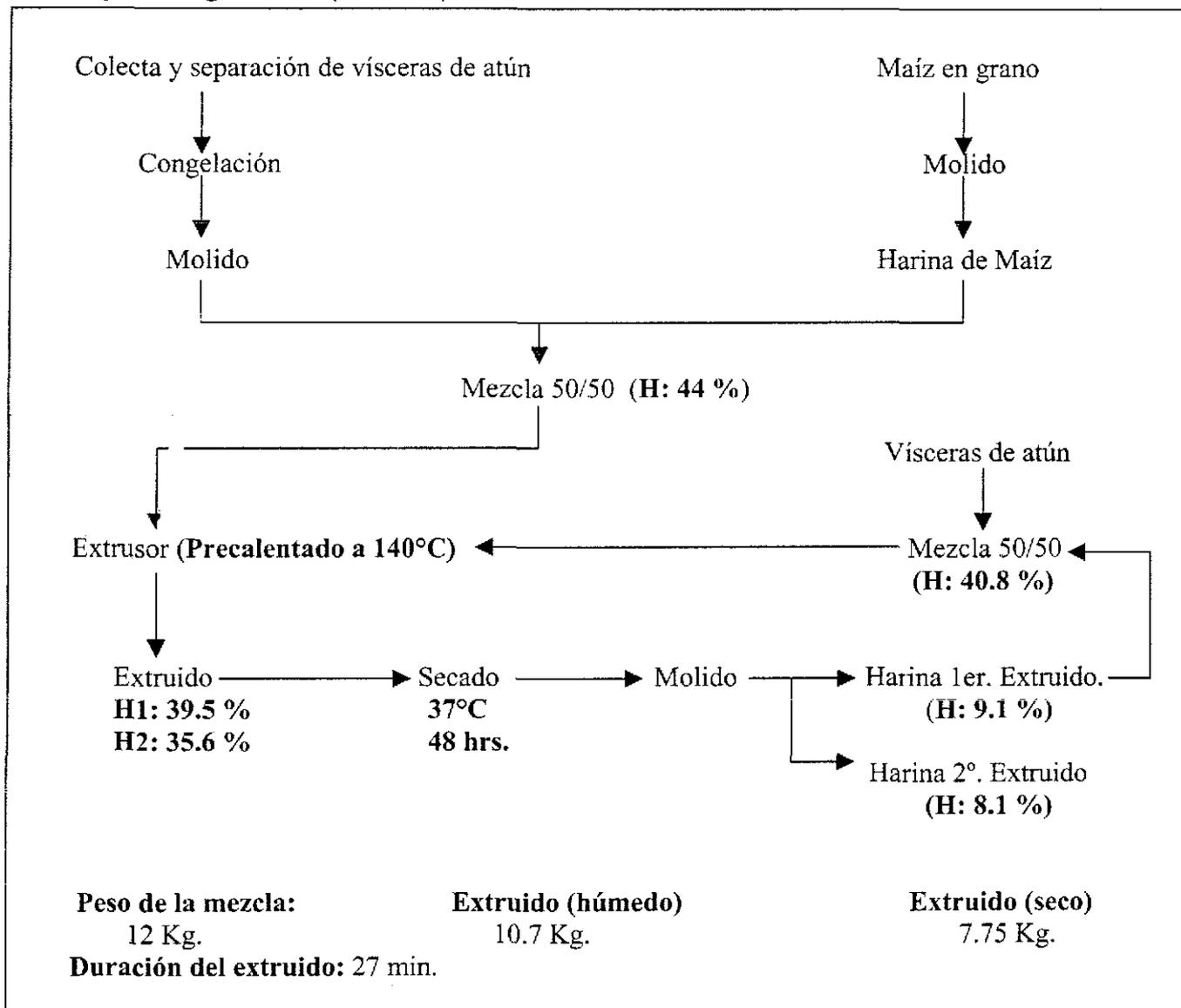
P1= Proporción del primer componente en la mezcla en %

P2= Proporción del segundo componente en la mezcla en %

El peso de las harinas de maíz y de extruidos, así como de vísceras, se realizó en una báscula digital Torrey de 150 Kg de capacidad. La mezcla se hizo en una mezcladora Hobart de 20 Kg de capacidad, por espacio de 7 minutos. El extrusor fue precalentado a 140°C con frijol soya, temperatura a la cual se inició el proceso de extrusión. La velocidad del mezclador (Fig. 1) se ajustó a 40 rpm, para los primeros extruidos de prueba 75/25 y 70/30; y a 100 rpm, en el caso de los segundos extruidos 50/50. Una vez obtenidos los extruidos, se secaron en un secador de convección a 37°C por espacio de 24 horas en el caso de los extruidos de prueba, y por espacio de 48 horas para los extruidos 50/50, debido a que presentaron una mayor cantidad de humedad. Por último, se molieron en un molino de martillos (malla de 1mm) y se almacenaron en bolsas de plástico a una temperatura de -15°C.

La Figura 4, esquematiza el proceso de elaboración de los dobles extruidos 50/50.

Fig. 4. Diagrama de proceso para la elaboración de los dobles extruidos 50/50.



La letra **H** indica la humedad real observada en esa parte del proceso, **H1**: humedad del primer extruido; **H2**: humedad del segundo extruido.

4.2.3 Parámetros registrados

A fin de llevar un mayor control de los parámetros de proceso, se registró la temperatura durante el proceso de extrusión, esta se tomó cada 25 segundos, al igual que el amperaje. La temperatura se tomó del último termistor, es decir, del termistor más alejado del inicio del cañón, que corresponde a la zona de cocción,

en tanto que los valores de amperaje se obtuvieron del tablero de control del extrusor.

4.3 Elaboración de Dietas Experimentales

4.3.1 Fuentes de proteína y nivel de inclusión en dietas

Se elaboraron cinco dietas experimentales (D-Test a D-100) con pasta de soya, harina de pescado y harina del segundo extruido 50/50, como fuentes de proteína. Las cinco dietas se elaboraron con un 35% de proteína (isoproteicas), tres de estas con inclusiones de 20%, 30% y 40% de proteína del segundo extruido 50/50, la dieta D-100 % solo tuvo como fuente de proteína, harina del segundo extruido 50/50 y harina de soya, es decir, la harina de pescado fue reemplazada en un 100 %. La dieta testigo contó únicamente con harina de pescado y harina de soya como fuente proteica (Tabla 2). Todas las dietas fueron isoenergéticas (400 Kcal/100 g; 16.8 KJ/g) y fueron formuladas por el método del tanteo. Este método se basa en un sencillo programa al cual se le indican los ingredientes proteicos a utilizar, su porcentaje de inclusión por dieta y el contenido porcentual de proteínas, lípidos y ELN; así como el porcentaje deseado de proteína y lípidos en las dietas. Con estos datos el programa calcula la cantidad en gramos de las materias primas para cada dieta y la cantidad de Kcal.

Tabla 2. Fuentes de proteína y porcentaje de inclusión por dieta

Fuente de proteína:	Porcentaje de inclusión por dieta				
	D-Test	D-20	D-30	D-40	D-100
Harina de pescado	75	55	45	35	0
Harina del 2º.extruido	0	20	30	40	25
Pasta de soya	25	25	25	25	75

Porcentajes referidos a 35% de proteína; 100=35%.

4.3.2 Materias primas y análisis proximal en dietas experimentales

La Tabla 3, muestra el análisis proximal de las harinas usadas en la elaboración de dietas, con base a estos análisis se formularon las cinco dietas que fueron sometidas a evaluación.

Tabla 3. Análisis proximal de materias primas para elaboración de dietas.

	Humedad(%)	Grasa(%)	Cenizas(%)	Fibras (%)	Proteínas(%)	ELN (%)
Harina Pescado	7.30 ± 0.1	5.3 ± 0.1	15.3 ± 0.4	0.75 ± 0.1	65.2 ± 0.2	1.1 ± 0.3
H.2º. Extruido	8.10 ± 0.1	4.3 ± 0.2	4.2 ± 0.1	2.0 ± 0.2	29.1 ± 0.0	52.3 ± 0.2
Pasta de Soya	11.2 ± 0.6	0.6 ± 0.1	6.2 ± 0.0	8.0 ± 0.1	44.0 ± 0.2	30.0 ± 0.1

Primer extruido 50/50 (harina de maíz / vísceras de atún), segundo extruido 50/50 (harina del primer extruido / vísceras de atún). Harina de soya fue extraída con solventes. Los resultados son en base seca.

La Tabla 4, muestra la composición porcentual de los ingredientes en cada dieta, así como su contenido proximal y de energía. Para el cálculo de la energía, Kcal/100 gr., se emplearon los factores 4.10, 9.45 y 5.56 para carbohidratos, lípidos y proteínas, respectivamente (Tacon, 1989).

Se observa que la dieta D-40, presentó la mayor cantidad de harina del segundo extruido 50/50, y una menor cantidad de harina de pescado, en comparación con las dietas D-20 y D-30. La dieta D-100 presenta una considerable cantidad de pasta de soya, la que fue necesario incluir a fin de reemplazar al 100% la harina de pescado.

Tabla 4.- Composición porcentual de ingredientes en dietas.

	Dietas				
	D-Test	D-20	D-30	D-40	D-100
Ingredientes (%):					
H. Pescado	41.00	30.00	24.60	19.14	0
H.2° Extruido 50/50	0	24.00	36.00	48.12	12.00
Pasta de soya	19.90	19.90	19.90	19.90	71.70
Aceite de pescado	1.33	0.92	0.74	0.52	3.98
Aceite de soya	3.38	3.43	3.48	3.48	4.07
Almidón	27.20	14.40	7.96	1.63	1.04
Premix mineral	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
Premix vitaminas	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Vitamina C	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Oxido de cromo	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Alginato	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Contenido Proximal (%)					
Proteínas	35.63 ± 0.2	34.72 ± 0.3	35.20 ± 0.1	34.55 ± 0.1	35.10 ± 0.2
Fibras	1.37 ± 0.1	1.81 ± 0.1	2.0 ± 0.0	2.11 ± 0.1	4.76 ± 0.0
Cenizas	9.13 ± 0.1	8.87 ± 0.1	9.44 ± 0.1	8.80 ± 0.1	8.30 ± 0.1
Grasas	4.25 ± 0.0	4.42 ± 0.1	4.88 ± 0.1	4.15 ± 0.0	4.40 ± 0.0
Humedad	5.53 ± 0.1	5.86 ± 0.1	5.71 ± 0.1	7.73 ± 0.2	5.34 ± 0.1
ELN	44.10 ± 0.3	44.32 ± 0.3	42.75 ± 0.2	42.66 ± 0.1	42.10 ± 0.2
Oxido de Cr.	0.72 ± 0.1	0.77 ± 0.2	0.61 ± 0.1	0.49 ± 0.1	0.74 ± 0.1
Energía	16.80	16.80	16.80	16.80	16.80

Valores en % base seca; Energía en KJ/g; 1 cal= 4.186 J.

4.3.3 Elaboración de dietas

La harina de pescado, harina del segundo extruido y la harina de pasta de soya fueron tamizadas en un tamiz del No. 40 (0.380 mm) a fin de homogenizar el tamaño de grano. Se mezclaron primero los materiales secos y al final los aceites. Se usó una batidora casera adicionando un 30% de agua a la mezcla, a fin de lograr la consistencia adecuada.

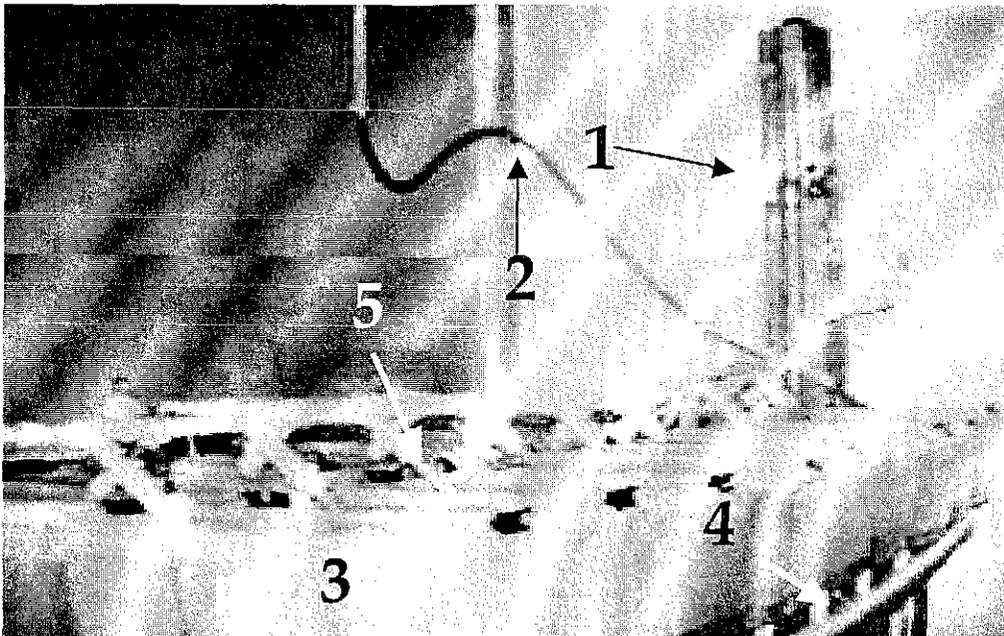
El peletizado de las dietas se llevó a cabo en un molino para carne marca Torrey, placa de 3/32 pulgadas. Los peletizados se pusieron en bastidores y se secaron por espacio de 24 horas a 35°C, Una vez que se enfriaron se guardaron en bolsas de plástico dentro de un congelador a -15°C, hasta su uso.

4.4 Sistema Experimental y Calidad del Agua

4.4.1 Sistema experimental

El sistema experimental consistió en un sistema de recirculación, con filtro biológico (Figura 5), se usaron tanques de plástico de 60 litros con limpieza automática, y un flujo de 1.7 l/min. Se monitoreo diariamente el oxígeno disuelto (técnica Winkler) y la temperatura (termómetro manual). El pH (potenciómetro), amonio y nitritos (Apha *et al.*, 1963) se registraron semanalmente. Se manejó un fotoperiodo natural que correspondió a la estación de primavera, meses de mayo y junio (13 horas luz, 11 horas oscuridad). La temperatura del agua se mantuvo regulada mediante calentadores ambientales de resistencia variable de 500 Watts.

Fig. 5. Sistema de recirculación con filtro biológico



Partes del sistema: 1.- Filtro biológico., 2.- Oxigenación., 3.- Tanques., 4. Drenaje
5.- Suministro de agua.

4.4.2 Alevines

Los alevines de *O. niloticus* fueron obtenidos del criadero del CINVESTAV-Merida Yucatán; se aclimataron por espacio de dos semanas en el sistema experimental y se alimentaron con la dieta *testigo*. Al término de estas dos semanas fueron distribuidos aleatoriamente a razón de 15 organismos (peso promedio de 65 mg \pm 5.6 mg) por tanque, con tres réplicas para cada uno de los cinco tratamientos (dietas), las cuales también fueron asignadas aleatoriamente a cada tanque. El alimento se proporcionó a saciedad con una frecuencia que vario de 9 veces/día en las primeras 3 semanas, a 4 veces/día en las últimas 4 semanas. Se determinó diariamente el consumo de alimento (en seco) a través de la diferencia entre el alimento suministrado ad libitum, y el alimento remanente, después de ofertar la última ración de dieta. Al inicio y al término del bioensayo una parte de los organismos fueron sacrificados para los análisis bromatológicos respectivos.

4.5 Parámetros de Evaluación Biológica

El peso promedio de los organismos se registró al inicio, y posteriormente de manera semanal. Para tomar su peso promedio, fueron contados y retirados de cada tanque con una red para acuario, a la cual se le quitó el exceso de humedad hasta lo posible por medio de papel absorbente, posteriormente se pesaron en un recipiente con agua previamente tarado. La mortalidad de los organismos también fue registrada.

Con los valores recabados se obtuvieron los siguientes datos:

- Ganancia en peso-----(**GP**)
- Ganancia Individual Diaria en Peso-----(**GIDP**)
- Tasa de Crecimiento Específico -----(**TCE**)
- Consumo Individual de Alimento -----(**CIA**)
- Factor de Conversión Alimenticia -----(**FCA**)
- Factor de Eficiencia Proteínica-----(**FEP**)
- Contenido de Nitrógeno en el Cuerpo-----(**CNC**)
- Utilización Neta de Proteína-----(**UNP**)

Donde:

$$\text{-GP (\%)} = 100 * (\text{peso individual final} - \text{peso individual inicial}) / (\text{peso individual inicial})$$

$$\text{-GIDP (mg/día)} = (\Sigma \text{ ganancia en peso individual (mg) por semana}) / \text{tiempo (días)}$$

$$\text{-TCE (\%/día)} = (\ln \text{ peso final} - \ln \text{ peso inicial}) * 100 / \text{tiempo (días)}$$

$$\text{-CIA (mg/día)} = (\text{consumo individual por semana}) / \text{tiempo (días)}$$

$$\text{-FCA} = \text{CIA, peso seco} / \text{GIDP, peso seco}$$

$$\text{-FEP} = (\text{GIDP}) / (\text{consumo de proteína (mg) individual} / \text{tiempo (días)})$$

$$\text{-CNC (mg/día)} = ((\text{peso corporal final} \times \% \text{ de proteína corporal final}) - (\text{peso corporal inicial} \times \% \text{ de proteína corporal inicial})) / 100 / \text{tiempo (días)} / 6.25.$$

$$\text{-UNP (\%)} = 100 (\text{mg proteína retenida en tejido} / \text{mg proteína dietética consumida})$$

4.6 Análisis Químicos

4.6.1 Análisis bromatológicos

Los análisis bromatológicos en heces, dietas y cuerpo de los peces, se realizaron por medio de técnicas estándar (AOAC, 1984), con los métodos presentados en la Tabla 5: La proteína (N X 6.25) por el método de evaluación por conductividad eléctrica del nitrógeno utilizando al helio como acarreador, en un auto analizador de proteínas Leco FP-528. En el caso de las harinas el nitrógeno proteico (proteína cruda N X 6.25) se analizó por medio del método de Kjeldahl, mediante digestión con ácido sulfúrico, en un autoanalizador Kjeltac Tecator 1030, la fibra cruda mediante digestión ácida y básica, en un sistema Fibertec M (Tecator 1020 y 1021), los lípidos, por extracción con éter de petróleo con un equipo Soxhlet; las cenizas, mediante calcinación con mufla a 550°C por 12 horas, la humedad, por diferencia de peso (húmedo-seco) con un horno eléctrico a 105°C por espacio de 12 horas, y el extracto libre de nitrógeno (ELN) por la suma de las anteriores determinaciones en por ciento (peso seco), restadas de 100; es decir $ELN = 100 - (\% \text{ humedad} + \% \text{ proteína} + \% \text{ lípidos} + \% \text{ cenizas} + \% \text{ fibras})$.

Tabla 5. Análisis y método empleado en las determinaciones bromatológicas.

Análisis	Método
Humedad	Gravimétrico
Cenizas	Gravimétrico-Calcinación a 550°C
Proteína Cruda	Micro Kjeldahl, y Conduct. Eléct.
Extracto Etéreo	Micro Soxhlet
Fibra Cruda	Digestión ácido-básica
E.L.N	Por suma y diferencia

E.L.N= Extracto libre de nitrógeno

4.6.2 Análisis de aminoácidos en dietas

La determinación de aminoácidos se realizó en un autoanalizador de aminoácidos marca Technicom, modelo NC-2P, mediante hidrólisis química de la proteína con ácido clorhídrico 6N, acorde a la técnica propuesta por Lucas B. y Sotelo A. (1982). El triptófano se analizó por medio del método de hidrólisis alcalina (Lucas B. y Sotelo A., 1980). Solo se analizaron las dietas D-Test y la D-40, dado que esta última presentó el máximo nivel de inclusión de harina del segundo extruido 50/50 sin presentar diferencias significativas ($P > 0.05$) con la D-Test.

4.6.3 Análisis de digestibilidad

La digestibilidad proteica, de lípidos y de materia seca de los organismos, se midió con óxido de cromo como marcador, a una concentración de 0.5 % en cada una de las dietas (Olvera N., *et al.* 1997). El contenido de óxido de cromo, en dietas y heces (apéndice 10), se determinó por digestión ácida con ácido nítrico y ácido perclórico, acorde al método descrito por Furukawa y Tsukahara, (1966). Las heces fueron colectadas por sifoneo diario en cada unos de los quince estanques, después del último periodo de alimentación, y fueron secadas a 105°C por 24 horas, para su posterior análisis. Hay que considerar que este método tiene la desventaja de que se pueden presentar pérdidas importantes de nutrientes en heces, cuando estas no son colectadas adecuadamente.

La siguiente fórmula se empleó para calcular el porcentaje de digestibilidad:

$$\text{Digestibilidad (\%)} = 100 - \left(\frac{\text{Nutrimento en alimento (proteína, lípidos)}}{\text{Nutrimento en heces}} \times \left(\frac{\text{marcador en heces}}{\text{marcador en alimento}} \right) \times 100 \right)$$

4.7 Análisis Estadístico

Los resultados de crecimiento, digestibilidad, así como de utilización proteica en las dietas, fueron comparados mediante análisis ANOVA de una vía, y las diferencias entre las dietas fueron analizadas mediante análisis de Tukey, $P=0.05$, usando el programa estadístico "Statistica" 5.1, versión 1998..

5. RESULTADOS

5.1 Primeros Extruidos de Prueba 75/25, 70/30

El porcentaje de proteína alcanzado en el segundo extruido de prueba 70/30; harina del primer extruido / vísceras de atún (Tabla 6), aunque se incrementó de manera importante (35.5 %), con relación al primer extruido, no cubrió las expectativas requeridas para emplearse como sustituto de la harina de pescado. La mayoría de sustitutos proteínicos, contienen más de 20% de proteína cruda, por lo que son considerados suplementos proteínicos, y con menos de 20%, se consideran suplementos energéticos, (Hardy, 1989, Tucker y Robinson, 1990, Li y Robinson, 1994).

Tabla 6. Contenido de proteínas, lípidos y fibras en los extruidos de prueba.

	Proteína (%)	Lípidos (%)	Fibra (%)
Primer Extruido	13.79 ± 0.1	2.17 ± 0.2	2.25 ± 0.0
Segundo Extruido	18.78 ± 0.1	2.30 ± 0.1	2.54 ± 0.1

Primer extruido 75/25 harina de maíz / vísceras de atún, segundo extruido 70/30 harina del primer extruido / vísceras de atún. Valores en base seca.

La humedad práctica de la mezcla, antes de la extrusión, en el primer y segundo extruidos, fue muy semejante, tal como se esperaba, a la humedad teórica. El porcentaje de humedad que se perdió por efecto de extrusión, es decir, la diferencia de humedad de la mezcla antes de ser extruida y después de la extrusión fue de alrededor de 10% en ambos extruidos. Si se compara la humedad de la mezcla, antes de ser extruida, con la humedad del extruido ya seco, la diferencia es de aproximadamente 20% (Tabla 7). Esta pérdida es el agua evaporada, durante el proceso.

Tabla 7. Porcentajes de humedad en mezclas y extruidos de prueba.

Humedad	Mezcla (sin extruir)		Extruido	Pérdida	Harina de
	Teórica	Práctica	Práctica	por extrusión	extruido seco
1er Ext.	27.57	27.82 ± 0.2	17.24 ± 0.4	10.58 ± 0.3	8.35 ± 0.2
2° Ext.	28.43	28.68 ± 0.3	18.86 ± 0.1	9.82 ± 0.2	7.45 ± 0.2

Primer extruido 75/25 harina de maíz / vísceras de atún, segundo extruido 70/30 harina del primer extruido / vísceras de atún.

El porcentaje de peso perdido o merma por secado, es decir, la diferencia entre los kilogramos de mezcla inicial, antes de ser extruida, y los kilogramos obtenidos en el extruido una vez que fue secado por espacio de 48 horas a 37°C, se muestra en la Tabla 8. Se observó un ligero incremento en el porcentaje de pérdida en peso, en el segundo extruido, debido a una mayor cantidad de vísceras incluidas en la mezcla, esta pérdida se debió al agua evaporada.

Tabla. 8 Porcentaje de peso perdido, o merma, por secado

	Peso mezcla inicial (Kg)	Peso final extruido seco (Kg)	% Peso perdido
1er Ext.	12.50	10.06	19.52
2° Ext.	20.00	15.80	21.00

Mezcla inicial sin extruir.

5.2 Segundos Extruidos 50/50

Los segundos extruidos permitieron obtener un porcentaje de proteína de 29 %, nivel que resultó adecuado para hacer una sustitución de hasta 40% de la harina de pescado, (Tabla 9); esto representó 54 % más de proteína que lo primeros extruidos de prueba.

Tabla 9. Análisis de proteínas, lípidos y fibras en los segundos extruidos

	Proteínas (%)	Lípidos (%)	Fibras (%)
Primer extruido	21.86 ± 0.2	3.52 ± 0.1	2.54 ± 0.0
Segundo extruido	29.10 ± 0.1	4.31 ± 0.3	2.07 ± 0.1

Primer extruido 50/50 harina de maíz / vísceras de atún, segundo extruido 50/50 harina del primer extruido / vísceras de atún. Valores en base seca.

La humedad de la mezcla 50/50, antes de ser extruida, se elevó considerablemente, 42% en promedio, en comparación con los primeros extruidos de prueba,

(Tabla 10). El porcentaje de humedad que se perdió por efecto de la extrusión fue en promedio de 5% en ambos extruidos, la mitad de humedad, si se compara con los anteriores extruidos. Si se toma en cuenta el decremento total de humedad, por extrusión y secado, se observa una mayor pérdida o merma (34%) en los extruidos 50/50, en comparación con los primeros extruidos de prueba, debido a una mayor cantidad de vísceras incluidas en la mezcla.

Tabla 10. Porcentaje de humedad en mezclas y extruidos

	H. mezcla (sin extruir)		H. extruido	H. perdida	Harina de
	Teórica	Práctica	Práctica	Por extrusión	extruido seco
1er Ext.	44.45	44.02 ± 0.5	39.56 ± 0.3	4.46 ± 0.2	9.10 ± 0.3
2º Ext.	42.44	40.81 ± 0.4	35.63 ± 0.3	5.18 ± 0.3	8.10 ± 0.3

Primer extruido 50/50 harina de maíz / vísceras de atún, segundo extruido 50/50 harina del primer extruido / vísceras de atún.

El porcentaje de peso perdido por secado fue muy similar en ambos extruidos, alrededor de 35 %, esto representa alrededor de un 15 % más de pérdida en peso, con relación a los primeros extruidos de prueba, esta pérdida fue también debida al agua evaporada (Tabla 11).

Tabla 11. Porcentaje de peso perdido, o merma, por secado.

	Peso mezcla inicial (Kg)	Peso final extruido seco (Kg)	% Peso perdido
1er Ext.	10	6.5	34.92
2º Ext.	12	7.75	35.41

Mezcla inicial sin extruir.

Los problemas técnicos que se presentaron por trabajar con altas humedades se presentaron en el mezclador del extrusor (Figura 1), ya que la mezcla se tornó pastosa y pegajosa, lo que provocó adherencia de la mezcla a las paredes, esto se resolvió despegando la mezcla de las paredes e incrementando la velocidad del servidor de 60 rpm a 100 rpm, con el fin de apresurar su salida hacia el extrusor.

5.2.1 Parámetros del proceso de extrusión

El amperaje y la temperatura se mantuvieron muy estables (Figura 6) durante la elaboración de los extruidos; esto se debió a la alta humedad de la mezcla, lo que provocó un bajo nivel de fricción de la mezcla con las paredes del extrusor, es decir, un menor esfuerzo mecánico y menor demanda de energía eléctrica. Un mayor nivel de fricción hubiera generado un incremento constante de la temperatura, y por tanto, un mayor esfuerzo mecánico y mayor demanda de electricidad.

La temperatura descendió rápidamente durante los primeros dos minutos de proceso, ya que bajó de 144°C a 99°C, 45°C de decremento, esto se explica debido a la baja temperatura de la mezcla dado que las vísceras se encontraban a 5°C, pues no se encontraban totalmente descongeladas. En general, se puede decir que la temperatura promedio a la que se llevó a cabo la doble extrusión 50/50, fue de 99°C. El tiempo de proceso fue de 27 minutos, más del doble con relación a los primeros extruidos de prueba, esto, debido a los problemas técnicos ya mencionados.

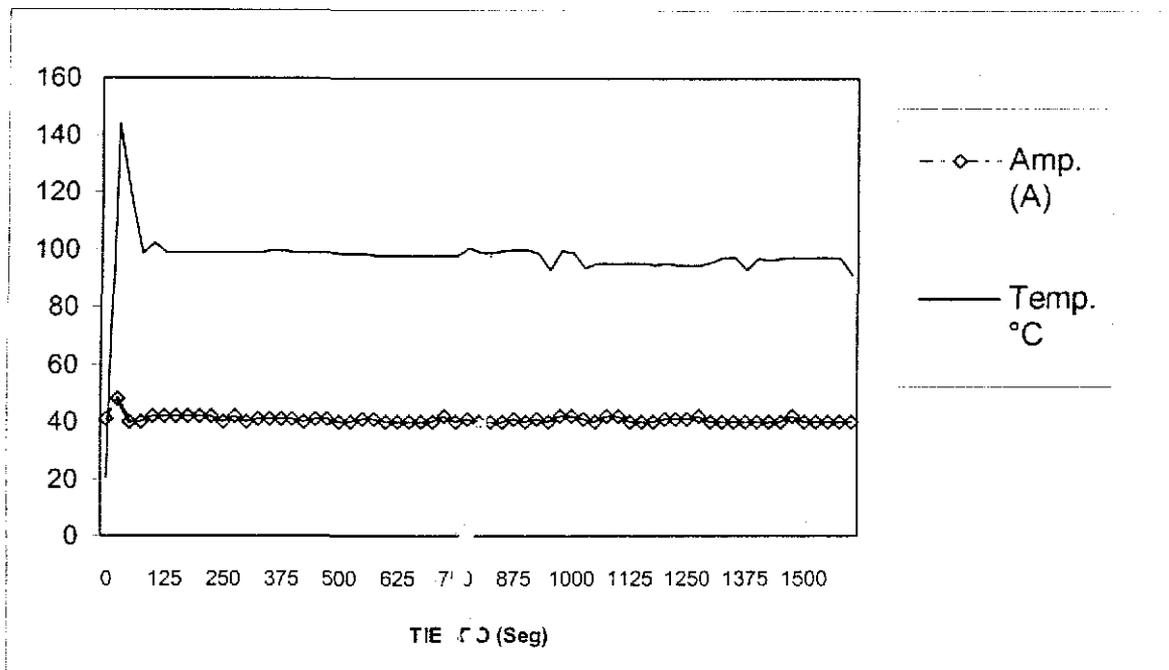


Fig. 6. Comportamiento de parámetros en el proceso de extrusión. Tiempo total: 27 min.

Los extruidos tuvieron una consistencia esponjosa, olor agradable a pescado, y un color café claro.

5.3 Análisis de Aminoácidos

La Tabla 12 muestra los resultados de los aminoácidos esenciales en las dietas D-Test y la dieta D-40. Los aminoácidos que resultaron estar por debajo de los valores de referencia, fueron la lisina en ambas dietas, (Tacon, 1989; Lovell, 1989), y el triptófano, también en ambas dietas, (Novell, 1989). De estos dos aminoácidos, la lisina es la que tuvo valores menores, 35 % en promedio, de los valores de referencia, ya que el triptófano resultó estar 6 y 20% por debajo, en las dietas D-Test y D-40 respectivamente, del valor citado por Lovell (1989).

Tabla 12. Evaluación de aminoácidos en la dieta D-Test y dieta D-40.

Aminoácidos	Dietas		Valores de referencia	
	D-Test	D-40	* Tacon, 1980	Lovell, 1989
	gr /100 gr de muestra			
Isoleucina	1.04 ± 0.43	1.50 ± 0.46	0.98	1.10
Leucina	2.42 ± 0.52	2.90 ± 0.12	1.79	1.19
Lisina	1.36 ± 0.04	1.24 ± 0.44	2.07	1.78
Azufrados (cis-met)	1.42 ± 0.40	1.53 ± 0.49	0.91	1.12
Aromáticos (fen-tiro)	2.63 ± 0.10	2.73 ± 0.23	1.83	2.0
Treonina	1.68 ± 0.12	1.93 ± 0.45	1.13	1.26
Triptófano	0.33 ± 0.04	0.28 ± 0.01	0.21	0.35
Valina	1.02 ± 0.13	1.90 ± 0.04	1.16	0.98
Histidina	1.00 ± 0.18	0.87 ± 0.45	0.64	0.60
Arginina	1.95 ± 0.21	2.32 ± 0.20	1.51	1.47

* Valores basados en el patrón promedio de AAE del tejido del cuerpo de todo el pez

5.4 Resultados de Calidad del Agua

Los parámetros de calidad del agua que fueron evaluados durante el desarrollo del bioensayo, se muestran en la Tabla 13. Todos los parámetros estuvieron dentro de los límites aceptables para la vida acuática (Mills D., 1991) y en particular para Tilapia Nilótica (Morales A., 1991).

Tabla 13. Valores promedio de parámetros del agua durante el bioensayo.

Parámetro	Valor promedio
Oxígeno disuelto mg/l	5.8 ± 0.35
Temperatura °C	27.75 ± 0.65
PH	8.5 ± 0.1
Amonio total mg/l	0.05 ± 0.001
Nitritos mg/l	0.005 ± 0.001

5.5 Resultados de la Evaluación Biológica

Los datos de crecimiento y consumo de alimento se muestran en la Tabla No.14. Entre los cinco tratamientos no se presentaron diferencias significativas en la supervivencia ($P > 0.05$).

Tabla 14. Datos de crecimiento y consumo de alimento.

	DIETAS					
	D-Test	D - 20	D - 30	D - 40	D - 100	D.S
SV(%)	86.67 ^a	88.89 ^a	93.33 ^a	97.78 ^a	97.78 ^a	0.96
PI (mg)	62 ^a ± 3	63 ^a ± 3	65 ^a ± 8	64 ^a ± 4	73 ^a ± 4	5.61
PF (mg)	480 ^b	1095 ^a	1076 ^a	575 ^b	298 ^b	359.76
GP (%)	674.19 ^b	1638.10 ^a	1555.38 ^a	798.44 ^b	308.22 ^b	573.71
GIDP(mg/día)	9.18 ^b	21.06 ^a	20.64 ^a	10.57 ^b	4.60 ^b	7.26
TCE (%/día)	4.18 ^b	5.83 ^a	5.73 ^a	4.48 ^b	2.87 ^c	1.16
CIA (mg/día)	7.37 ^b	16.15 ^a	17.75 ^a	9.84 ^b	8.20 ^b	4.82
FCA	1.10 ^b	0.94 ^b	1.13 ^b	1.20 ^b	2.30 ^a	0.57
FEP	3.58 ^a	3.73 ^a	3.30 ^a	3.10 ^a	1.61 ^b	0.82
UNP (%)	38.24 ^{ab}	44.12 ^a	39.53 ^{ab}	36.00 ^b	19.67 ^c	8.96

Valores en el mismo renglón con la misma letra no son significativamente diferentes., SV= Supervivencia, PI= Peso Inicial, PF= Peso Final, GP= Ganancia en Peso, GIDP= Ganancia Individual Diaria en Peso, TCE= Tasa de Crecimiento Específico, CIA= Consumo Individual de Alimento, FCA= Factor de Conversión Alimenticia, FEP= Factor de Eficiencia Proteica, UNP= Utilización Neta de Proteína, D.S= Desviación Standard.

Los resultados de peso final (PF), ganancia en peso(GP) y ganancia individual diaria en peso(GIDP), fueron significativamente más altos en las dietas D-20 y D-30 ($P > 0.05$), mientras que las dietas D-Test, D-40 y D-100 no mostraron diferencia significativa entre ellas con respecto a estos tres parámetros. En el factor de conversión alimenticia (FCA), no se observaron diferencias significativas, excepto para la dieta D-100, que tuvo el valor más alto, 2.30, el doble en promedio, que las demás dietas., debido probablemente a la calidad más baja de este alimento. La tasa de crecimiento específico (TCE) fue significativamente más alta entre las dietas D-20 y D-30 respecto de las dietas D-Test y D-40, en tanto que la dieta D-100, presentó el valor significativamente más bajo ($P > 0.05$). El factor de eficiencia proteica (FEP), fue significativamente más baja solo en la dieta D-100. Por ultimo, en la utilización neta de proteína (UNP), la dieta D-100 fue significativamente menor que las demás dietas, mientras que las dietas D-20, D-30 y D-Test, fueron las más altas sin diferencia significativa entre ellas ($P > 0.05$), quedando la D-40 con un valor intermedio significativamente diferente a los dos grupos anteriores ($P > 0.05$).

En la Figura 7, se pueden observar los resultados en peso promedio alcanzado por los alevines, alimentados con las diferentes dietas, a lo largo de las siete semanas de bioensayo.

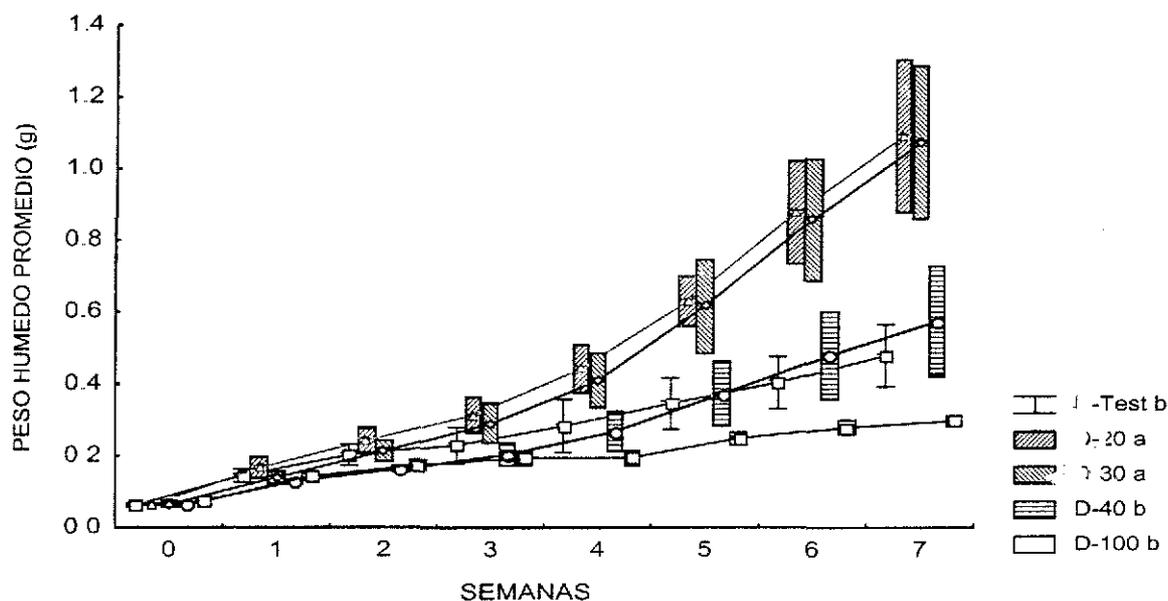


Fig. 7 Peso húmedo promedio y desviación estándar de alevines de *Tilapia Nilotica*, alimentados con las cinco dietas experimentales a lo largo de las 7 semanas de bioensayo. Las dietas con la misma letra no son significativamente diferentes.

5.6 Análisis de Digestibilidad

En la Tabla 15 se muestran los valores de digestibilidad para cada una de las dietas evaluadas. Se observa que la digestibilidad proteica en todas las dietas tuvo un valor muy cercano a 90 %, o incluso ligeramente mayor. La dieta D-40 presento un valor significativamente mayor que la D-20 ($P > 0.05$); en las demás dietas no se observaron diferencias significativas ($P > 0.05$).

En relación, a la digestibilidad en lípidos, no se observaron diferencias significativas entre las cinco dietas estudiadas ($P > 0.05$).

Los valores de digestibilidad de materia seca fueron muy cercanos a 75 % en las dietas D-Test y D-40, y a 70% en las dietas D-20 y D-30, sin encontrar diferencias significativas entre ellas ($P > 0.05$). El valor más bajo se observó en la D-100 (61%), si bien, no se observó diferencia significativa con las dietas D-20 y D-30, pero si con la D-Test ($P > 0.05$).

Tabla 15. Valores de digestibilidad

Digestibilidad (%)	D-Test	D-20	D-30	D-40	D-100
Proteína	93.11 ^{ab}	89.83 ^b	90.36 ^{ab}	93.58 ^a	90.38 ^{ab}
Lípidos	94.40 ^a	87.08 ^a	81.81 ^a	87.49 ^a	95.81 ^a
Materia Seca	76.68 ^a	68.67 ^{ab}	68.68 ^{ab}	74.27 ^a	61.28 ^b

Valores en el mismo renglón con la misma letra no son significativamente diferentes

5.7 Análisis del Cuerpo

El contenido proteínico en el cuerpo de los peces (Tabla 16), no fue significativamente diferente entre los tratamientos ($P > 0.05$) y estuvo por arriba del contenido proteico inicial, el de grasas fue significativamente más alto, al igual que el valor inicial, entre los peces alimentados con las dietas D-20, D-30 y D-40, respecto de las dietas D-Test y D-100 ($P > 0.05$). El contenido de cenizas fue significativamente menor en los peces alimentados con la dieta D-100 ($P > 0.05$), valor muy cercano al inicial, y por debajo del valor encontrado en la D-Test de 3.6%. Las peces que presentaron las más altas humedades, muy cercanas a la humedad inicial, fueron los alimentados con las dietas D-Test y D-100, sin diferencia significativa entre ellos ($P > 0.05$), seguidos por la dieta D-40 que no fue significativamente diferente al de la dieta D-Test ($P > 0.05$), los valores más bajos se encontraron entre las dietas D-20, D-30 y D-40, las cuales no fueron significativamente diferentes entre si ($P > 0.05$).

Al comparar los valores de humedad y grasas, se observó una clara relación; a mayor contenido de humedad se observó un menor contenido de grasas en el cuerpo de los peces.

Tabla 16. Composición proximal del cuerpo de las tilapias al inicio y final del bioensayo con las cinco dietas experimentales.

Parámetro	Inicial	D-Test	D-20	D-30	D-40	D-100	D.S
Humedad	78.36 ± 1.1	78.16 ^{ab}	75.34 ^c	76.0 ^c	76.33 ^{bc}	79.67 ^a	1.75
Proteína	12.95 ± 0.6	14.12 ^a	14.18 ^a	14.48 ^a	14.38 ^a	14.00 ^a	0.36
Grasas	4.80 ± 0.3	2.49 ^b	5.58 ^a	5.18 ^a	4.57 ^a	1.83 ^b	1.60
Cenizas	2.88 ± 0.2	3.56 ^a	3.29 ^b	3.12 ^b	3.34 ^{ab}	2.82 ^c	0.27

Valores en el mismo renglón con la misma letra no son significativamente diferentes ($P > 0.05$).
% en base seca.

6. ANALISIS DE COSTOS

6.1 Evaluación Económica del Primer y Segundo Extruidos 50/50

En la Tabla 17, se describen los costos de energía eléctrica por equipo para producir una tonelada de cada extruido. Para el cálculo de la energía eléctrica se determinó el tiempo de trabajo de cada equipo considerando su potencia. El costo para el segundo extruido resultó tígeramente más bajo que el primero, debido a que no se hizo necesario el molino de martillos en la molienda de maíz.

Tabla 17. Costo de energía eléctrica para la elaboración de los extruidos 50/50.

Producto	Equipo	Potencia del Equipo		Horas de trabajo/ton.	\$/Kwh	\$/ton	Total \$/ton
		H.P.*	Kw				
1er Extruido	Molino de martillos	3	2.238	7.14	0.3157	5.04	666.35
	Molino p/carne	0.75	0.56	14.28	0.3157	2.52	
	Mezcladora	1.5	1.12	4.44	0.3157	1.56	
	Tolva	1	0.746	32.19	0.3157	7.58	
	Extrusor	50	37.3	32.19	0.3157	379.05	
	Secador	0.67	0.5	1714.3	0.3157	270.6	
2°. Extruido	Molino p/carne	0.75	0.56	14.28	0.3157	2.52	661.31
	Mezcladora	1.5	1.12	4.44	0.3157	1.56	
	Tolva	1	0.746	32.19	0.3157	7.58	
	Extrusor	50	37.3	32.19	0.3157	379.05	
	Secador	0.67	0.5	1714.3	0.3157	270.6	

Nota: El precio del KWH es de 0.3157 para abril de 1999 con la tarifa HM. Los costos están dados en pesos m/n. * 1H.P = 0.746 Kw.

En la siguiente (Tabla 18), se muestra el costo de los dos extruidos 50/50. En el cálculo de la mano de obra y combustible, se estimó el número de trabajadores, y la distancia recorrida para obtener los insumos. Se observa una reducción de casi 50% en el segundo extruido, debido a que no se incluyó harina de maíz, sino más vísceras de atún, con lo cual se obtuvo un ahorro de cuatro veces el valor de las mismas.

Para la mano de obra se consideraron 3 trabajadores con un sueldo diario de \$40.00 pesos (para dos de ellos) y de \$80.00 (para el técnico del extrusor). A las vísceras de atún se les asignó un precio de \$0.50 pesos por kg. La gasolina se estimó para un a distancia entre la procesadora, Pescados Industrializados S.A., y el lugar donde se localizó el extrusor de entre 30 a 35 km de distancia.

Tabla 18. Costo por tonelada del primer y segundo extruidos

Concepto	1er. Extruido	2o. Extruido
Mano de obra	320	320
Combustible	100	100
Energía eléctrica	666.35	661.31
Maíz molido	2000	-----
Soya enteras	35	35
Vísceras molidas	500	500
Secado	270.6	270.6
Molienda final	5.04	5.04
\$/tonelada	3896.99	1891.95
\$/kg	3.89699	1.89195
Costo total (1er extruido + 2o. extruido):		
\$/tonelada	5788.94	
\$/kg	5.79	

6.2 Costo Especifico por Dieta

En la Tabla 19, se muestra el costo específico de las dietas. El costo se calculó sumando el costo de los ingredientes de acuerdo a su inclusión. El precio de los ingredientes corresponde al mes de abril de 1999, con una tasa de cambio dólar – peso de \$9.40 pesos por dólar. En el apéndice 9, se muestran los precios de los ingredientes y las empresas comercializadoras.

Tabla 19. Costo específico por Kg de dietas experimentales.

Ingredientes	Dietas				
	D-Test	D-20	D-30	D-40	D-100
H. de pescado	1.64	1.2	0.98	0.77	-----
H. 2o. Extruido	-----	1.39	2.09	2.8	0.7
Pasta de soya	0.7	0.7	0.7	0.7	2.51
Aceite de pescado	0.04	0.03	0.02	0.02	0.12
Aceite de soya	0.17	0.17	0.17	0.17	0.2
Almidón	6.06	3.26	1.85	0.47	0.37
Premix mineral	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
Premix vitaminas	4.79	4.79	4.79	4.79	4.79
Vitamina C	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31
Óxido de cromo	-----	-----	-----	-----	-----
Alginato	2	2	2	2	2
Costo de proceso					
Peletizado	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044
Secado	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Mano de obra	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Costo total:					
Costo/Kg	18.31	16.45	15.51	14.63	13.60

Costo en pesos, calculado para el mes de abril de 1999.

7. DISCUSION

7.1 Extruidos

De los resultados, en los análisis bromatológicos llevados a cabo en los extruidos, se observa que mientras la humedad, lípidos y fibras varían poco de un extruido a otro, hay una variación importante en cuanto al contenido de proteínas. Woodroffe, (1995) menciona que la extrusión provoca un rompimiento de las moléculas de proteínas por efecto del calor, dicho rompimiento las desnaturaliza a la vez que incrementa su digestibilidad y su actividad como ligante. Por otro lado, menciona que tiene poco efecto en lípidos y fibras, debido a que los primeros forman un complejo con los carbohidratos, poco soluble en éter, en tanto que en las fibras, favorece el rompimiento y la compresión de las cadenas de los carbohidratos.

El incremento en el porcentaje de proteínas por efecto de la extrusión, se ha puesto de manifiesto en trabajos, como el de Domminy y Lim 1989, los cuales en extruidos 50/50 de pasta de soya-vísceras de calamar, lograron obtener 51.82% de proteína; en tanto que Pelcastre 1996, logró valores de 51.75% en extruidos 50/50 de subproductos de carpa herbívora y pasta de soya. Estos valores fueron más altos a los logrados en el presente trabajo (29%), debido a un mayor contenido de proteína en la pasta de soya (44%), en comparación con la harina de maíz (8.3%), aspecto que hace más interesante el resultado en el presente trabajo, ya que un producto con tan bajo porcentaje de proteína, como es el maíz, puede alcanzar valores más altos de proteína y precio, tomando en cuenta que México es un productor de maíz y no de soya.

Con relación a la humedad de la mezcla antes de ser extruida, Pelcastre, 1996, encontró un decremento o merma de humedad por extrusión, de 4.34% en extruidos 50/50, con pasta de soya y subproductos de carpa herbívora, muy parecida a la encontrada en el presente trabajo (4.82%). La menor pérdida de

humedad por extrusión, en los extruidos 50/50, comparada con 10.2 % en los primeros extruidos de prueba 75/25, se puede explicar debido al proceso de gelatinización, proceso en el que los almidones y proteínas de la mezcla se gelatinizan por efecto de la temperatura de proceso, dicho gel posee un alto poder ligante y de retención de agua, Woodroffe, 1995; Millikin, 1982, 1983; Jover y Blas, 1990; Takeuchi, *et al.*, 1990; Jeong, *et al.*, 1991, Cerda J, *et al.*, 1998, y Gur N., 1998.

La temperatura promedio a la cual se llevaron a cabo los extruidos fue de 99°C, un grado menor a la registrada por Dominy y Lim, 1989, quienes trabajaron en condiciones antes ya mencionadas. La temperatura registrada, se encontró muy cercana al intervalo reportado por Lovell, 1989; el cual encuentra un intervalo de temperatura durante el proceso de extrusión, de 104-148°C con una humedad promedio de 25%, si bien la humedad registrada en el presente trabajo, en los extruidos 50/50, no permitió un mayor incremento de temperatura, debido a que dicha humedad fue de 42% en promedio, muy superior al promedio que se cita.

7.2 Análisis de Aminoácidos

Debido a que los aminoácidos azufrados como la metionina, son limitantes en la mayoría de las fuentes vegetales, Webster y Tidwell, 1992, como es el caso de la soya (Tacon, 1993), el porcentaje de pasta de soya incluida en las dietas, puede explicar el valor limitante de la lisina según los valores reportados por Tacon

(1980) y Lovell (1989), y en menor grado el triptófano, según Lovell (1989), solo en la D-40. Viola y Arieli (1983), Teshima y Kanazawa (1988), en estudios realizados con dietas para tilapia, a base de harina de soya, con y sin suplemento de aminoácidos esenciales, no reportaron un mejor crecimiento diferencial, incluso, cuando se trabajó con otro tipo de harina de grano oleaginoso, ya que se han encontrado resultados parecidos (El-Sayed, 1987, 1990). Por otro lado, se ha encontrado que minerales, como el fósforo, más que los aminoácidos esenciales,

es el factor que permite una correcta asimilación de la pasta de soya, Viola, *et al.*, (1986, 1988).

7.3 Evaluación Biológica

Con excepción de la lisina, los resultados entre las dietas D-Test y D-40, muestran que la inclusión de varias fuentes de proteína, particularmente en la D-40, ayudaron a mejorar la calidad proteínica debido a la suma y disposición de aminoácidos esenciales provenientes de estas fuentes (Sadiku y Jauncey, 1995 a,b), ya que no hubo diferencias significativas en crecimiento entre los organismos alimentados con estas dos dietas; ($P>0.05$), lográndose además, un adecuado crecimiento.

El mejor crecimiento observado en las dietas D-20 y D-30, puede estar dado por la alta calidad proteínica de la harina de pescado (Tacon, 1989; Hardy, 1989; Tucker, 1985; Tucker y Robinson, 1990), y un adecuado balance nutricional logrado con la harina del segundo extruido 50/50 VA/HM, y la pasta de soya; tomando en cuenta que estas dos dietas presentaron la más alta inclusión de harina de pescado, después de la D-Test.

En general la dieta D-100, presentó los valores más bajos en los índices obtenidos, los valores significativamente más bajos, exceptuando el FCA, que fue significativamente más alto ($P>0.05$), respecto de las demás dietas, se encontraron en la TCE, FEP y UNP. Esto pudo deberse al alto porcentaje de soya incluida (71.7%) y su poca palatabilidad (Lovell, 1989). Se pudo tener también, un pobre balance de aminoácidos esenciales provocado por el alto nivel de inclusión de pasta de soya en esta dieta (Shiau, *et al.*, 1987), así como a la ausencia de harina de pescado y a la poca inclusión de harina del extruido. Otro factor que pudo haber tenido efectos adversos en la calidad de la pasta de soya, es la temperatura a la cual fue procesada, ya que si bien es cierto que el tratamiento térmico desactiva antinutrientes (Rackis, 1972; Liener, 1975), como es

el caso del inhibidor de tripsina (Kunitz, 1945; Birk *et al.*, 1963), lo que la hace más digestible (Kakade *et al.*, 1973), es también cierto, que un sobrecalentamiento puede provocar una reacción conocida como "reacción de Maillard", la cual genera la formación de complejos amino-azúcar (caramelización), que dejan biológicamente indisponible a la lisina (Maynard *et al.*, 1979; Tacon, 1989), y en general, a aminoácidos termo lábiles como es también el caso de la cistina (Smith y Circle, 1972). La determinación de la actividad de la enzima ureasa, es un método rápido que permite medir el nivel de proceso de la soya; un intervalo aceptable es de 0.05 a 0.5 unidades de pH, valores menores indican sobre cocimiento, y mayores indican falta de cocimiento (Caskey-Knapp, 1944 in FAO, 1993), si bien, Akiyama, 1988, reporta un intervalo óptimo de 0.00 a 0.23. Este mismo autor acepta como más fiable la medición del inhibidor de tripsina, o bien, la determinación de la solubilidad de la proteína (Dale, *et al.*, 1987).

7.4 Análisis de Digestibilidad

Los resultados de digestibilidad, sugieren que no se presentó algún afecto generado por antinutrientes, como podría ser el caso del inhibidor de tripsina, comúnmente encontrado en la pasta de soya (Kunitz, 1945; Birk *et al.*, 1963). La alta digestibilidad encontrada en la D-100, puede indicar que el desequilibrio de aminoácidos fue determinante, pues a pesar del consumo de alimento, este no fue suficiente para permitir un crecimiento adecuado.

7.5 Análisis del Cuerpo

El bajo porcentaje de cenizas encontrado en el cuerpo de los peces alimentados con la dieta D-100, puede estar determinado por la presencia de ácido fítico, comúnmente presente en la pasta de soya, ya que esta es la forma en la que más se encuentra el fósforo en dicha pasta, el cual no es aprovechado por los peces, dada su naturaleza química. Además el ácido fítico reduce la biodisponibilidad de

algunos minerales como el zinc (Lovell, 1989), por tanto, los peces requieren altas cantidades de fósforo, del orden de 0.5 a 0.9% (*Op. cit.*).

Es importante también mencionar, que las formas inorgánicas más biodisponibles como fuentes de fósforo para los peces son: el fosfato monosódico ($\text{NaH}_2\text{PO}_4\text{H}_2\text{O}$) y el fosfato monocálcico ($\text{CaH}_4\text{O}_8\text{P}_2$), (Akiyama, 1988).

En relación con el bajo porcentaje de lípidos encontrado en la D-100, se puede explicar debido a la marcada reducción de apetito de los peces, esto pudo provocar la utilización de los lípidos de reserva y por tanto, una marcada reducción de lípidos en el cuerpo de estos peces. El Sayed (1991), Belal y Al-Dosary (1999), han mencionado que la Tilapia puede exhibir pobre crecimiento debido al bajo consumo de alimento, cuando es alimentada con dietas que contienen altas cantidades de proteína vegetal, como la pasta de soya y semilla de algodón, comparada con dietas a partir de harina de pescado, debido a la reducción de la palatabilidad en dietas a base de proteína vegetal o bien, a la capacidad de los animales de detectar cuando una dieta está desequilibrada en sus aminoácidos.

7.6 Análisis de Costos en Extruidos 50/50

Si se toma en cuenta el contenido de proteína del primer y segundo extruidos, con relación al costo por kilogramo (Tabla 20), se observa un incremento en el costo de proteína de casi 100% para el segundo extruido, lo que se explica debido al doble proceso de extrusión y gasto de energía. Al comparar el costo de proteína del segundo extruido, con la pasta de soya, se observa un costo muy similar, y con respecto a la harina de pescado es 34.38% más barato, si bien, estos dos últimos ingredientes tienen un mayor contenido de proteína. Pelcastre (1990), encontró un costo de proteína de \$1.14 pesos en extruidos 50/50 de subproductos de carpa / pasta de soya, con 49 % de proteína, si bien, no incluyó gastos por concepto de secado del producto, lo cual es un error de omisión que puede significativamente hacer la técnica inoperable.

Tabla 20. Costo de proteína en materias primas para dietas.

Materias primas	Contenido de proteína (%)	Costo por kg.	Costo de proteína
Harina 1er. Extruido	22	4.0	0.88
Harina 2º. Extruido	29	5.8	1.68
Harina de pescado	64	4.0	2.56
Pasta de soya	44	3.5	1.54

Costo en pesos m/n.

7.7 Análisis de Costos en Dietas

Si se compara el costo por dieta, se observa que a mayor inclusión de la harina de extruido, menor costo de la dieta, esto se debió a un menor requerimiento de almidón, como fue el caso de la D-40. La D-100 resultó ser aún más barata debido a una mayor inclusión de pasta de soya, más barata que la harina del segundo extruido. La D-40, que tuvo el mayor porcentaje de la harina de extruido, presentó un costo 25.73 % más bajo que la D-Test.

Si se compara el costo de la D-40 con el de un alimento comercial balanceado para tilapia, como es el caso de la marca Purina con un 30% de proteína, se observa un costo de proteína de \$1.62 pesos, contra \$5.12 pesos de la D-40, es decir, 68.36% más cara que el alimento comercial. Ahora bien, este diferencial en precio, puede verse favorecido para la D-40 además de las dietas D-20 y D-30, dado el mejor resultado que pudieran presentar en crecimiento sobre el alimento comercial, y a una marcada reducción en precio en su producción a escala comercial.

8. CONCLUSIONES

Es posible mediante la extrusión en seco, usar subproductos de la industria del atún para generar harina de alta calidad que pueda competir en calidad proteínica con la harina de pescado, sustituyendo esta última con harina extruida 50/50 de vísceras de atún / harina de maíz, hasta en un 40% en dietas prácticas, sin encontrar diferencias significativas, evitando además, generar harinas basadas en desperdicios de atún de muy baja calidad y que producen una alta contaminación ambiental.

A mayor inclusión de vísceras de atún en la mezcla, antes de ser extruida, el porcentaje de humedad que se pierde por extrusión se reduce substancialmente.

Las dietas que mejor crecimiento reportaron, fueron la D-20 y la D-30, dicho crecimiento fue significativamente mayor, aún, que la dieta testigo (D-Test).

No se observaron diferencias significativas entre la D-Test y la dieta D-40, tanto en digestibilidad como en crecimiento, siendo además más viable esta última dieta, en términos de costos.

La alta cantidad de soya en la dieta D-100, provocó pobre crecimiento de los alevines y baja aceptación del alimento, posiblemente debido a limitaciones en aminoácidos debido a la reacción de Maillard.

El costo de proteína del segundo extruido, puede competir en precio con la harina de pescado y la pasta de soya, aunque con un menor contenido de proteína, en tanto que el costo de proteína en la D-40, no resultó ser competitivo con el costo de proteína del alimento comercial.

La tecnología de extrusión en seco, es una adecuada alternativa para incorporar productos frescos, como es el caso de subproductos pesqueros, con harina vegetal, para obtener productos de más alto valor proteico, si bien dicho valor proteico podría incrementarse aún más con el uso de técnicas adicionales de deshidratación, como la desecación solar y el prensado, esto permitiría incluir más subproductos húmedos en los extruidos y ahorrar energía eléctrica, al hacer innecesaria una doble extrusión, propiciando de este modo, un mayor abaratamiento y competitividad en el mercado del producto generado.

RECOMENDACIONES:

Es necesario evaluar la calidad de las materias primas a utilizar en la elaboración de dietas, con el fin de detectar antinutrientes, como es el caso del inhibidor de tripsina en la pasta de soya y la reacción de Maillar; ya que decremantan la calidad proteica de las dietas.

Es importante llevar a cabo extruidos con otras fuentes vegetales como la soya, ya que además de favorecer la reducción de humedad en la mezcla a extruir; contiene un adecuado perfil de aminoácidos, lo cual ayudaría a mejorar el perfil de aminoácidos en las dietas.

En el caso de la harina de pescado, es necesario conocer el tipo de proceso de secado, ya que dependiendo de este, se podrían generar problemas de baja digestibilidad proteica.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, H. M., 1990. Extrusión de alimentos enriquecidos con soya. Memorias del seminario taller, organizado por la Asociación latinoamericana de extrusión de alimentos enriquecidos con soya y la Asociación Americana de Soya (ASA). Ago., 1990, Chihuahua, Chich., Méx. 162 p.
- Aiken, D., Sinclair, M. 1995. From capture to culture: exploring the limits of marine productivity. *World Aqua.* 26 (3), 21-34 pp.
- Airola G.J.R., 1999. Utilización de las vísceras húmedas de atún (*Thunnus albacar* es, Bonatorre, 1788) coextruidas con harina de pasta de soya y harina de maíz para producir ingredientes de mayor valor nutricional para la industria de alimentos. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Ciencias del Mar. 41 p.
- Akiyama D. 1988. Soybean meal utilization in fish feeds. Technical bulleting, No.33, American Soybean Association., 15 pp.
- Akiyama, D., Dominy W., Lawrence A. 1991. Penaeid shrimp nutrition for the comercial feed industry: Revised. Proceeding of the Aquaculture Feed Processing and Nutrition Workshop. Thailand and Indonesia, September 19-25. American Soybean Association. Akiyama, D. And R. Tan (eds.) 80-98 pp.
- Almazán, G.J., Pullin, R.S.V., Angeles, A.F., Manalo, T.A., Agbayani, R.A., Trono, M.T.B. 1986. *Azolla pinnata* as a dietary component for Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. In: Maclean , J.L., Dizon, L.B., Hosillos, L.V. (eds.), Proc. 1st Asian Fish. Forum, Asian Fish. Soc., Manila Philippines, 523-528 pp.



Anuario Estadístico de Pesca 1997. INEGI.

A.O.A.C., 1984. Official Methods for Analysis of the Association of Official Analytical Chemist, 14th Edition, Arlington, VA, 1141 p.

Apha A. W.W.A., y W.P. F.C., 1963. Métodos estándar para el examen de aguas y aguas de desecho. Interamericana, México, 609 p.

Avnirnelech. Y., Mokady, S. 1988. Protein biosynthesis in circulated fishponds. In: Pullin, R.S.V., Bhukaswan, T., Tonguthai, K., Maclean J.L. (eds.), Proc. 2nd Intl. Symp. on Tilapia in Aquaculture, ICLARM Confr. Proc. No. 15, Manila, Philippines. 301-308 pp.

Barlow, S., Pike I. 1992. Fish meal and oil production and markets 1990: Future developments. Memorias del Seminario Internacional sobre calidad de harinas de pescado en nutrición animal acuícola y pecuaria, 16-17 de Noviembre, Monterrey, México. 10 p.

Belal, I.E., Al-Dosari M. 1999. Replacement of Fish Meal with Salicornia Meal in Feeds for Nile Tilapia *Oreochromis niloticus*. Journal of the World Aquaculture Society. Vol.30, No.2., 285-289 pp.

Birk, Y.A. Gertler and S. Khalef. 1963. A pure trypsin inhibitor from soya beans. Biochem. J. 87:281

Camarena, C.M. 1998. Efecto de la cabeza de camarón coextruida con trigo o sorgo sobre el crecimiento del camarón *Penaeus stylirostris*. Tesis de maestría, FCB/UNL, San Nicolás de Los Garza, N.L. 100 p.

Caskey, D.D..Jr., Knapp, F.C. 1944. Method for detecting inadequately heathed soybean oil meal. Ind. Eng. Chem. Anal., 16: 640 p.

- Cluet, D. 1990. Advances in the manufacture of aquatic feeds by low cost Extrusion. The necessity for technology transfer from the advanced user to the new user. Presented at the World Aquaculture Society Annual Meeting, Halifax, Canada, 10 –14Th June, 1990 pp.
- Cerdá, .J.M., Pérez I.L., Zaragoza L., Fernández C.J. 1998. Crecimiento de tilapias (*Oreochromis niloticus*, L.) con piensos extrusionados de diferente nivel proteico. Archivos de zootecnia, vol.47, no. 177 11-20 pp.
- Cockerell, I., Francis, B., Halliday, D. 1971. Changes in nutritive value of concentrate feedingstuffs during storage. Tropical Products Institute, London., U.K.
- Csavas , I. 1994. Important factors in the success of shrimp farming. World Aqua. 25 (1), 34-56 pp.
- Chamberlain, G.W., Hopkins, J.S. 1994. Reducing water use and feed cost in intensive ponds. World Aquaculture 25(3), 29-32 pp.
- Chow, K.W., Rumsey, G.L. y Woldroup, P.W. 1980. Linear programming in fish diet formulation. In: Fish feed technology, UNDP/FAO/ADCO/REP/80/11, 395 p.
- Dale, N.M., A. Araba and E. Whittle. 1987. Protein solubility as an indicator of optimum processing of soybean meal. Proceeding of 1987 Georgia Nutrition Conference for the feed Industry, 88-95 pp.
- Dempster, P., Baird, D.J., Beveridge, M.C.M., 1995. Can fish survive by filter-feeding on microparticles?. Energy balance in tilapia grazing on algal suspension. J. Fish Biol. 47, 7-17 pp.

- Deoliveira, A.C.B., Pezzato, L.E., Barros, M., Pezzato, A.C., Silveira, A.C., 1997. African palm kernel meal on Nile tilapia-production performance. *Pesq. Agrop. Brasil.* 32 (4), 443–449 pp.
- Dominy, W.G., Lim, C. 1989. Evaluación de la pasta de soya extruida con vísceras de calamar como fuente de proteína en alimento para camarón. *Memorias del Primer Simposium Internacional de Nutrición y Tecnología de Alimentos para Acuicultura.* Monterrey N.L., 235-241 pp.
- EI-Sayed, A.-F.M. 1987. Protein and energy requirements of *Tilapia zilli*. PhD Thesis, Michigan State University, East Lansing, MI, USA. 147 p.
- EI-Sayed, A.-F.M., 1990. Long-term evaluation of cotton seed meal as a protein source for Nile Tilapia *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture* 84, 315-320 pp.
- EI-Sayed, A.F. 1991. Tilapia Nutrition in aquaculture. *Reviews in Aquatic Sciences* 5:247-265 pp.
- EI-Sayed, A.-F.M., 1992. Effects of substituting fish meal with *Azolla pinnata* in practical diets for fingerling and adult Nile tilapia *Oreochromis niloticus* L. *Aquacult. Fish. Manage.* 23, 167–173 pp.
- EI-Sayed, 1998. Total replacement of fish meal with animal protein sources in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture Research*, Vol. 29, no. 4, 275-280 pp.
- EI-Sayed, A.-F.M., 1999. Alternative dietary protein sources for farmed tilapia, *Oreochromis spp.* *Aquaculture* 179, 149-168 pp.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 1983. Fish feeds and feeding in developing countries. ADCP / Rep / 83 / 18, FAO, Rome, Italy. 93 pp.

FAO. 1993. Manual de técnicas para laboratorio de nutrición de peces y crustáceos. Proyecto GCP/RLA/102/ITA, Roma. Italia. 104 p.

Furukawa, H., Tsukahara, H. 1966. On the acid digestion method for the determination of chromic oxide as an index substance in the study of digestibility of fish fed. Bull. Jpn. Sci. Fish. 32 (6), 502-508.

Goldhor, S., Current, R., y J. Regenstein., 1990. Current Seafood Processing Waste Utilization Option as a Function of Scale of Raw Material Production, In: Advances In Fisheries Technology and Biotechnology for Increased Profitability. Voigt, M. and J. Botta (eds.) Technomic Publishing Co. Inc: 163-168 pp.

Gur, N. 1998. Extruded feeds in fish nutrition. Fisheries and fishbreeding in Israel. Haifa [Fish. Fishbreed. Isr.], vol. 31, no.2, 74-77 pp.

Hardy, R. 1989. Diet Preparation, Feed Ingredients. In: Fish Nutrition. 2nd. Edition. Academic Press. San Diego, J. Halver (Ed). 484-490 pp.

Hardy, R., Masumoto T. 1991. Specifications for marine by products for aquaculture. Proceedings of the Aquaculture Feed Processing and Nutrition Workshop. Thailand and Indonesia, September 19-25, 1991. American Soybean Association. Akiyama, D. and R. Tan (eds.) 99-108 pp.

- Jackson, A.J., Capper, B.S., Matty, A.J., 1982. Evaluation of some plant proteins in complete diets for the tilapia, *Sarotherodon mossambicus*. *Aquaculture* 27, 97-109 pp.
- Jeong, K.T., Takeuchi T., Watanabe T. 1991. Improvement of nutritional quality of carbohydrate ingredients by extrusion process in diets of red sea bream. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 57, 1543-1549 pp.
- Jover, M., Blas, E. 1990. Tecnología de fabricación de piensos I. *Acuicultura. Mundo Canadero*, 5: 63-66 pp.
- Kakade, M.L., J.E. Hoffa and I.E. Liener. 1973. Contribution of trypsin inhibitors to the deleterious effects of unheated soybeans fed to rats. *J. Nutr.* 103:1772 p.
- Kerns, J., Huber, G., Dominy, W. y Freeman D. 1988. Properties of extrusion cooked shrimp feeds containing various commercial binders. Presented at the World Aquaculture Society 19th Annual Conference. January 4-8, Waikiki, Hawaii 15 pp.
- Kunitz, M. 1945. Crystallization of a trypsin inhibitor from soybeans. *Science* 101:668 p.
- Li, M.H., Robinson E.H. 1994. Catfish feed manufacture. *MAFES Bulletin*, 1012, 1-14 pp.
- Liener, I.E. 1975. Effects of anti-nutritional and toxic factors on the quality and utilization of legume proteins. In: M. Friedman (editor) *Protein Nutritional Quality of Foods and Feeds*. pp 523-550. Marcel Dekker, New York.
- Lovell T. 1989. *Nutrition and feeding of fish*. Van Nostrand Reinhold. USA., 260 p.

- Lucas, B. and Sotelo A. 1980. Effect of different alkalies, temperature and hydrolysis times on tryptophan determination of pure protein and of foods. *Anal. Biochem.* 109, 192-196 pp.
- Lucas, B and Sotelo A. 1982. Aminoacid determination in pure proteins, foods and feeds using two different acid hydrolysis methods. *Anal. Biochem.* 123, 349-356 pp.
- Mansour, C.R., 1998. Nutrient requirements of red tilapia fingerlings. MSc Thesis, Fac. Sci. Univ. Alex. Egypt, 121 p.
- Maynard, L.A., J.K. Loosli, H.F. Hintz and R.G. Warner. 1979. The proteins and their metabolism. in: *Animal Nutrition*, pp 156-158. McGraw Hill, New York.
- McCoy, H.D., 1990. Fishmeal-The critical ingredient in aquaculture feeds. *Aquaculture Magazine* 16 (2), 43-50 pp.
- Melo del Angel, A.L. 1997. Utilización de subproductos de camarón coextruidos con pasta de soya como ingredientes en dietas balanceadas para camarón *Penaeus vannamei*. Tesis de maestria , FCB/UNL., San Nicolás de Los Garza, N.L. 56 p.
- Middendorp, A.J., 1995. Pond farming of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L)., in northern Cameroon. Mixed culture of large tilapia (>200 g) with cattle manure and cottonseed cake as pond inputs, and African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell), as police-fish. *Aquacult. Res.* 26, 723–730 pp.

- Middendorp, A.J., Huisman, E.A., 1995. Pond farming of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L), in northern Cameroon. Comparing two different strategies for feeding cottonseed cake in tilapia male monosex culture. *Aquacult. Res.* 26, 731–738 pp.
- Millikin, M.R. 1982. Effects of dietary protein concentration on growth, feed efficiency, and body composition of age-0 striped bass. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 111: 373-378 pp.
- Millikin, M.R. 1983. Interactive effects of dietary protein and lipids on grown and protein utilization of age-0 striped bass. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 112: 135-193 pp.
- Mills, D. 1991. *Guía del acuario*. Ed. Omega., Barcelona. 287 p.
- Morales, D. A. 1991. *La Tilapia en México: biología, cultivo y pesquerías*. Ed. AGT. México., 189 p.
- Moriarty, C.M., Moriarty, D.J.W., 1973. Quantitative estimation of daily ingestion of phytoplankton by *Tilapia nilotica* and *Haplochromis nigripinnis* in Lake George. Uganda. *J. Zool.* 171, 15–24 pp.
- Nabil, W., 1992. Extrusion of secondary resources (by-products rendering). Feed Extrusion. Triple "F" Inc. In: *Feeds Extrusion Manual for Practical Short Course in Feed Extrusion Texas A & M University System*, College Station, TX. Lusas, E., G. Guzmán and S. Doty (eds) January, 1993. 11 p.
- Naegel, L.C.A, 1997. Azolla meal as a supplemental feed ingredient for tilapias. In: Fitzimmons, K. (Ed), *Proc. 4th Intl. Symp. On Tilapia in Aquaculture*, Orlando, FL, USA, 9–11 November 1997, 20–30 pp.

- Ofojekwu, P.C., Ejike, C., 1984. Growth response and feed utilization in tropical cichlid *Oreochromis niloticus* (Lin) fed on cottonseed-based artificial diets. *Aquaculture* 42, 27–36 pp.
- Olvera, N.M.A., Pereira, P.F., Olivera, C.L., Pérez, F.V., Navarro, L., Sámano, J.C. 1997. Cowpea (*Vigna unguiculata*) protein concentrate as replacement for fish meal in diets for tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry. *Aquaculture* 158, 107-116 pp.
- Omoregie, E., Ogbemudia, F.I., 1993. Effects of substituting fish meal with palm kernel meal on growth and food utilization of the Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Isr. J. Aquacult.-Bamidgeh* 45 (3), 113–119 pp.
- Pantha, M.B., 1982. The use of soybean in practical feeds for tilapia (*Oreochromis niloticus*) MSc Thesis, University of Stirling, UK.
- Pelcastre, V.M. 1996. Desarrollo de coextruidos de pasta de soya (*Glycine max*) y subproductos de carpa herbívora (*Ctenopharingodon idella*) para nutrición de bagre (*Ictalurus punctatus*). Tesis de maestría. UANL, Monterrey, N.L., 164 p.
- Rackis, J.J. 1972. Biologically active components. In: A.K. Smith and S.J. Circle (Editors) *Soybeans: Chemistry and Technology*. pp 158-202. AVI Publishing Co., Westport, Connecticut.
- Robinson, E.H., Rawles, S.D., Oldenburg, P.W., Stickney, R.R., 1984. Effects of feeding glandless and glanded cottonseed products and gossypol to *Tilapia aurea*. *Aquaculture* 38, 145–154 pp.

- Sadiku, S.O.E., Jauncey, K., 1995a. Soybean flour-poultry meat meal blends as dietary protein source in practical diets of *Oreochromis niloticus* and *Clarias gariepinus*. *Asian Fish. Sci.* 8 (2). 159-158 pp.
- Sadiku, S.O.E., Jauncey, K. 1995b. Digestibility, apparent amino acid availability and waste generation potential of soybean flour: poultry meat meal blend based diets for tilapia *Oreochromis niloticus* (L.), fingerlings. *Aquacult. Res.* 26, 651-657 pp.
- Santiago, C.B., Aldaba, M.B., Reyes, O.S., Laron, M.A., 1988. Response of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry to diets containing *Azolla* meal, In: Pullin, R.S.V., Bhukaswan, T., Tongchai, K., Maclean, J.L. (Eds.), 2nd Intl. Symp. on Tilapia in Aquaculture, ICLARM Conf. Proc. No. 15, Manila, Philippines. 377-382 pp.
- Shiau, S.-Y., Chuang, J.-L., Sun, C.-L. 1987. Inclusion of soybean meal in tilapia (*Oreochromis niloticus* X *O. aureus*) diets at two protein levels. *Aquaculture* 65 (3-4), 251-261 pp.
- Shiau, S.-Y., Kwok, C.-C., Hwang, J.-Y., Chen, C.-M., Lee, S.-L., 1989. Replacement of fish meal with soybean meal in male tilapia (*Oreochromis niloticus* X *O. aureus*) fingerling diets at a suboptimal level. *J. World Aquacult. Soc.* 20 (4), 230-235 pp.
- Shrestha, M.K., Knud-Hansen, C.F., 1994. Increasing attached microorganism biomass as a management strategy for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) production. *Aquacult. Eng.* 13, 101-108 pp.
- Smith A.K., S.J.Circle. 1972. Soybeans: Chemistry and technology. AVI Publishing Co. Westport, Connecticut, 470 pp.

- Tacon, A.G.J., Jauncey, K., Falaye, A., Pantah, M., MacGowen, I., Stafford, E., 1983. The use of meat and bone meal, hydrolyzed feather meal and soybean meal in practical fry and fingerling diets for *Oreochromis niloticus*. In: Fishelson, J., Yaron, Z. (Eds.), Proc. 1st Intl. Symp. on Tilapia in Aquaculture. Tel Aviv Univ. Press, Israel, pp. 356–365 pp.
- Tacon, A. y Jackson A. 1985. Utilization of conventional and unconventional protein sources in practical fish feeds. In: Nutrition and Feeding in fish. Academic Press, London. Cowey, A., M. Mackie and J. Bell (eds.): 119-145 pp.
- Tacon A.G.J., 1989. Nutrición y alimentación de peces y camarones cultivados. Manual de capacitación. Documento de campo No.4,, Proyecto Aquila II. FAO-Italia.
- Tacon, A.G.J., 1993. Feed ingredients for warmwater fish. Fish meal and other processed feedstuffs, FAO Fish. Circ. No. 856, FAO, Rome, Italy, 64 pp.
- Takeuchi, T., Jeong K.S., Watanabe T. 1990. Availability of extruded carbohydrate ingredients to rainbow trout *Oncorhynchus mikiss* and carp *Cyprinus carpio*. Nippon Suisan Gakkaishi 56, 1839-1845 pp.
- Teshima, S., Kanazawa, A. 1988. Nutritive value of methionine-enriched soy plastein for *Oreochromis niloticus* fry. In: Pullin, R.S.V., Bhukaswan, T., Tonguthai, K., Maclean, J.L. (Eds.), 2 nd Intl. Symp. On Tilapia in Aquaculture, ICLARM Conf. Proc. No. 15, Manila, Philippines. 393-399 pp.

- Toledo, J., Cisneros, J.A., Ortiz, E., 1987. Use of rubbish meal as a substitute of fish meal in the diet of juvenile tilapia, *Oreochromis aureus* (Utilizacion de la harina de moralla en lugar de harina de pescado en la dieta de juveniles de tilapia, *Oreochromis aureus*). Rev. Investig. Marinas 3 (2), 55–59 pp.
- Tucker, C.S. 1985. Channel cat fish culture. Elsevier Science Publishers. Netherlands. 657p.
- Tucker, C.S, E.H. Robinson. 1990. Channel Catfish farming hand book. Van Nostrand Reinhold, USA. 454 p.
- Viola S., Arieli Y. 1983. Nutrition studies with tilapia (*Sarotherodon*): 1. Replacement of fishmeal by soybean meal in feed for intensive tilapia culture. Bamidgeh 35 (1), 3-12 pp.
- Viola, S., Zohar, g., Arieli, Y. 1986. Phosphorus requirements and its availability from different sources for intensive pond culture species in Israel: Part 1. Tilapia. Bamidgeh 38 (1), 3-12 pp.
- Viola, S., Arieli, Y., Zohar, G., 1988. Animal-protein –free feeds for hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* X *Oreochromis aureus*) in intensive culture. Aquaculture 75, 115-125 pp.
- Vizcarra M. 1998. Desarrollo de un alimento para aves a base del ensilaje de desperdicios de atuneras. Tesis de maestría. Facultad de Química, UNAM. 136 p.
- Vizcarra M., Avila E., Sotelo A. 1999. Silage preparation from tuna fish wastes and its nutritional evaluation in broiler. Journal of the Science of Food and Agriculture, 79: 1915-1922 pp.

Webster, C., Tidwell J.1992. Use of distillers by-products in aquaculture diets.
World Aquaculture 23 (4): 55-57 pp.

Woodroffe, J. 1995. Dry extrusion application in the feed industry. American
Soybean Association Technical Belleting. AQ40, 1-16 pp.

10. APÉNDICES

Apéndice 1

Método para la Determinación de Humedad

Durante el balanceo de la ración, es fundamental conocer el contenido de agua en cada uno de los elementos que la compondrá; así mismo, es necesario vigilar la humedad en el alimento preparado, ya que niveles superiores al 8% favorecen la presencia de microorganismos y arriba de 14%, existe el riesgo de contaminación por hongos y bacterias (Cockerell *et al.*, 1971). El método se basa en el secado de una muestra en un horno y su determinación por diferencia de peso entre el materia seco y húmedo.

Equipo.

- Horno de secado.
- Desecadores.

Procedimiento.

- 1) Pese alrededor de 5-10 g de la muestra previamente molida.
- 2) Coloque la muestra en un horno a 105 °C por un mínimo de 12h.
- 3) Deje enfriar la muestra en un desecador. Pese nuevamente cuidando de que el material no este expuesto al medio ambiente.
- 4)

Cálculos.

$$\text{Contenido de humedad (\%)} = 100 \left(\frac{(B-A) - (C-A)}{(B-A)} \right)$$

Donde:

- A= Peso de la charolilla seca y limpia (g)
- B= Peso de la charolilla +muestra húmeda (g)
- C= Peso de la charolilla + muestra seca (g)

Apéndice 2

Método para la Determinación de Proteína Cruda

Por su costo es este el nutriente más importante en la dieta en una operación comercial; su adecuada evaluación permite controlar la calidad de los insumos proteicos que están siendo adquiridos o del alimento que se está suministrando. Su análisis se efectúa mediante el método de Kjeldahl, mismo que evalúa el contenido de nitrógeno total de la muestra, después de ser digerida con ácido sulfúrico en presencia de un catalizador de mercurio o selenio. Sin embargo este análisis se puede hacer a cabo utilizando un analizador de proteína / nitrógeno marca Leco modelo FP-528 el cual reduce de manera significativa el tiempo y reactivos usados con el método de Kjeldahl.

Aparatos.

- Analizador de proteína / nitrógeno
- Microbalanza
- Charolillas de estaño

Procedimiento.

- 1) Pese la charolilla de estaño. Tare y pese alrededor de 100 mg de la muestra con una precisión de 0.0001g
- 2) Coloque los datos de la muestra previamente pesada en el analizador
- 3) Obtenga el porcentaje ya sea de proteína o nitrógeno según se desee.

Método simple propuesto por Chow *et al.* (1980)

Reactivos:

- Oxido de mercurio, grado reactivo
- Sulfato de potasio o de sodio anhidro, grado reactivo
- Acido sulfúrico (98%), libre de nitrógeno
- Parafina
- Sol. De hidróxido de sodio al 40%; disolver 400 gr. De NaOH en agua y diluir a 1000 ml.
- Solución de sulfato de sodio al 4%
- Solución indicadora de ácido bórico; agregue 5 ml de una solución con 0.1% de rojo de metilo y 2% de verde de bromocresol a un litro de solución saturada de ácido bórico
- Solución estándar de ácido clorhídrico 0.1N

Material y Equipo

- Unidad de digestión y destilación Kjeldhal
- Matraces Kjeldhal de 500 ml.
- Matraces Erlenmayer de 250 ml.
- Perlas de ebullición

Procedimiento

- 1.- Pesar con precisión 1 gramo de muestra y colarlo en el matraz Kjeldahl; agregar 10 g. de sulfato de potasio, 0.7 g. de óxido de mercurio y 20 ml. De ácido sulfúrico concentrado.
- 2.- Colar el matraz en el digestor en un ángulo inclinado y calentar a ebullición hasta que la solución se vea clara, continuar calentando por media hora más. Si se produce mucha espuma, adicionar un poco de parafina.

3.- Dejar enfriar; durante el enfriamiento adicionar poco a poco alrededor de 90 ml. de agua destilada y desionizada. Ya frio agregar 25 ml. de solución de sulfato de sodio y mezclar.

4.- Agregar una perla de ebullición y 80 ml. de solución de hidróxido de sodio al 40% manteniendo inclinado el matraz. Se formarán dos capas.

5.- Conectar rápidamente el matraz a la unidad de destilación, calentar y coleccionar 50 ml. del destilado conteniendo el amonio en 50 ml. de solución indicadora.

6.- Al terminar, remover el matraz receptor, enjuagar la punta del condensador y titular con la solución estándar de ácido clorhídrico.

Cálculos:

A= Acido clorhidrico usado en la titulación (ml)

B= Normalidad del ácido estándar

C= Peso de la muestra (g)

Nitrógeno en la muestra (%)= $100[(A \times B) / C] \times 0.014$

Proteína Cruda (%)= Nitrógeno en la muestra * 6.25

Apéndice 3

Método para la Determinación de Extracto Etereo

En este método, las grasas de la muestra son extraídas con éter de petróleo y evaluadas como porcentaje del peso después de evaporar el solvente.

Reactivos, Materiales y Equipo

- Éter de petróleo, punto de ebullición 40-60°C.
- Aparato de extracción Soxtec 2050 Tecator
- Horno de laboratorio ajustado a 105°C.
- Desecador
- Dedales de extracción
- Perlas de ebullición

Procedimiento

- 1) Saque del horno los matraces de extracción sin tocarlos con los dedos, de preferencia utilice unos guantes de laboratorio, enfríelos en un desecador, agrega 5 perlas de ebullición y péselos con aproximación de miligramos.
- 2) Pese en un dedal de extracción manejado con pinzas de 100 a 500 mg de la muestra seca con una precisión de 0.0001g. Una vez pesados los dedales colocarlos en el soxtec posteriormente se llenan los matraces con éter de petróleo a 2/3 del volumen total y se colocan estos en la parrilla de soxtec.
- 3) Lleve a ebullición y ajuste el calentamiento de tal manera que se obtengan alrededor de 10 reflujos por hora. El soxtec cuenta con una computadora la cual es programada para ajustar la temperatura de ebullición, el tiempo de la muestra dentro del éter de petróleo, el tiempo de escurrimiento y por último el tiempo de evaporación del éter de petróleo.

- 4) Coloque el matraz en el horno durante hora y media para eliminar el éter. Enfríe los matraces en un desecador y péselos con aproximación de miligramos. La muestra desengrasada puede usarse para la determinación de fibra cruda.

Cálculos

A= Peso del matraz limpio y seco (g)

B= Peso del matraz con grasa (g)

C= Peso de la muestra (g)

Contenido de Lípidos crudos (%) = $100 \times ((B-A)/C)$

Apéndice 4

Método para la Determinación de Fibra Cruda

Este método permite determinar el contenido de fibra cruda en la muestra, después de ser digerida con soluciones de ácido sulfúrico e hidróxido de sodio y calcinado el residuo para descontar las cenizas. La diferencia de pesos después de la calcinación nos indica la cantidad de fibra presente.

Reactivos:

- Solución de ácido sulfúrico 1.25% (0.2557 0.005N).
- Solución de hidróxido de sodio 1.25% (0.313±0.005N), libre de carbonato de sodio.
- Antiespumante (ej. Alcohol octil o silicona).
- Agua destilada

Material y equipo:

- Equipo fibertec 2010 Tecator
- Crisol de filtración
- Desecador
- Horno de laboratorio
- Mufla.

Método

- Pesar los crisoles a peso constante
- Peso de la muestra que es aproximadamente de un gramo con una precisión de 0.0001g.
- Los crisoles se colocan en el fibertec teniendo cuidado de no tocarlo con las manos.

- La maquina una vez encendida y programada se encargara de calentar tanto los dos reactivos como el agua destilada automáticamente.
- Se adiciona primeramente el reactivo ácido sulfúrico y se deja por espacio de media hora. Si hay espuma excesiva se agregan aproximadamente 3 gotas de antiespumante.
- Posteriormente se retira el ácido sulfúrico y se lava con agua destilada aproximadamente 3 veces.
- Se agrega el reactivo base hidróxido de sodio y se deja por espacio de media hora
- . Se retira el reactivo y se lava con agua destilada aproximadamente 3 veces.
- Enseguida se retiran los crisoles y se colocan en la estufa a 105°C por espacio de 12 h.
- Se colocan en el desecador y se pesan
- A continuación se ponen en la mufla a 550°C por espacio de 12 h
- Por último se colocan en el desecador y se pesan.

Cálculos:

A: Peso del crisol con el residuo seco (g)

B: Peso del crisol con la ceniza (g)

C: Peso de la muestra

Contenido de fibra cruda(%)= 100 (A-B/C)

Apéndice 5

Método para la Determinación de Cenizas

El método aquí presentado se emplea para determinar el contenido de ceniza en los alimentos o sus ingredientes mediante la calcinación. Se considera como el contenido de minerales totales o material inorgánico en la muestra.

Material y equipo.

- Crisoles de porcelana
- Mufla
- Desecador

Procedimiento

- 1) En un crisol de porcelana que previamente se calcinó y se llevo a peso constante, coloque de 2.5 a 5g de muestra seca. (esto puede variar según el tamaño del crisol. En este trabajo se utilizaron crisoles tan pequeños y exactos que se podía trabajar hasta con 10 mg de muestra).
- 2) Coloque el crisol en una mufla y calcínelo a 550°C por 12 horas, deje enfriar y páselo a un desecador. Se recomienda enfriar los crisoles por debajo de los 250°C antes de ser extraídos de la mufla.
- 3) Cuidadosamente pese nuevamente el crisol conteniendo las cenizas.

Cálculos

A= Peso del crisol con ceniza (g)

B= Peso del crisol (g)

C= Peso de la muestra (g)

Contenido de ceniza (%) = $100 \cdot ((A-B)/C)$

Apéndice 6

Método para la Determinación de Extracto Libre de Nitrógeno

Dentro de este concepto se agrupan todos los nutrientes no evaluados con los métodos señalados anteriormente dentro del análisis proximal, constituido principalmente por carbohidratos digeribles, así como también vitaminas y demás compuestos orgánicos solubles no nitrogenados; debido a que se obtiene como la resultante de restar a 100 los porcentos calculados para cada nutriente, los errores cometidos en su respectiva evaluación repercutirán en el cómputo final.

Cálculo

$$\text{Extracto libre de nitrógeno (\%)} = 100 - (A + B + C + D + E)$$

Donde:

- A) Contenido de humedad (%)
- B) Contenido de proteína cruda (%)
- C) Contenido de lípidos crudos (%)
- D) Contenido de fibra cruda
- E) Contenido de ceniza (%)

CORRECCIONES.

Debido a que los análisis normalmente se hacen con muestras preparadas para tal fin, es necesario realizar ciertas correcciones en los resultados para que reflejen el *contenido real de nutrientes en el material en las condiciones en que se usará.*

a) Humedad

Si los análisis se efectuaron en base seca (BS), esto es material deshidratado, es necesario corregir el resultado para expresarlo en base húmeda (BH), tal como se encuentra en el alimento o material para su



elaboración, mediante la siguiente expresión:

A) Contenido de nutrientes (%BS)

B) Contenido de humedad de el material (%)

Contenido de nutrientes (%BH) = $(AX((100-B)/100))$

b) Lípidos

Cuando se usa material desengrasado, por ejemplo en el análisis de fibra cruda, se aplica una expresión similar a fin de obtener un valor representativo de la muestra:

A) Contenido de fibra (desengrasada, %)

B) Contenido de lípidos en el material (%)

Contenido de fibra ajustado (%) = $(A \times ((100-B)/100))$

Apéndice 7

Método para la Cuantificación de Óxido de Cromo en Heces y Alimentos (Furukawa y Tsukahara, 1966)

El óxido de cromo es el marcador más ampliamente utilizado durante la evaluación de la digestibilidad en dietas experimentales para peces. El método aquí presentado es una modificación

Materiales y equipo.

Matraces de Kjeldahl de 100 ml

Digestor Kjeldahl para tubos de 100 ml

Pipeta de 10 ml

Matraces volumétricos de 2-5 ml

Espectrofotómetro (350)

Reactivos

Ácido Nítrico (concentración analítica)

Ácido Perclórico (concentración analítica, 70%)

Agua destilada.

Procedimiento:

Muela finamente el alimento y las heces, a las cuales se les habrá eliminado previamente escamas y cualquier otra materia extraña; manténgalos a sequedad. Pese con precisión de 0.0001g de 50 a 100 mg de muestra, coloque en un matraz kjeldahl de 100 ml y pese nuevamente la charolilla para ajustar peso de la muestra. Adicione 5 ml de HNO_3 y ponga a digerir en ebullición suave por un mínimo de 30 min. Hasta que desaparezcan los vapores amarillentos. En caso que disminuya notablemente la cantidad de líquido y continúe habiendo vapores nitrosos, adicione otros 5 ml de ácido nítrico y siga digiriendo. Al término la solución debe ser clara, de color verdoso y no debe desprender vapores ocreos. Deje enfriar.

Ya fría la solución, agregar cuidadosamente resbalando por las paredes del matraz 3 ml de ácido perclórico. Realizar la adición dentro de una campana de extracción y con mucho cuidado, ya que en caso de una digestión incompleta se puede presentar una reacción explosiva. Coloque nuevamente el matraz en el digestor y continúe la ebullición hasta que la solución vire de verde a amarillo limón; apague el digestor y deje enfriar. Ya frío debe formar un anillo rojizo en el borde del líquido; en caso de no formarse o si el líquido se torna verde nuevamente, volver a digerir hasta que el cambio sea permanente.

Pase el líquido frío a un matraz volumétrico de 25 ml, enjuagando el matraz kjeldahl varias veces con agua destilada y afore. Ajuste a 0 el espectrofotómetro con un blanco de reactivos y leer a 350 nm. El blanco se prepara simultáneamente a las muestras usando solamente los ácidos y agua destilada.

Cálculos

a) Calcule la cantidad de óxido de cromo (mg) presente en la muestra:

$$X = ((Y - 0.0032) / 0.2089) / 4$$

Donde

Y= absorvancia

0.0032 y 0.2089 son constantes

b) Calcule el % de óxido de cromo en la muestra:

$$O.C.\% = 100X/A$$

Donde

X= peso del óxido de cromo

A= peso de la muestra

$$\text{Digestibilidad (D)} = 100 - (100 ((\%A/\%B)(\%C/\%D)))$$

Donde: A= % de dióxido de cromo en el alimento

B= % de dióxido de cromo en las heces

C= % de nutriente en las heces

D= % de nutriente en el alimento

Apéndice 8

Método para la Determinación de Amino Acidos

Lucas, B y Sotelo A. 1980, 1982.

Se basa en la hidrólisis ácida de la muestra para romper los enlaces peptídicos de la proteína y liberar los aminoácidos que la componen. La posterior separación de los aminoácidos al pasar a través de una resina de intercambio iónico (cromatografía de intercambio iónico) y la reacción de estos con ninhidrina para formar un complejo colorido permite cuantificar colorimétricamente la cantidad de cada aminoácido presente en la muestra.

La técnica requiere que la muestra esté finamente molida y desengrasada, se pesa en un tubo de hidrólisis, se agrega HCl 6 N y se insufla nitrógeno para evitar la oxidación de los aminoácidos y se cierra el tubo con un tapón de teflón para evitar fugas. Posteriormente la muestra se somete a las condiciones de hidrólisis, es decir, 145°C durante 4 horas. Una vez transcurrido el tiempo, el hidrolizado es concentrado por medio de la eliminación del ácido en un rotavapor y se agrega el aminoácido sintético norleucina que funciona como patrón interno. Posteriormente se filtra el hidrolizado, se ajusta el pH a 6.8 y se afora a 25 mL. Finalmente el hidrolizado se diluye con un amortiguador de pH 1.5, se filtra a través de un dispositivo millipore y se inyectan 100 microlitros en el autoanalizador. Para cuantificar a los aminoácidos, mide el área de los picos de cada aminoácido que se registra y se compara con el aminograma obtenido de la muestra con un estándar de aminoácidos que tiene una concentración 0.025 micromolar de cada aminoácido y que también contiene norleucina.

Determinación de Triptofano

Debido a que la hidrólisis ácida destruye el triptofano, se utiliza la hidrólisis alcalina. Una vez que ésta ha sido efectuada, el triptofano es liberado y se hace reaccionar con el reactivo de Erlich (p-dimetilaminobenzaldehído en medio ácido) produciéndose un compuesto colorido, cuya intensidad es proporcional al contenido del aminoácido en la proteína.

En este caso también se utiliza muestra molida y desengrasada, se adiciona LiOH 4 N, se insufla nitrógeno, se cierra el tubo y se coloca en el digestor que debe encontrarse a 145°C. El tiempo de hidrólisis depende del contenido de proteína, para muestras con menos de 35% de proteína se requiere de 8 horas de digestión, para muestras con un contenido 35-64% se requiere de 6 horas y para muestras con más de 64% se necesitan 4 horas de digestión. Una vez transcurrido el tiempo, se neutraliza el hidrolizado con ácido ortofosfórico, se filtra con ayuda de vacío y se afora a 25 mL. Después, se toman alícuotas de este hidrolizado y se les adiciona DMAB (para dimetilaminobenzaldehído) y se dejan 15 minutos en la obscuridad. Una vez transcurrido el tiempo se agrega nitrito de sodio y se dejan otros 15 minutos en la obscuridad. Finalmente se lee en un colorímetro a 590 nm. Al mismo tiempo debe correrse una curva estándar de triptofano con concentraciones que vayan de 0 a 100 microgramos del aminoácido.

El valor interpolado de la muestra en la curva patrón dará el contenido de triptofano en microgramos, por lo cual se debe considerar el aforo y peso de la muestra para expresar el resultado en gramos/16 gramos de nitrógeno.

Apéndice 9

Precio y Proveedor de los Ingredientes Usados en las Dietas

Ingrediente	\$/kg	Proveedor	Ubicación
Aceite de pescado	3.0	Harinas Coppel	Mazatlán, Sin
Aceite de soya	4.0	Tienda departamental	Mazatlán, Sin
Alginato	100	Proveedor Científico	Mazatlán, Sin
Almidón	22.28	Tienda departament.	Mazatlán, Sin
Harina 2o. Extr.	5.79	-	-
Harina de pescado	4.0	Harinas Coppel	Mazatlán, Sin
Maíz	2.0	Insumos Agrícolas	Mazatlán, Sin
Pasta de soya	3.50	Insumos Agrícolas	Mazatlán, Sin
Premix vitaminas	159.80	Purina	México D.F
Premix. Minerales	140.06	Purina	México D.F
Vitamina C	155.10	Purina	México D.F

Costo en pesos m/n.

Apéndice 10

Contenido de Nutrimientos y Oxido de Cromo en Heces

	D-Test	D-20	D-30	D-40	D-100
Proteínas	11.18 ±0.1	11.98 ±0.1	11.57 ±0.0	9.26 ±0.1	9.22 ±0.2
Lípidos	1.08 ±0.1	1.95 ±0.1	2.99 ±0.0	2.40 ±0.2	0.50 ±0.1
Cenizas	41.29 ±0.2	27.64 ±0.0	26.86 ±0.0	32.01 ±0.1	34.76 ±0.0
Cr ₂ O ₃	3.30 ±0.2	2.61 ±0.1	2.05 ±0.1	2.08 ±0.1	2.01 ±0.1
Fibra cruda y Carbohidratos	43.15 ±0.1	55.82 ±0.1	56.53 ±0.0	54.25 ±0.1	53.51 ±0.1

Datos en % peso seco