

Análisis nutrimental, microbiológico y digestibilidad en un alimento para tilapia gris

Jorge Mendiola-Campuzano*, Fernando Vera-Quiñones, Alejandro Alpuche-Palma, Jesús Ramos-Ferrer y Víctor Barceló-Gutiérrez

División Académica Multidisciplinaria de los Ríos
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
Tenosique de Pino Suárez, Tab. México

jorge.mendiola*, fernando.vera, alejandro.alpuche, jesus.ramos, victor.barcelo`]@ujat.mx

Abstract—A food was elaborated for gray tilapia *Oreochromis niloticus* with alternate proteins. As well, was evaluated its content of crude protein, ethereal extract, total ash, crude fiber, total moisture, dry matter and nitrogen-free extract, based on the established for the Association of Official Agricultural Chemists International (AOAC). Likewise, it was determined its microbiological innocuousness in mesophilic bacteria, total coliforms, fungi and yeasts, following the Official Mexican Norms. Also, its *in vitro* digestibility was analyzed and compared with a commercial feed. The results showed that both foods have acceptable nutritional content, their food safety is optimal and they have high digestibility (more than 80%). It was concluded that the proposed food is an alternative for its use in the crop of *Oreochromis niloticus*.

Keyword— Evaluation, food, experimental, gray tilapia.

Resumen— Se elaboró un alimento para tilapia gris *Oreochromis niloticus* con fuentes proteicas alternas. Así mismo, se determinó su contenido de proteína cruda, extracto etéreo, cenizas totales, fibra cruda, humedad total, materia seca y extracto libre de nitrógeno, en base a lo dispuesto por la Asociación Oficial de Químicos Agrícolas Internacional (AOAC), así como su inocuidad microbiológica en bacterias mesofílicas, coliformes totales, hongos y levaduras, siguiendo las Normas Oficiales Mexicanas. De igual forma, se evaluó su digestibilidad *in vitro* y fue comparado con un alimento comercial. Los resultados presentaron que ambos alimentos cuentan con aceptable contenido nutrimental, su inocuidad alimenticia es óptima y presentan alta digestibilidad (más del 80%). Se concluyó que el alimento propuesto es una alternativa para su empleo en el cultivo de *Oreochromis niloticus*.

Palabras claves—Evaluación, alimento, experimental, tilapia gris.

I. INTRODUCCIÓN

El posicionamiento actual de la acuicultura como fuente de proteína animal para consumo humano es un hecho innegable e importante. Los cultivos piscícolas en las últimas décadas han experimentado un constante crecimiento anual y más elevado que cualquier otra industria productora animal. Así, esta actividad presenta una tasa de crecimiento promedio anual de 6.3%, pasando de 34.6 millones de toneladas producidas en 2001 a 59.9 millones para el 2010, representando el 40% del total de productos pesqueros [1]. En México, la producción acuícola tiene una tendencia similar, ya que el crecimiento de la producción pesquera nacional se ha asociado a una mayor producción por cultivo en los últimos años y que en 2011, representó el 15.83% del total [2].

De esta forma, a nivel mundial la acuicultura representa una actividad invaluable para la obtención de productos acuáticos de calidad y su crecimiento industrial se debe al desarrollo de diversas investigaciones, así como la mejora de las técnicas de cultivo y de producción, lo cual ha hecho posible determinar los requerimientos nutrimentales y ambientales de las especies cultivadas. Por ello, la acuicultura es una verdadera actividad en expansión, que utiliza procesos productivos cada vez más perfeccionados y tecnificados [3].

Para entender lo anterior, solo basta con observar la producción acuícola a nivel mundial, que para el 2015 fue de 51.9 Toneladas Métricas de peces (68%), 16.4 Toneladas Métricas de moluscos (21%), 7.4 Toneladas Métricas de crustáceos (10%) y 0.9 Toneladas Métricas en otras especies de animales acuáticos (1%), siendo la piscicultura de aguas epicontinentales, el sector más importante en la producción acuícola de organismos comestibles [4].

De este modo, la acuicultura es una actividad con notable crecimiento económico y social; sin embargo, para lograr una producción exitosa, es de suma importancia eficientar el manejo de cada una de las áreas productivas que la integran, ya que al ser una actividad capaz de generar alimentos para el consumo humano y animal, la acuicultura debe ampliar su desarrollo productivo y tecnológico; por ende, el sector acuícola requiere de estrategias para su sustentabilidad y desarrollo [5, 6].

Gran parte del crecimiento acuícola se debe a la implementación de prácticas intensivas de cultivo, acompañado por un aumento en la demanda de alimentos balanceados [7]. No obstante, una nutrición adecuada es crítica no sólo para lograr niveles óptimos en el crecimiento de los organismos, sino que incide en la salud de los mismos [8].

Por otra parte, en la formulación de alimentos se debe considerar en todo momento, que deben contar con la cantidad de nutrimentos necesarios para satisfacer los requerimientos de la especie; además, el procesamiento también determina algunas características físicas como la estabilidad en el agua, forma y tamaño e influye en las características químicas del alimento, así como en la atractabilidad, palatabilidad y disponibilidad de nutrimentos. Las proteínas son el principal nutrimento en los organismos acuáticos, pues se emplean como fuente de energía, para su crecimiento y desarrollo, lo que repercute en que sea el componente más caro en términos económicos, ambientales y metabólicos [9, 10, 11].

Debido a ello, la alimentación acuícola es una limitante en la producción, ya que representa ser uno de los costos más notorios, debido a que en su elaboración se incluye la harina de pescado como fuente proteica principal, debido a su contenido de aminoácidos esenciales, vitaminas, minerales, alta palatabilidad, digestibilidad y aporte energético, por lo que es imprescindible como materia prima en la industria; no obstante, su elevado costo y demanda se va acrecentando, repercutiendo en su costo, el cual suele situarse entre el 40% al 60% de los costos totales de producción [12, 13, 14, 15, 16, 17, 18].

De esta manera, es de suma importancia identificar fuentes proteicas alternas que permitan cubrir las necesidades nutrimentales de los organismos bajo cultivo, así como el desarrollo de tecnologías accesibles para su procesamiento y sustentabilidad [19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26].

Muchas especies acuícolas tienen un considerable crecimiento productivo y se observa un aumento en su comercialización; entre las mayores tasas de crecimiento de exportación, se sitúan los peces gato *Clarias* spp. y las tilapias *Oreochromis* spp. [27]. La tilapia ocupa el tercer lugar de importación en los Estados Unidos como producto acuático, cuyo consumo total en el 2001 fue de 56'337,449 Toneladas [28]. La tilapia en México, representa ser una especie de gran oferta y demanda, siendo *Oreochromis niloticus* la más comercializada; sin embargo, su producción es incipiente comparado con Brasil, Colombia, Ecuador, Costa Rica y Honduras [29, 30].

Particularmente, las tilapias son especies de aguas epicontinentales, originarias de África que representan una importante fuente de alimento y proteína, sobre todo en los países del tercer mundo [31, 32, 33]. En la piscicultura, el cultivo de tilapia ha adquirido mayor importancia en los últimos años [34], específicamente *Oreochromis niloticus*, la cual representa en la actualidad el 70% del total de tilapias cultivadas en el mundo [35], debido a la capacidad de la especie para utilizar los nutrimentos de diversas fuentes alimenticias, aunado a la creciente demanda en mercados nacionales e internacionales, por lo que es una especie de gran relevancia para la acuicultura [36].

Así, *Oreochromis niloticus* es un pez que ha sido introducido en todas las regiones del mundo y se ha proliferado su cultivo, debido a las características biológicas como su resistencia a enfermedades, su adaptación a medios artificiales, su fácil reproducción y alta adaptabilidad a diversos ambientes, alimentos y calidad de agua, todo ello le ha hecho ser una de las especies más cultivadas y populares en la acuicultura [37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46].

Con respecto a los alimentos balanceados para tilapia, se ha estudiado el efecto de adición de fuentes proteicas alternas, con la finalidad de sustituir de manera parcial o total a la harina de pescado, utilizando el aprovechamiento de subproductos animales o vegetales como: hidrolizados, ensilados y harinas [47, 48, 49, 18, 50, 51, 52].

Por todo lo anterior, en la presente investigación se formuló y elaboró un alimento (T_E), empleando catorce materias primas no convencionales y se analizó su contenido nutrimental de acuerdo con la Association of Official Agricultural Chemists International (AOAC), para determinar el contenido de proteína cruda (PC), fibra cruda (FC), cenizas totales (CT), extracto etéreo (EE), humedad total (HT), extracto libre de nitrógeno (ELN) y materia seca (MS); además, se analizó su inocuidad microbiológica a través del conteo y presencia de bacterias mesófilas aeróbicas, coliformes totales en placa, así como hongos y levaduras en base a las Normas Oficiales Mexicanas (NOM). Así mismo, se comprobó la digestibilidad *in vitro* y se compararon todos los análisis, con el alimento comercial Nutripec-Purina[®], el cual representó el tratamiento control (T_C).

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se efectuó en las instalaciones del Instituto Tecnológico de Veracruz (ITV), el Instituto Tecnológico de Villahermosa (ITVH) y la División Académica Multidisciplinaria de los Ríos de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (DAMR-UJAT).

Se emplearon catorce materias primas, siete de las cuales fueron procesadas en harinas: lombriz de tierra *Eisenia foetida* de acuerdo con lo recomendado por Vielma, Ovalle, León y Medina [53]; chaya *Cnidoscolus chayamansa*, siguiendo la técnica de Rocha [54]; frijol pelón *Vigna unguiculata*, semilla de tamarindo *Tamarindus indica*, lenteja *Lens culinaris*, haba *Vicia faba*, acorde con lo recomendado por Espinoza, Centurión, Solano y García [55] y plátano cuadrado *Musa balbisiana* mediante el método propuesto por Murillo [56]. Cuatro harinas fueron adquiridas comercialmente en diversos establecimientos del estado de Tabasco: harina de maíz *Zea mays*, Maseca[®]; harina de trigo *Triticum aestivum*, San Blas[®]; harina de arroz *Oryza sativa*, Tres Estrellas[®] y albúmina de huevo Pro-Winner[®].

Además, se adicionaron tres ingredientes húmedos: hígado de res *Bos* spp., papaya *Carica papaya* var. *maradol* y mango *Mangifera indica* var. *manila*; para ello, la papaya y el mango fueron adquiridos en estado fisiológico de madurez de consumo y se licuaron por separado con una licuadora industrial Tapisa[®] modelo T2L. El hígado de res fue cocido en agua por espacio de 15 min, luego se colocó en una licuadora industrial Tapisa[®] modelo T2L. Una vez obtenido cada uno de los ingredientes húmedos, cada uno de ellos se filtró, con la finalidad de obtener mayor cantidad de partículas finas.

Una vez obtenidos cada uno de los ingredientes, se formuló el alimento experimental mediante el método de cuadrado compuesto de Pearson [57, 58, 59], mismo que se calculó para la obtención de un alimento con 30% de contenido proteico, ya que este nutrimento es el de mayor importancia en la alimentación de peces por su incidencia en su estado de salud, crecimiento y desarrollo. Las cantidades empleada de cada uno de los ingredientes se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Cantidades empleadas de cada ingrediente en la elaboración de T_E.

| Ingredientes de T _E | Cantidades en g |
|------------------------------------|-----------------|
| 1. Papaya maradol. | 109.00 |
| 2. Mango manila. | 109.00 |
| 3. Harina de lombriz de tierra. | 106.80 |
| 4. Harina de albúmina de huevo. | 105.90 |
| 5. Harina de chaya. | 104.70 |
| 6. Harina de lenteja. | 83.60 |
| 7. Harina de frijol pelón. | 78.20 |
| 8. Hígado de res. | 73.50 |
| 9. Harina de semilla de tamarindo. | 72.30 |
| 10. Harina de maíz. | 60.70 |
| 11. Harina de trigo. | 39.20 |
| 12. Harina de arroz. | 28.30 |
| 13. Harina de haba. | 20.30 |
| 14. Harina de plátano cuadrado. | 8.50 |

Se elaboraron 5 kg del alimento experimental (T_E), para lo cual, se desinfectó el área de trabajo con una solución de cloro al 10% y se lavaron todos los utensilios (cuchillos de acero inoxidable, tabla, cucharas de madera y recipientes tipo bold de acero inoxidable). Se pesaron por separado cada uno de los ingredientes en una balanza Tecno Cor[®] modelo PPN-30 y se efectuó una premezcla de las harinas por 15 min; los tres ingredientes húmedos, fueron premezclados por espacio de 10 min. La premezcla de los ingredientes se hizo con una amasadora eléctrica Bathammex[®] modelo PAT178716.

Posteriormente, se mezclaron los catorce ingredientes en la misma amasadora, hasta obtener como producto una masa maleable; durante este proceso, se adicionaron los siguientes aditivos: 0.5 g kg⁻¹ de benzoato de sodio grado alimenticio como conservador; 2.0 g kg⁻¹ de premezcla multivitamínica Strepen[®]; 0.5 g kg⁻¹ de ácido cítrico grado alimenticio como antioxidante; 3.0 g kg⁻¹ de levadura Tradi-Pan[®], para obtener mayor maleabilidad en la masa y 2.0 g kg⁻¹ de lecitina de soya Gelcaps[®], con el fin de que ésta aporte ácidos grasos poli-insaturados y se obtenga mayor compactación de los ingredientes.

Enseguida, se introdujo la masa en un molino eléctrico de cárnicos Moulinex[®] HV8 modelo DKA111 y se colocó el estruzado en cinco charolas de acero inoxidable. A continuación, se colocaron en un secador de charolas Apex[®] serie A39854-14 tipo SSE17M a 60°C durante cuatro h. Al término del secado, se procedió a cortar el estruzado en partículas de aproximadamente 2.0 mm, empleando un molino manual Estrella[®] modelo T-14-050. Por último, se envasó el alimento en un recipiente de poliuretano con tapa de cierre hermético con capacidad de 10 kg, se etiquetó y conservó en un congelador horizontal Frigidaire[®] modelo FFC0923DW.

Una vez elaborado el alimento experimental (T_E), se adquirió en una tienda comercial de alimentos balanceados de Tenosique de Pino Suárez, Tabasco, 5 kg del alimento comercial Nutripec Purina[®] (T_C) para etapa de cría de tilapia, mismo que fue empleado para la presente investigación como tratamiento control. Al ser adquirido, se envasó y conservó en un congelador horizontal Frigidaire[®] modelo FFC0923DW.

Después, se llevaron a cabo en cada uno de los alimentos, los análisis proximales básicos establecidos oficialmente [60]:

1. Humedad total. Método de eliminación térmica de agua (AOAC 930.15), con una estufa Gallenhamp[®] a 110°C durante 3 h, hasta obtener peso constante.
2. Cenizas totales. Método de incineración (AOAC 942.05), mediante una mufla Phoenix[®] tipo MRB4-1200-017 serie 152-F-53. La ignición se efectuó a 550°C por 2.5 h.

3. Extracto etéreo. Método Soxhlet (AOAC 920.39), empleando un equipo de extracción etérea Soxtec System Tecator® modelo 1043, utilizando éter de petróleo para el lavado de las muestras.
4. Proteína cruda. Método Kjeldahl (AOAC 981.10), con factor de conversión de 6.25, usando un digestor Tecator® modelo 1007. Se efectuó la destilación con un equipo convencional de destilación y se tituló cada una de las muestras con una solución de HCl al 0.01 N, mediante una bureta automática.
5. Fibra cruda. Método de pérdida de fibra por ignición del residuo seco después de una digestión ácido-básica (AOAC 962.09).
6. Extracto libre de nitrógeno (ELN): Se le restó al 100%, el contenido nutrimental en cada uno de los alimentos (T_C y T_E).
7. Materia seca. Se sumaron los resultados de proteína cruda, extracto etéreo, fibra cruda y cenizas totales de cada uno de los alimentos.

Cada uno de los análisis se realizaron con tres repeticiones y además, hubo una duplicidad del experimento. Los resultados se analizaron mediante una prueba de comparación de medias *t de student* a un α de 0.05 con el software JMP® versión 6.0, para conocer si se presentaban diferencias significativas entre los alimentos evaluados en esta investigación.

Para asegurar la inocuidad de los alimentos (T_E y T_C), se efectuaron análisis microbiológicos mediante los métodos establecidos por las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), para cuantificar bacterias mesofílicas aeróbicas [61], mohos y levaduras [62] y coliformes totales en placas [63]. Estos análisis se aplicaron para cumplir con lo establecido en la regulación de los alimentos balanceados, ingredientes y productos alimenticios no convencionales para su elaboración, utilizados en la acuicultura para su comercialización y consumo en el país [64]. Los estudios microbiológicos se realizaron con duplicidad para tener una mayor certeza en los resultados.

La digestibilidad *in vitro*, se realizó con el método reconocido por la AOAC [65]. Se pesaron 3 g de muestra de cada tratamiento (T_C y T_E) y se colocaron en una estufa marca Apsa® modelo 6I110 a 70°C durante 12 h. Luego, se pesaron tres muestras secas (0.1971 g para T_C y 0.1985 g para T_E) y se colocaron por separado en tres vasos de precipitados de 200 mL, las cuales fueron hidrolizadas durante 15 min a 37°C. Posteriormente, se tomó el pH en cada muestra con un pechímetro Oakton® serie 92581 y se ajustó con NaOH al 0.1 N, para ajustar el pH de cada muestra a 8. Luego, se añadió una mezcla enzimática con 1.6 mg de tripsina (13,500 unidades mg^{-1} sólido), 3.1 mg de quimotripsina (tipo 1-3, 58.3 unidades mg^{-1} sólido) y 1.3 mg de proteasa mL^{-1} (TDF P3910), de la casa comercial Sigma®. Se dejó en una incubadora con agitación Yamato® modelo BT25, por espacio de 10 min y se tomó la lectura del pH en cada muestra. Finalmente, se anotó el pH de cada muestra y se calculó la digestibilidad mediante la fórmula:

$$\%D=210.464-(18.103*\text{pH después de la incubación}) \quad (1)$$



Figura 1. Análisis proximales (A), microbiológicos (B) y digestibilidad *in vitro* (C) realizados.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez realizado todo lo anteriormente descrito, los resultados obtenidos en cada uno de los análisis fueron comparados entre sí. En lo referente al contenido nutricional que presentó cada uno de los alimentos (Tabla 2), se observaron diferencias estadísticas significativas entre ellos, de acuerdo con la *t de student*.

Tabla 2. Composición nutricional de T_C y T_E obtenidos en base húmeda (BH).

| Análisis Bromatológico | T _C (%) | T _E (%) |
|------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Proteína Cruda | 33.89 ± 0.45 ^a | 33.37 ± 0.30 ^b |
| Extracto Etéreo | 04.22 ± 0.11 ^a | 03.63 ± 0.10 ^b |
| Fibra Cruda | 32.30 ± 0.12 ^b | 33.13 ± 0.06 ^a |
| Cenizas Totales | 06.18 ± 0.01 ^a | 04.85 ± 0.06 ^b |
| Humedad | 06.93 ± 0.03 ^b | 07.05 ± 0.06 ^a |
| ELN | 16.45 ± 0.45 ^b | 17.95 ± 0.33 ^a |
| Materia seca | 76.59 ± 0.24 ^a | 74.98 ± 0.53 ^b |

* Letras diferentes indican diferencias significativa ($P < 0.05$).

Con respecto a los análisis microbiológicos (Tabla 3), los alimentos presentaron una aceptable inocuidad microbiológica y no representan ningún riesgo para su consumo.

Tabla 3. Análisis microbiológicos de los tratamientos T_C y T_E.

| Tratamiento | Bacterias Mesofilicas | Hongos y Levaduras | Coliformes Totales |
|----------------|---------------------------|--------------------|--------------------|
| T _C | 3.0X10 ³ UFC/G | 500 UFC/g | Negativo |
| T _E | 10X10 ³ UFC/G | 100 UFC/g | Negativo |

En cuanto a los resultados obtenidos en la determinación de la digestibilidad *in vitro*, T_E obtuvo un 86.45% y T_C un valor de 83.92%, con una diferencia a favor del alimento experimental. En ambos alimentos, se evidenció que cuentan con una adecuada digestibilidad, mismo que se traduce en un mayor crecimiento y desarrollo de los organismos alimentados, ya que se mejora el aprovechamiento de los nutrimentos presentes en cada uno de ellos.

En base a los resultados obtenidos en el presente trabajo, se puede discutir que:

La elección de los ingredientes empleados para el alimento experimental (*Eisenia foetida*, *Cnisdoscolus chayamansa*, *Lens culinaris*, *Vigna unguiculata*, semilla de *Tamarindus indica*, *Vicia faba*, *Musa balbisiana*, *Zea mays*, *Triticum aestivum*, *Oryza sativa*, albúmina de huevo, hígado de *Boss spp.*, *Carica papaya var. maradol* y *Mangifera indica var. manila*) se hizo debido a la disponibilidad con que se cuenta, su contenido nutrimental y para contar con una mayor variabilidad nutrimental. De acuerdo con la literatura, la selección apropiada de ingredientes es primordial en la formulación y elaboración de alimentos destinados a especies piscícolas para lograr mejorar su nutrición, crecimiento, desarrollo y su estado de salud bajo cultivo [66, 67, 19, 20].

De acuerdo con los análisis proximales, ambos tratamientos cuentan con los requerimientos nutrimentales recomendados para la cría de *Oreochromis niloticus*, ya que éstas necesitan un alimento con un mínimo de 30% de proteínas y de 25 a 30% de hidratos de carbono, aunque difirieron con lo recomendado en lípidos, lo cuales deben oscilar entre el 6 y el 8% [68, 69, 70, 71, 72], ambos tratamientos no contaron con este porcentaje, ya que permanecieron entre 3% y 4%.

Es importante recalcar que los alimentos evaluados cubren las necesidades proteicas de la especie (T_C con 33.89% y T_E con 33.37%), concordando con otros autores [69], quienes señalan que los alimentos comerciales contienen porcentajes de proteína cruda entre 26 a 30%; a su vez, se ha comprobado que niveles proteicos superiores a 40%, no otorgan ninguna ventaja específica en términos de crecimiento [73]. Además, otros autores han observado que al alimentar a tilapias con niveles de proteína de 32 y 40% crecen más rápido en comparación con alimentos de 10, 17 y 25% de proteína bruta [74]. Aunado a esto, es importante mencionar que los alimentos deben contar con un balance nutrimental, tener buena apariencia, palatabilidad y estabilidad en el agua; por ello, se requieren mezcla de ingredientes de excelente calidad [75].

La inclusión de una premezcla de vitaminas en T_E fue primordial para compensar y balancear estos micronutrientes, ya que lo recomendable es que las vitaminas se suministren para satisfacer los requerimientos de la especie [76]. De igual forma, la premezcla es adicionada en exceso para amortiguar su pérdida por el procesamiento, almacenaje y lixiviación [19].

Por otra parte, los tratamientos T_E y T_C presentaron una carga microbiana dentro de los valores permitidos por la NOM-021-PESC-1994, la cual establece que los límites bacteriológicos para alimentos acuícolas, sus ingredientes y alimentos no convencionales debe ser de 10,000 bacterias mesofilicas g⁻¹ y libre de coliformes totales. Por otra parte, es necesario que en climas cálidos con elevada humedad relativa, se realice el análisis de hongos y levaduras en los alimentos, debido a su proliferación [66]; por

ello, se evaluó la presencia de hongos y levaduras en ambos tratamientos, mismos que se presentaron en niveles bajos. Conjuntamente, el *Códex Alimentarius* [77] establece que en la evaluación de la inocuidad de alimentos destinados para animales, se debe realizar siguiendo los métodos establecidos para la evaluación bromatológica y microbiológica, lo cual se cumplió en el presente trabajo, ya que en ambos tratamientos siguieron los métodos establecidos por la AOAC y las NOM.

Por último, la digestibilidad en ambos tratamientos fue adecuada para la asimilación de nutrientes. Sin embargo, se obtuvo mayor digestibilidad en T_E (2.53% de diferencia con T_C); sin embargo, ambos alimentos presentan una aceptable digestibilidad; lo cual es importante, ya que cuando se presenta mayor digestibilidad, *Oreochromis niloticus* utiliza de manera más eficiente la energía y proteína presente en el alimento [78]. También se ha determinado que la digestibilidad debe considerarse en las formulaciones para evidenciar la obtención de alimentos balanceados en sus nutrientes [79, 80, 81]. Otro punto importante a discutir es que la digestibilidad en T_E fue mayor pese a que la mayoría de sus componentes fueron de origen vegetal, lo cual difiere con otros autores [15], quienes al comparar la digestibilidad de piensos formulados a base de ingredientes de origen vegetal, observaron que la digestibilidad disminuye cuando aumenta la inclusión de ingredientes de origen vegetal.

IV. CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos, se concluyó que el alimento experimental puede ser una alternativa viable para la alimentación de crías de *Oreochromis niloticus*, ya que cubre las necesidades nutrimentales, presenta buena digestibilidad e inocuidad microbiológica, lo que permite que la especie pueda contar con un alimento que cubra sus necesidades nutrimentales, sea inocuo y presente una buena digestibilidad para su aprovechamiento en su crecimiento y desarrollo; no obstante, es necesario evaluar su efecto biológico en el crecimiento y desarrollo de la especie para conocer sus bondades en este aspecto. También, es importante determinar los costos que se generan para su elaboración para conocer su viabilidad en términos económicos.

REFERENCIAS

- [1] F.A.O. (2012). El estado mundial de la pesca y la acuicultura. FAO-ONU: Roma, Italia.
- [2] CONAPESCA-SAGARPA. (2011). Anuario estadístico de pesca 2008. CONAPESCA: Ciudad de México, México.
- [3] Rueda, G.F.M. (2011). Breve historia de una gran desconocida: La acuicultura. *Revista Eubacteria*, 26, 1-2.
- [4] Asociación de Ingenieros Navales y Oceánicos de España. (2018). Acuicultura: Top 10 de países de mayor producción acuícola. *Revista Ingeniería Naval*, 1,1-5.
- [5] Arroyo, D.M. (2008). Aprovechamiento de la harina de *Plecostomus* spp. como ingrediente en alimento para el crecimiento de tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Tesis de Posgrado*. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional e Instituto Politécnico Nacional. Jiquilpan, Michoacán; México.
- [6] Martínez, D.J. (2008). Desarrollo sustentable y acuicultura de pequeña escala en Chile: Evaluación ambiental y consideraciones para su administración. *Tesis de Magíster*. Universidad Católica de Chile.
- [7] Gatlin, D.M., Barrows, F.T., Brown, P., Dabrowski, K., Gaylord, T.G., Hardy, R.W., Herman, E., Hu, G., Krodahi, Á., Nelson, R., Overturf, K., Rust, M., Sealey, W., Skonberg, D., Souza, E.J., Stone, D., Wilson, R. & Wurtele, E. (2007). Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: A review. *Aquaculture Research*, 38, 551-579.

- [8] Sealey, W.M. & Gatlin, D.M. (2001). Overview of nutritional strategies affecting the health of marine fish. In: Nutrition and Fish Health (Lim C. and Webster C.D., editors). The Haworth Press Inc.: Binghamton, New York, U.S.A.
- [9] Lawrence, A.L. (1998). Feed quality and feed management standards for environmentally sound aquaculture. Paper presented at the 27th Annual Conference of the World Aquaculture Society. Bangkok, Thailand. No. 2. P. 1-3.
- [10] Moncada, P.L.F. (1998). Puntos de control en la fabricación de alimentos balanceados para acuicultura. *Memorias del Encuentro en Avances en Nutrición Acuícola III*. UANL. San Nicolás de los Garza, Nuevo León; México. P. 543-555.
- [11] Campabadal, C. y Celis, A. (1998). Factores que afectan la calidad de los alimentos acuícolas. *Memorias del Encuentro en Avances en Nutrición Acuícola III*. UANL. San Nicolás de los Garza, Nuevo León; México. P. 523-540.
- [12] Akiyama, M.D. (1998). Utilización de la harina de soya en alimentos para peces. Asociación Americana de Soya (ASA). *Informe Técnico*. Singapur, Malasia.
- [13] Jover, C.M., Pérez, I.L., Zaragoza, L. y Fernández, C.J. (1998). Crecimiento de tilapias (*Oreochromis niloticus*) con piensos extrusionados de diferente nivel proteico. *Archivos de Zootecnia*. Universidad Politécnica. Valencia, España. 47, 11-20.
- [14] Granados, A.I., Garduño, M. y Muñoz, C. (2002). Comparación de crecimiento y evaluación económica entre el genotipo de tilapia gris (*Oreochromis niloticus*) y el híbrido rojo (*Oreochromis mossambicus* x *O. niloticus*). Consultado en: www.ecologia.edu.mx/sigolfo/pagina_n2.2002. Fecha de consulta: 06/03/2018.
- [15] Tomás, A., Martínez, L.I.S., López, J., Moñino, A.V. y Jover, C.M. (2002). Determinación de la digestibilidad de piensos extrusionados según el nivel y fuente proteica en la tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Memorias del 1er. Congreso Iberoamericano Virtual de Acuicultura (CIVA)*. Zaragoza, España. P. 963-968.
- [16] Castro, R.R., Hernández, G.J.P. y Aguilar, B.G. (2004). Evaluación del crecimiento de alevines de tres especies de Tilapia (*Oreochromis* spp.) en aguas duras, en la región de la Cañada, Oaxaca; México. *Revista AquaTIC*, 20, 38-43.
- [17] Jindal, M., Garg, S.K., Yadava, N.K. & Gupta, R.K. (2007). Effect of replacement of fishmeal with processed soybean on growth performance and nutrient retention in *Channa punctatus* (Bloch.) fingerlings. *Livestock Research for Rural Development*, 19(165), 1-12.
- [18] Mendiola, C.J.V.H., Alpuche, P.A. y Cámara, C.P.A. (2011). Determinación del nivel proteico óptimo para la alimentación de crías de *Petenia splendida*. *Memorias del I Simposium Internacional de Investigación Multidisciplinaria y II Encuentro Nacional de Investigación Científica*. Tenosique, Tabasco; México. P. 116-120.
- [19] Martínez, P.C.A., Chávez, S.M.C., Olvera, N.M.A. y Abdó, de la P.M.I. (2002). Fuentes alternativas de proteínas vegetales como sustitutos de la harina de pescado para la alimentación en acuicultura. *Memorias del Encuentro en Avances en Nutrición Acuícola III*. UANL. San Nicolás de los Garza, Nuevo León; México. P. 279-323.
- [20] Olvera, N.M.A. (2002). Nutrición y alimentación de tilapia. 2do. Curso LANCE en Nutrición Acuícola. 12 al 17 de mayo del 2002. Chipinque, Nuevo León; México.
- [21] Piedecausa, M.A., Mazón, M.J., García, G.B. & Hernández, M.D. (2006). Effects of total replacement of fish oil by vegetable oils in the diets of sharp snout sea bream (*Diplodus puntazzo*). *Aquaculture*, 263, 211-219.

- [22] Zhao, M., Xie, S., Zhe, X., Yang, Y., Gan, L. & Song, L. (2006). Effect of inclusion of blue-green algae meal on growth and accumulation of microcystins in gibel carp (*Carassius auratus gibelio*). *Journal of Applied Ichthyology*, 22, 72-78.
- [23] Liu, S., Zhang, X., Zang, X., Liu, B., Arunakumara, K.K.I.U., Xu, D. & Zhang, X. (2008). Growth, feed efficiency, body muscle composition, and histology of flounder (*Paralichthys olivaceus*) fed GH transgenic *Synechocystis*. *Aquaculture*, 277, 78-82.
- [24] Ergün, S., Soyuturk, M., Guroy, B., Guroy, D. & Merrifield, D. (2009). Influence of *Ulva* meal on growth, feed utilization and body composition of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) at two levels of dietary lipid. *Aquaculture International*, 17, 355-361.
- [25] Jackson, A. (2009). Fish in - fish out ratios explained. *Aquaculture Europe*, 34, 5-10.
- [26] Silva, F.C.P., Nicoli, J.R., Zambonino, I.J.L., Le, G.M.M., Kaushik, S. & Gatesoupe, F.G. (2010). Influence of partial substitution of dietary fish meal on the activity of digestive enzymes in the intestinal brush border membrane of gilthead sea bream, *Sparus aurata* and goldfish, *Carassius auratus*. *Aquaculture*, 306(1-4), 233-237.
- [27] F.A.O. (2008). El estado mundial de la pesca y la acuicultura. FAO-ONU: Roma, Italia.
- [28] Castillo, C.L.F. (2006). Tilapia roja 2006: Una evolución de 22 años, de la incertidumbre al éxito. Consultoría Internacional para el Desarrollo de la Tilapia Roja: Cali, Valle; Colombia.
- [29] Alamilla, T.H. (2002). Cultivo de tilapia. Zoe-Tecno-Campo: Bogotá Colombia.
- [30] Dirección Nacional de Acuicultura del Perú (2004). Cultivo de tilapia. Ministerio de la Producción, el Viceministerio de Pesquería y la DNA: Lima, Perú.
- [31] Ridha, M.T. (2004). Observations on the reproductive performance of three mouth brooding tilapia species in low-salinity underground water. *Aquaculture Research*, 35, 1031-1038.
- [32] Gaye, S.J., Focken, U., Abel, H.R. & Becker, K. (2004). Individual protein balance strongly influences $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ values in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Naturwissenschaften*, 91, 90-93.
- [33] Zhou, Q. & Yue, Y. (2008). Effect of replacing soybean meal with cottonseed meal on growth, feed utilization and hematological values for juvenile hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* x *O. aureus*. *Aquaculture*, 284, 185-189.
- [34] Atwood, H.L., Tomasso, J.R. & Glatin, D.M. (2003). Low-temperature tolerance of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*: Effects of environmental and dietary factors. *Aquaculture Research*, 34, 241-251.
- [35] Fitzsimmons, K. (2004). Development of new products and markets for the global tilapia trade. *6th International Symposium on Tilapia in Aquaculture*. Philippine International Convention Center Roxas Boulevard, Manila. Philippines. P. 624-633.
- [36] Rivas, V.M., Miranda, B.A. y Sandoval, M.M.I. (2010). Avances en la evaluación de ingredientes para tilapia (*Oreochromis mossambicus* x *Oreochromis niloticus*) cultivada en agua de mar. *Memorias del X Simposium Internacional de Nutrición Acuicola*. San Nicolás de los Garza, Nuevo León; México. P. 467-484.
- [37] Barcellos, L.J.G., Nicolaiewsky, S., de Souza, S.M.G. & Lulhier, F. (1999). The effects of stocking density and social interaction on acute stress response in Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) fingerlings. *Aquaculture Research*, 30, 887-892.
- [38] Álvarez, M.J., Hernández, J.G., Rovero, R., Tablante, A. y Rangel, L. (2000). Alimentación de tilapia con raciones parciales de cáscara de naranja. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 3(1), 29-33.

- [39] Silva, P.C., Souza, V.L., Padua, D.M., Dalacorte, P.C. & Goncalves, D.C. (2000). Effects of stocking density on growth and fillet composition of tetra hybrid red tilapia, Israeli strain. In: *Tilapia Aquaculture in the 21st Century. Proceedings from 5th International Symposium on Tilapia Aquaculture* (edited by K. Fitzsimmons & J.C. Filho). Rio de Janeiro, Brazil, 3-7 September 2000. P. 341-345.
- [40] Sirol, R.N., Andrade, D.R. & Salaro, A.L. (2000). Growth and body composition of red tilapia fingerlings (*Oreochromis niloticus* x *O. aureus*) submitted to different feeding levels. In: *Tilapia Aquaculture in the 21st Century. Proceedings from 5th International Symposium on Tilapia Aquaculture* (edited by K. Fitzsimmons and J.C. Filho). Rio de Janeiro, Brazil, 3-7 September 2000. P. 382-389.
- [41] El-Sayed, A.M. (2002). Effects of stocking density and feeding levels on growth and feed efficiency of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) fry. *Aquaculture Research*, 33, 621-626.
- [42] Abdelghany, A.E. (2003). Partial and complete replacement of fishmeal with gambusia meal in diets of red tilapia (*Oreochromis niloticus* x *O. mossambicus*). *Aquaculture Nutrition*, 9,145-151.
- [43] Wu, G.S., Chung, Y.M., Lin, W.Y., Chen, S.Y. & Chen, H.H. (2004). Effect of substituting de-hulled or fermented soybean meal for fishmeal in diets on growth of hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* x *O. aureus*. *Journal Fisheries Society*, 30, 291-297.
- [44] Fasakin, E.A., Serwatab, R.D. & Davies, S.J. (2005). Comparative utilization of rendered animal derived products with or without composite mixture of soybean meal in hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* x *Oreochromis mossambicus*) diets. *Aquaculture*, 249,329-338.
- [45] Shelby, R.A., Lim C.E., Aksoy, M. & Delaney, M.A. (2006). Effects of probiotic feed supplements on disease resistance and immune response of young Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Journal of Applied Aquaculture*, 18, 23-34.
- [46] Cantor, A.F. (2007). Manual de producción de tilapia. Secretaría de Desarrollo Rural del Estado de Puebla: Puebla, México.
- [47] Fagbenro, O.A. & Jauncey, K. (1995). Water stability, nutrient leaching and nutritional properties of moist fermented fish silage diets. *Aquaculture Engineering*, 14,143-153.
- [48] El-Sayed, A.M. (1998). Total replacement of fish meal with animal protein sources in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.), feeds. *Aquaculture Research*, 29,275-280.
- [49] Köprücü, K. & Özdemir, Y. (2005). Apparent digestibility of selected feed ingredients for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 250,308-316.
- [50] Hernández, O.M., Urrieta, S.J.M. y Mendiola, C.J.V.H. (2011). Evaluación de tres ensilados químicos elaborados con pez diablo (*Plecostomus* spp.) para su empleo en acuicultura. *Memorias del I Simposium Internacional de Investigación Multidisciplinaria y II Encuentro Nacional de Investigación Científica*. Tenosique, Tabasco; México. P. 89-94.
- [51] Mendiola, C.J.V.H., de la Cruz, L.M.C., May, G.M.E. y Alpuche, P.A. (2013). Evaluación de dos ensilados químicos elaborados con *Oreochromis niloticus* y *Pterygoplichthys* spp. para la acuicultura. *Memorias del 3er. Simposium Internacional de Investigación Multidisciplinaria y 4to. Encuentro Nacional de Investigación Científica*. Tabasco, México. P. 201-211.
- [52] Yu, Y. (2004). Replacement of fishmeal with poultry byproduct meal and meat and bone meal in shrimp, tilapia and trout diets. *Memorias del VII Simposium Internacional de Nutrición Acuicola*. Hermosillo, Sonora; México, P. 182-201.
- [53] Vielma, R.R., Ovalles, D.J.F., León, L.A. y Medina, A. (2003). Valor nutritivo de la harina de lombriz (*Eisenia foetida*) como fuente de aminoácidos y su estimación cuantitativa mediante cromatografía en fase reversa (HPLC) y derivatización precolumna con o-ftalaldehído (OPA). *Ars Pharmaceutica*, 45(2), 39-44.

- [54] Rocha, E.A. (1998). *Cnidoscylus chayamansa* (Mc Vaugh) como fuente de proteína incorporada en dietas para *Penaeus stylirostris*. Tesis de Posgrado en Maestría en Ciencias de la UANL. San Nicolás de los Garza, Nuevo León; México.
- [55] Espinosa, M.J., Centurión, H.D., Solano, M.L. y García, G.G. (2005). Leguminosas de grano de consumo tradicional en Tabasco: Determinación del contenido nutrimental. *Memorias del VII Congreso Nacional de Ciencias de los Alimentos y III Foro de Ciencia y Tecnología de Alimentos*. Guanajuato, México. P. 312-316.
- [56] Murillo, G.O.M. (2000). Ficha técnica de industrialización de plátano (*Musa* spp.). Dirección de Mercadeo y Agroindustria, Área Desarrollo de Producto: Bogotá, Colombia.
- [57] Church, D.C. y Pond, W.G. (1990). Fundamentos de nutrición y alimentación de animales. Limusa: Ciudad de México, México.
- [58] Flores, M.J.A. (1990). Bromatología animal. Limusa: Ciudad de México, México.
- [59] Ríos C.N.P. (2002). Manual agropecuario: Tecnologías orgánicas de la granja integral autosuficiente. IBALPE: Bogotá, Colombia.
- [60] A.O.A.C. (2012). Official methods of analysis of AOAC International. 19th Edition. Dr. George W. Latimer Jr., Editor. Gaithersburg: Maryland, USA.
- [61] NOM-092-SSA1. (1994). Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa. Secretaria de Salud: Ciudad de México, México.
- [62] NOM-111-SSA1. (1994). Método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos. Secretaria de Salud: Ciudad de México, México.
- [63] NOM-113-SSA1. (1994). Método para la cuenta de microorganismos coliformes totales en placa. Secretaria de Salud: Ciudad de México, México.
- [64] NOM-021-PESC. (1994). Proyecto de Norma Oficial Mexicana que regula los alimentos balanceados, los ingredientes para su elaboración y los productos alimenticios no convencionales, utilizados en la acuicultura y el ornato, importados y nacionales, para su comercialización y consumo en la República Mexicana. Diario Oficial de la Federación y Secretaria de Pesca: Ciudad de México, México.
- [65] Hsu, H., Vavak, D., Satterlee, L. & Miller, G. (1977). A multienzyme technique for estimating protein digestibility. *Journal of Food Science*, 42(5), 1269-1273.
- [66] Tacon, A.G.J. (1990). La nutrición y alimentación de peces y camarones cultivados: Manual de capacitación. Academic Press: California, Estados Unidos.
- [67] Olvera, N.M.A., Martínez, P.C.A. y Real, de L.E. (1993). Manual de técnicas para laboratorio de nutrición de peces y crustáceos. FAO: Ciudad de México, México.
- [68] Morales, D.A. (1991). La tilapia en México: Biología, cultivo y pesquerías. AGT Editor: Ciudad de México, México.
- [69] Pillay, T.V.R. (1997). Acuicultura: Principios y prácticas. Limusa y Grupo Noriega Editores: Ciudad de México, México.
- [70] Popma, T. & Masser, M. (1999). Tilapia: Life, history and biology. Southern Regional Aquaculture Center (SRAC), Auburn University: Texas, USA. No. 283.
- [71] Cabrera, T., Alceste, C. y Jay, D. (2001). Actualización del cultivo de tilapia en el mundo. *Memorias del VI Congreso Ecuatoriano de Acuicultura y V Congreso Latinoamericano de Acuicultura*. Quito, Ecuador. P. 28-41.

- [72] Alceste, C. (2001). Mercado y comercialización de tilapia en los Estados Unidos y la Unión Europea. FONDEPES: Lima, Perú.
- [73] Nicovita. (2004). Manual de crianza de la tilapia. Alicorp: Lima, Perú.
- [74] Wee, K.L. & Shu, S.W. (1989). The nutritive value of boiled full fat soybean in pelleted feed for Nile tilapia. *Journal Aquaculture*, 81, 303-314.
- [75] Gunasekara, R.M., Shim, K.F. & Lam, T.J. (1995). Effect of dietary protein level on puberty, oocyte growth and egg chemical composition in the tilapia *Oreochromis niloticus*. *Journal Aquaculture*, 134, 169-183.
- [76] Martínez, H. J. y Acevedo, G.X. (2004). La cadena de alimentos balanceados para animales (ABA) en Colombia: Una mirada global de su estructura y dinámica. Consultado en: www.agrocadenas.gov.co. Documento de Trabajo No. 1. Fecha de consulta: 23/07/2018.
- [77] Campabadal, C. y Navarro, G.H.A. (1999). El papel de los ingredientes en la formulación de alimentos balanceados por computadora. Asociación Americana de Soya: San José, Costa Rica.
- [78] Códex Alimentarius. (2003). Principios y directrices del Códex sobre los alimentos obtenidos por medios biotecnológicos. Comisión del Códex Alimentarius y Dirección de Alimentación y Nutrición de la FAO: Roma, Italia.
- [79] Boscolo, W.R., Hayashi, C. e Meurer, F. (2002). Digestibilidade aparente da energia e nutrientes de alimentos convencionais e alternativos para a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*, L.). *Revista Brasileira de Zootecnia*. Minas Gerais, Brasil. 31(2), 539-545.
- [80] Furuya, W.M., Pezzato, L.E., Pezzato, A.C., Barros, M.M. e Carvalho, de M.E. (2001). Coeficientes de digestibilidade e valores de aminoácidos digestíveis de alguns Ingredientes para tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Revista Brasileira de Zootecnia*. Minas Gerais, Brasil. 30(4), 1143-1149.
- [81] Meurer, F., Hayashi, C. e Boscolo, W.R. (2003). Digestibilidade aparente de alguns alimentos proteicos pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Revista Brasileira de Zootecnia*. Minas Gerais, Brasil. 32(6), 1801-1809.
- [82] Teixeira, L.E.A., Pezzato, L.E., Cecon, P.R., Furuya, W.M. e Delmondes, B.M.A. (2004). Digestibilidade aparente e trânsito gastrointestinal em tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), em função da fibra bruta da dieta. *Revista Brasileira de Zootecnia*. Minas Gerais, Brasil. 33(6), 2186-2192.