

Uso de microalgas como constituyentes parciales del alimento balanceado para engorda de tilapia (*Oreochromis niloticus*)

The use of microalgae as partial constituents of growout feeds for tilapia (*Oreochromis niloticus*)

Ramón Héctor Barraza-Guardado¹, Ana María Pérez-Villalba¹, Mayra Lizett González-Félix¹, José Ahmed Tadeo Ortega-Urbina², Raúl Muñoz-Hernández², Manuel Zúñiga-Panduro¹, Martín Pérez-Velázquez^{1*}

¹ Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, Universidad de Sonora, Edificio 7-G, Blvd. Luis Donaldo Colosio s/n, e/Sahuaripa y Reforma, Col. Centro, C.P. 83000, Hermosillo, Sonora, México.

² Biotecmex BTM S.A. de C.V., Calle Nayarit No. 147, Local B, Col. Cinco de Mayo, C.P. 83010, Hermosillo, Sonora, México.

RESUMEN

El presente estudio evaluó el uso de las microalgas *Arthrospira* sp., *Chlorella* sp., *Isochrysis* sp. y *Nannochloropsis* sp. como constituyentes parciales del alimento balanceado para tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) bajo condiciones de cultivo estático en un estudio de 53 días de duración. Un alimento balanceado comercial con contenido de proteína cruda de 45% se utilizó como dieta control, mismo que se molió finamente y se reconstituyó incorporando, a un nivel de inclusión de 25% de la dieta, las harinas de las cuatro especies de microalgas mencionadas. Se analizaron parámetros de producción de tilapia, incluyendo índices de crecimiento y supervivencia, mediante análisis de varianza. Los índices de crecimiento, tales como peso final, peso ganado y porcentaje de peso ganado de los peces alimentados con las microalgas *Arthrospira* sp. y *Chlorella* sp., así como la supervivencia, fueron similares a los de aquellos que recibieron la dieta control, mientras que el crecimiento de peces alimentados con las microalgas *Isochrysis* sp. y *Nannochloropsis* sp. fue inferior estadísticamente. Estos resultados indican que *Arthrospira* sp. y *Chlorella* sp. pueden ser incorporadas a un nivel de 25% del alimento balanceado sin afectar significativamente el crecimiento o la supervivencia de *O. niloticus*.

Palabras clave: *Oreochromis niloticus*, microalgas, alimento balanceado, *Arthrospira* sp., *Chlorella* sp., *Nannochloropsis* sp., *Isochrysis* sp.

ABSTRACT

In the present study, the use of the microalgae *Arthrospira* sp., *Chlorella* sp., *Isochrysis* sp., and *Nannochloropsis* sp., as partial constituents in diets for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*), was evaluated in static tanks in a 53-day study, with a commercial diet containing 45% crude protein as a control treatment. Then, we replaced 25% of this diet with meals derived from each of the four microalgae species. Analysis of variance was employed to evaluate fish growth performance. Fish fed the diets with the microalgae *Arthrospira* sp. and *Chlorella* sp. had growth performance comparable to that of fish fed the control diet, as evaluated by growth parameters, such as final weight, weight gain, and percent weight gain, among others. In contrast, growth of fish receiving the microalgae

Isochrysis sp. and *Nannochloropsis* sp. was significantly lower. Results of the present study indicate that the use of 25% of *Arthrospira* sp. and *Chlorella* sp. meals incorporated into the diet of *O. niloticus* does not compromise fish development, although there seems to be an opportunity for a further increment of the replacement level.

Keywords: *Oreochromis niloticus*, microalgae, balanced feed, *Arthrospira* sp., *Chlorella* sp., *Nannochloropsis* sp., *Isochrysis* sp.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento sostenido de la acuicultura ha sido posible, en gran medida, gracias al suministro continuo de alimentos balanceados. La harina y aceite de pescado han sido por muchos años los insumos más utilizados para fabricarlos. Sin embargo, las especies de peces pelágicos menores de las que provienen han sido sobreexplotadas por largo tiempo, lo que en las últimas décadas ha limitado su disponibilidad y encarecido enormemente su precio (Tacon *et al.*, 2011). Como resultado, la búsqueda de insumos alternativos para el reemplazo de harina y aceite de pescado se ha convertido en un tema prioritario en acuicultura. Idealmente, dichos insumos alternativos, entre los que se incluyen ingredientes de origen animal y vegetal, podrían ser de alto valor nutritivo, económicos y además encontrarse disponibles en cantidades suficientes. Entre éstos, puede mencionarse el uso de ingredientes de origen animal, tales como la harina de sangre, harina de huesos y carne, y subproductos de pollo, entre otros (Fox *et al.*, 2004). Por otro lado, podrían utilizarse ingredientes de origen vegetal, entre los que pueden mencionarse la harina de soya, harina de semilla de algodón, linaza y girasol, siendo todos ellos productos derivados de la agricultura que se encuentran entre los primeros insumos evaluados para este fin (Rossi *et al.*, 2013), los cuales son más interesantes, desde el punto de vista de la sustentabilidad, por tratarse de recursos completamente renovables y de producción controlada mediante técnicas ampliamente dominadas por el hombre. Más recientemente, las microalgas, otro grupo de insumos de origen vegetal, han atraído fuertemente la atención de investigadores y productores como insumos para alimentos acuícolas. Por una parte,

*Autor para correspondencia: Dr. Martín Pérez-Velázquez
Correo electrónico: martin.perez@unison.mx

Recibido: 3 de junio de 2019

Aceptado: 16 de octubre de 2019

en comparación con la harina y aceite de pescado y desde el punto de vista del cuidado del ambiente, las microalgas representan una alternativa sustentable, ya que pueden producirse en grandes cantidades de manera predecible y con métodos tecnológicamente controlados, además de que típicamente no son insumos para consumo humano. Pero por otra, las microalgas son altamente atractivas principalmente por poseer características nutricionales muy favorables. Por ejemplo, poseen cantidades importantes de ácidos grasos omega-3 (Kousoulaki *et al.*, 2016), vitaminas y minerales (Duerr *et al.*, 1998), pigmentos (Lubián *et al.*, 2000), glucanos con propiedades inmuno-estimulantes (Cerezuela *et al.*, 2012) y algunas sustancias con elevada actividad anti-oxidante y anti-inflamatoria (Sayed *et al.*, 2015).

Es importante considerar que los insumos utilizados para reemplazar la harina y aceite de pescado deben de satisfacer los requerimientos nutricionales de los organismos en cultivo, promoviendo su desarrollo de forma más sustentable y rentable. A este respecto, los hábitos alimenticios de la tilapia (*Oreochromis niloticus*), considerada como una especie omnívora con tendencia herbívora, favorecen la inclusión de insumos de origen vegetal en la elaboración de su alimento balanceado. A la fecha, para *O. niloticus*, se ha llevado a cabo la sustitución de harina de pescado con harinas de fuentes vegetales, tales como soya, algodón, linaza, girasol, harina de gluten de maíz, así como concentrados proteicos de chícharo y canola, entre otros, encontrándose resultados alentadores (Olvera-Novoa *et al.*, 2002; El-Saidy y Gaber, 2002, 2003; Abdelghany, 2003; Borgeson *et al.*, 2006; González-Félix *et al.*, 2011; Ochieng Ogello *et al.*, 2014; Al-Thobaiti *et al.*, 2018; Bin Dohaish *et al.*, 2018). Sin embargo, la incorporación de harinas derivadas de microalgas ha recibido, relativamente, muy poca atención. Por consiguiente, el objetivo del presente estudio fue utilizar diferentes especies de microalgas como componentes parciales del alimento balanceado de *O. niloticus*, con la finalidad de evaluar su desempeño durante la engorda experimental.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento fue realizado en las instalaciones de la Unidad Experimental Kino (UEK) del Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (DICTUS) de la Universidad de Sonora, ubicada en Bahía de Kino, Sonora.

Sistema de cultivo experimental

Se utilizó un sistema de cultivo experimental estático, que consistió de tanques de plástico de 250 L de capacidad, colocados bajo una estructura metálica de 6 x 9 x 3 m de ancho, largo y alto, respectivamente, cubierta con malla sombra de plástico que provee 90% de filtración de luz. Se proveyó de aireación constante a todos los tanques utilizando un soplador de 2HP, 220V, una red de tubería de 1" de diámetro, manguera de plástico de 3/16" y piedras difusoras. Dentro de la misma estructura se colocaron 3 tanques de fibra de vidrio de 5,000 L de capacidad, que fueron utilizados como reservorios, con el fin de realizar un recambio de agua diario de 80% del volumen de los tanques de cultivo.

Organismos experimentales

Se adquirió una población monosexo (machos) de juveniles de tilapia, *O. niloticus*, obtenidos mediante reversión sexual, del laboratorio de producción de alevines de tilapia "CRILAP SPR de RL", ubicado en la Carretera a Ures Km. 6, Ejido El Tazajal, Hermosillo, Sonora. Los peces se transportaron a la UEK por vía terrestre en tres tanques de plástico de 250 L de capacidad, provistos con aireación constante y a una temperatura de 22 a 24°C. El agua utilizada para el transporte fue agua dulce de pozo del laboratorio CRILAP SPR de RL. El agua en la que se realizó el experimento fue también agua dulce, pero de la red municipal de Bahía Kino, Sonora. A su llegada a la UEK, los peces se colocaron en un tanque de fibra de vidrio de 3,000 L de capacidad previamente acondicionado con agua y aireación, donde permanecieron hasta el inicio del experimento.

Tratamientos experimentales y mantenimiento del cultivo

Como dieta control se utilizó un alimento balanceado comercial con contenido de proteína cruda de 45% y tamaño de pellet de 2.5 mm de diámetro (El Pedregal, Toluca, Estado de México, www.el-pedregal.com). Se prepararon cuatro dietas adicionales. Para ello, el alimento se molió finamente y se reconstituyó incorporando, a un nivel de inclusión de 25% de la dieta, las harinas de microalgas *Arthrospira* sp., conocida comercialmente como *Spirulina* sp. (Welbing, Naucalpan de Juárez, Estado de México, México, www.welbingmexic.com), *Chlorella* sp. (Welbing, Naucalpan de Juárez, Estado de México, México, www.welbingmexic.com), *Isochrysis* sp. (Iso 1800, Reed Mariculture, Campbell, California, EUA) y *Nannochloropsis* sp. (Nanno 3600, Reed Mariculture, Campbell, California, EUA). La elaboración de los pellets se hizo en un molino manual de hierro galvanizado para carne molida con prensa para mesa (marca Lion Tools, modelo 7642, México). El tamaño resultante de los pellets fue de 3.5 a 4.0 mm.

Los peces se sembraron en los tanques con un peso global promedio (\pm desviación estándar, D.E.) de 8.4 ± 0.5 g, y cada tratamiento se asignó a tres tanques de cultivo. El experimento tuvo una duración de 53 días. Las dietas se suministraron a los peces dos veces al día (09:00 y 15:00 h). Los residuos (heces y alimento no consumido) se retiraron diariamente de los tanques mediante sifoneo. En cada tanque se registraron dos veces al día (08:00 y 17:00 h) la temperatura y oxígeno disuelto (OD) utilizando un oxímetro de campo (YSI, Modelo Pro 2030, Yellow Springs, Ohio, USA) y el pH con un potenciómetro de bolsillo (Hanna, Modelo HI 98127, Ann Arbor, Michigan, EUA).

Evaluaciones del crecimiento

Los peces se pesaron grupalmente y contaron cada semana y al final del experimento, para obtener el peso promedio por tanque. Los parámetros de crecimiento evaluados fueron peso final (g); peso ganado (g) = (peso final, g – peso inicial, g); porcentaje de peso ganado (%) = [(peso final, g – peso inicial, g) / peso inicial, g] \times 100; ganancia de peso diaria (g/día) = (peso final, g – peso inicial, g) / tiempo, días);

y supervivencia (%) = (número final de organismos / número inicial de organismos) \times 100, siendo todos ellos parámetros comúnmente medidos en estudios previos sobre nutrición de peces (Perez-Velazquez *et al.*, 2018).

Análisis estadístico

Se aplicaron pruebas de homocedasticidad (Bartlett) y normalidad (Shapiro-Wilk), previo al análisis de varianza (ANOVA), con un nivel de significancia de 0.05. En caso de detectar diferencias significativas, se aplicó la prueba de Tukey para la separación de promedios. Se utilizó el paquete estadístico Statistical Analysis System software package (SAS Institute Inc., 2013, Software Release 9.4, Cary, North Carolina, EUA).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Calidad del agua

Los valores globales mínimo, máximo y promedio (\pm DE) de la temperatura del agua en los tanques de cultivo

registrados por la mañana fueron de 25.2, 30.0 y 28.0°C (\pm 0.11°C), respectivamente, y por la tarde fueron de 27.5, 31.0 y 29.4°C (\pm 0.2°C), respectivamente. El comportamiento de esta variable se caracterizó por mantenerse estable durante la mayor parte del período de cultivo, tanto en las mediciones matutinas como vespertinas. Los valores promedios más altos se registraron por la tarde, pero sin existir grandes diferencias ($<$ 2.0°C) con los registros de la mañana (Figura 1). Por su parte, la concentración de OD en los tanques de cultivo tuvo valores mínimo, máximo y promedio (\pm DE) por la mañana de 4.3, 8.6 y 6.9 mg/L (\pm 0.11 mg/L), respectivamente y por la tarde de 3.0, 8.4 y 6.0 mg/L (\pm 0.21 mg/L), respectivamente. Aunque los niveles más altos de OD se registraron durante la mañana, las diferencias fueron mínimas con respecto a las mediciones vespertinas ($<$ 1.0 mg/L). La concentración de OD se mantuvo en valores estables hasta el día 19 de cultivo, para después tender a una disminución progresiva hasta el final del experimento, como se muestra en la Figura 2. Este comportamiento estuvo asociado al incremento de la bioma-

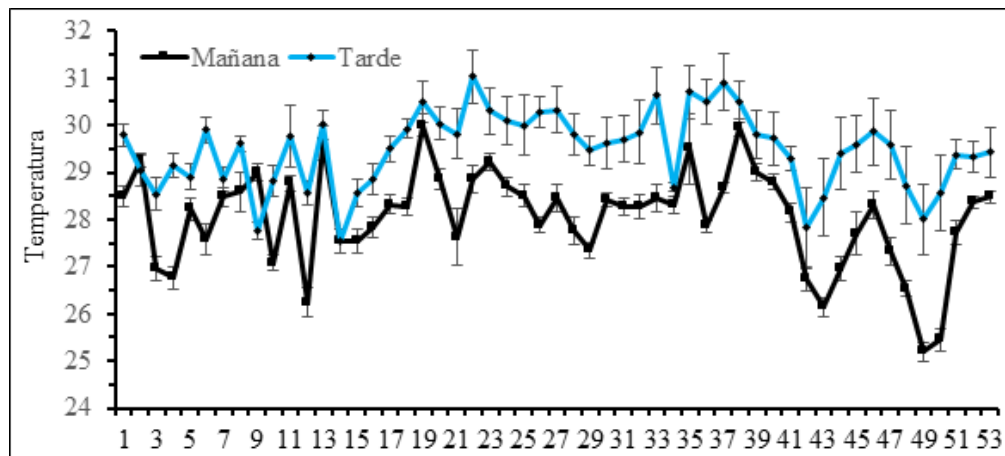


Figura 1. Progresión de los valores globales promedio de temperatura del agua en tanques de cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*), registrados por la mañana (08:00 h) y tarde (17:00 h).

Figure 1. Time course (overall mean values) of morning (08:00 h) and afternoon (17:00 h) water temperature in tanks with tilapia (*Oreochromis niloticus*).

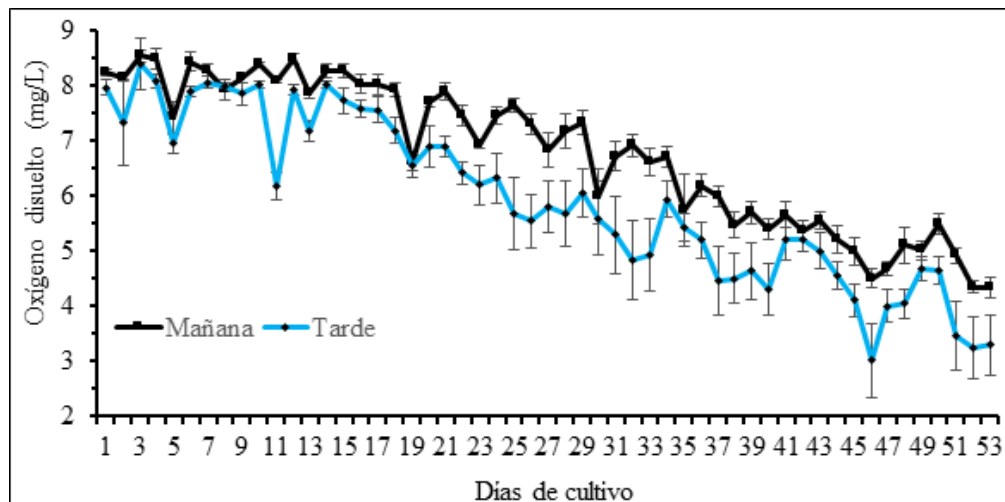


Figura 2. Progresión de los valores globales promedio de la concentración de oxígeno disuelto del agua en tanques de cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*), registrados por la mañana (08:00 h) y tarde (17:00 h).

Figure 2. Time course (overall mean values) of morning (08:00 h) and afternoon (17:00 h) dissolved oxygen in tanks with tilapia (*Oreochromis niloticus*).

sa de los peces y, por lo tanto, a una mayor demanda de OD. Sin embargo, incluso los valores más bajos, registrados en las mediciones vespertinas al final del estudio, de aproximadamente 3.5 mg/L (Figura 2), se encuentran por arriba del valor mínimo crítico reportado para tilapia, de 0.8 mg/L a 26°C (Duy et al., 2008), de manera que el oxígeno disuelto nunca fue un factor limitante del crecimiento, ni representó riesgo para los cultivos. En cuanto al pH del agua, éste se mantuvo estable, con valores mínimo, máximo y promedio por la mañana de 7.33, 8.39 y 7.73 (± 0.06), respectivamente, y por la tarde de 7.04, 8.11 y 7.62 (± 0.07), respectivamente. Como es evidente de la información anterior, estos tres importantes parámetros físico-químicos del agua, temperatura, oxígeno disuelto y pH, se encontraron dentro de intervalos óptimos reportados para el cultivo de tilapia (El-Sayed, 2006). Por lo tanto, puede considerarse que el presente estudio se llevó a cabo bajo adecuadas condiciones de calidad de agua.

No existieron diferencias entre tratamientos en el peso de los organismos al inicio del experimento (Tabla 1), un requisito para lograr comparar objetivamente los posteriores resultados de crecimiento. Las mediciones semanales del peso permitieron monitorizar el crecimiento de los individuos a lo largo del estudio, como se muestra en la Figura 3. Desde el día 18 de cultivo, puede apreciarse una tendencia de mayor crecimiento en los peces alimentados con la dieta control, seguidos cercanamente de los peces que recibieron *Arthrospira* sp. y *Chlorella* sp., y menor desempeño en crecimiento en los peces que recibieron *Isochrysis* sp. y *Nannochloropsis* sp. El análisis estadístico de los parámetros de crecimiento evaluados al final del estudio confirmó que los peces de los tres primeros tratamientos (control, *Arthrospira* sp. y *Chlorella* sp.) alcanzaron los mayores valores de crecimiento, sin diferencias estadísticas entre ellos, con la única excepción del porcentaje de peso ganado de peces alimentados con *Chlorella* sp., que fue significativamente menor que el de peces que recibieron la dieta control, exclusivamente para esta variable. No obstante, puede decirse que, en general, el desempeño en crecimiento de los peces alimentados con *Chlorella* sp. fue similar estadísticamente al de los peces alimentados con la dieta control. Por otra parte, fue notorio el rezago en crecimiento de los peces alimenta-

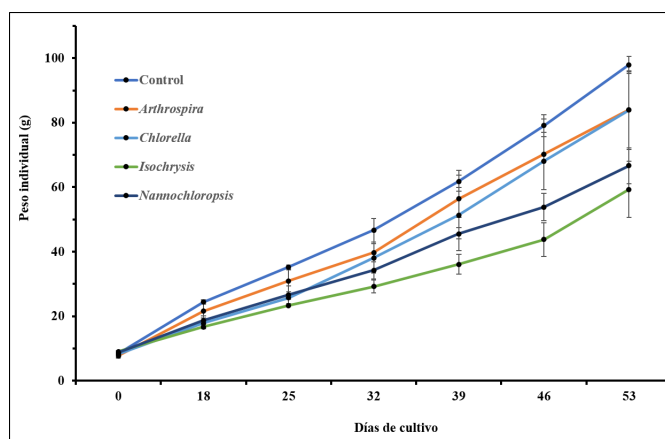


Figura 3. Valores promedio del peso corporal (\pm D.E.), registrados semanalmente, de tilapia (*Oreochromis niloticus*) alimentada con distintas especies de microalgas como componentes parciales del alimento.

Figure 3. Weekly measurements of mean body weight of tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed different microalgae species as partial constituents of the diet.

dos con *Isochrysis* sp. y *Nannochloropsis* sp., cuyos valores de todos los parámetros de crecimiento fueron significativamente menores a los del resto de los tratamientos (Tabla 1). En términos de la supervivencia, se observaron valores promedio altos para todos los tratamientos, oscilando entre 87 y 100%, sin diferencias estadísticas entre ellos (Tabla 1).

Un aspecto sobresaliente de los resultados de crecimiento es que tanto la especie *Arthrospira* sp. como *Chlorella* sp. pueden ser incorporadas a un nivel de 25% del alimento balanceado sin afectar significativamente el crecimiento o la supervivencia de *O. niloticus*. Sin duda, este resultado representa un firme y positivo avance hacia una acuicultura con menor impacto sobre el ambiente, al contribuir a eliminar la dependencia en la harina y aceite de pescado como componentes mayoritarios de los alimentos acuícolas. Es importante resaltar que, a diferencia de la harina y aceite de pescado, cuya sobreexplotación ha impactado excesivamente el ambiente marino, tanto la harina de *Arthrospira* sp., como la de *Chlorella* sp., son productos renovables, producidos bajo condiciones controladas. Es decir, pueden estar disponibles continuamente para la producción de alimentos acuícolas, contribuyendo a una acuicultura sustentable.

Tabla 1. Parámetros de crecimiento y supervivencia de tilapia (*Oreochromis niloticus*) alimentada con distintas especies de microalgas como componentes parciales del alimento.

Table 1. Growth performance and survival of tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed different microalgae species as partial constituents of the diet.

Dieta	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Peso ganado (g)	Porcentaje de peso ganado (%)	Ganancia de peso diaria (g/d)	Supervivencia (%)
Control	8.3 \pm 0.3	97.9 ^a \pm 2.7	89.6 ^a \pm 2.4	1,076.5 ^a \pm 14.0	1.7 ^a \pm 0.0	100.0 \pm 0.0
<i>Spirulina</i> sp.	7.7 \pm 0.7	84.0 ^a \pm 11.8	76.3 ^a \pm 11.1	986.2 ^{ab} \pm 71.6	1.4 ^a \pm 0.2	95.0 \pm 8.7
<i>Chlorella</i> sp.	8.2 \pm 1.1	83.9 ^a \pm 12.1	75.7 ^a \pm 11.1	919.5 ^b \pm 56.9	1.4 ^a \pm 0.2	95.3 \pm 8.1
<i>Isochrysis</i> sp.	9.1 \pm 0.3	59.3 ^b \pm 8.7	50.2 ^b \pm 9.0	557.6 ^c \pm 121.8	0.9 ^b \pm 0.2	89.0 \pm 19.1
<i>Nannochloropsis</i> sp.	8.7 \pm 0.2	66.7 ^b \pm 5.5	58.0 ^b \pm 5.7	667.2 ^c \pm 76.3	1.1 ^b \pm 0.1	87.0 \pm 16.1
ANOVA $P > F$	0.1692	0.0025	0.0015	< 0.0001	0.0013	0.7092

Los valores son promedios \pm desviación estándar de tres tanques experimentales. Los promedios con superíndices diferentes en una misma columna son significativamente diferentes ($P \leq 0.05$).

Por el contrario, el crecimiento de *O. niloticus* se vio afectado significativamente al incorporar al alimento, al mismo nivel de inclusión, las otras dos especies, *Isochrysis* sp. y *Nannochloropsis* sp. Es interesante que, entre las especies de microalgas puestas a prueba, *Arthrospira* sp. y *Chlorella* sp. son especies dulceacuícolas, en tanto que *Isochrysis* sp. y *Nannochloropsis* son marinas. Estas diferencias pueden explicar, en buena medida, los resultados observados, ya que el perfil nutricional de las especies dulceacuícolas podría estar más *ad hoc* para satisfacer los requerimientos nutricionales de *O. niloticus*, especie también dulceacuícola. Ejemplos de nutrientes específicos cuya distribución y abundancia son particulares de uno u otro ambiente acuícola son los ácidos grasos. En el caso de especies de peces dulceacuícolas, se observa en general una mayor proporción ácidos grasos de la familia omega-6 como parte del perfil lipídico de su cuerpo, mientras que en peces marinos los ácidos grasos de la familia omega-3 son más abundantes (Halver, 1980). Estas diferencias son reflejo de su disponibilidad en las cadenas tróficas, particularmente en las microalgas, que son las especies capaces de sintetizarlos, siendo las especies de microalgas dulceacuícolas ricas en ácidos grasos omega-6 y las especies marinas en ácidos grasos omega-3 (Tocher, 2010). Tal es el caso de las especies utilizadas en el presente estudio, siendo, dentro de los ácidos grasos con 18 o más átomos de carbono, el ácido linoleico (18:2n-6), perteneciente a la familia omega-6, el más abundante tanto en *Arthrospira* sp. (Perez-Velazquez *et al.*, 2019), como en *Chlorella* sp. (Otlés y Pire, 2001). En cambio, los ácidos grasos más abundantes reportados para las especies *Isochrysis* sp. y *Nannochloropsis* sp. son el ácido docosahexaenoico (22:6n-3, conocido como DHA, por sus siglas en inglés) y el ácido eicosapentaenoico (20:5n-3, conocido como EPA, por sus siglas en inglés) (Patil *et al.*, 2007), ambos pertenecientes a la familia omega-3. Si bien es cierto que la tilapia, como cualquier otro pez, puede consumir y metabolizar ácidos grasos de la familia omega-3, no se conoce hasta ahora que tenga un requerimiento nutricional por esta familia de ácidos grasos. En este contexto, es razonable esperar que los peces dulceacuícolas estén mejor adaptados al consumo y metabolismo de ácidos grasos omega-6, que les han servido de sustento trófico en el ambiente en el que han evolucionado a través del tiempo.

Por otra parte, los pobres resultados observados al utilizar las microalgas *Isochrysis* sp. y *Nannochloropsis* sp. en el presente estudio coinciden con reportes de bajo desempeño en crecimiento del bacalao (*Gadus morhua*), al alimentársele dietas con niveles de inclusión de 15 y 30%, ya sea de *Isochrysis* sp. o *Nannochloropsis* sp. En dicho estudio, los autores reportaron una menor tasa de ingestión de las dietas, atribuida a mala palatabilidad (Walker y Berlinsky, 2011). No es poco común que la mala palatabilidad de algunas microalgas obedezca a la presencia de factores antinutricionales o tóxicos, cuyos efectos pueden reflejarse en enteritis y pobre crecimiento en diversas especies de peces (Buentello *et al.*, 2015). Aunque en este estudio no se realizó un seguimiento del alimento consumido, y con ello una medida indirecta de

su palatabilidad, es posible que este factor haya jugado un papel en el presente resultado. Por el contrario, con respecto a las especies *Arthrospira* sp. o *Chlorella* sp., no existe evidencia de la presencia de factores de esta naturaleza (Richmond, 1988; Ryan *et al.*, 2010; Bleakley y Hayes, 2017), lo que también sustenta los resultados observados en este estudio.

Adicionalmente, el pobre desempeño en crecimiento de los peces alimentados con las microalgas *Isochrysis* sp. y *Nannochloropsis* sp. coincide con reportes de bajo crecimiento observados también en otras especies, tales como el pámpano (*Trachinotus ovatus*), el salmón Atlántico (*Salmo salar*), la curvina roja (*Sciaenops ocellatus*), e incluso el camarón blanco del Pacífico (*Litopenaeus vannamei*), al incorporarse alguna de estas microalgas en su dieta (Kiron *et al.*, 2012; Patterson y Gatlin, 2013; Sørensen *et al.*, 2017; He *et al.*, 2018). Un aspecto en común entre el presente y los estudios mencionados, es que el bajo crecimiento se ha observado como resultado de la incorporación de niveles altos, e incluso moderados, de estas microalgas. Por ejemplo, Sørensen *et al.* (2017) y Kiron *et al.* (2012) concuerdan que, para el salmón Atlántico, pueden incorporarse niveles de *Nannochloropsis oceanica* y otras especies de microalgas, de hasta 10% de la dieta con buenos resultados, pero que niveles superiores resultan en una reducción significativa del crecimiento. Por su parte, Patterson y Gatlin (2013) reportaron que *Nannochloropsis salina* puede reemplazar 10%, pero no más, de la proteína, derivada de harina de pescado y de soya, en la dieta de la curvina roja, *S. ocellatus*. He *et al.* (2018), utilizando una dieta con harina de pescado como fuente principal de proteína, encontraron que la inclusión de *Isochrysis galbana* en niveles moderados, de 4.5 a 5.0% de la dieta, mejoró el crecimiento de *Trachinotus ovatus*, pero observaron una reducción significativa del crecimiento al aumentar el nivel de inclusión de la microalga a tan sólo 8.6%. Recordemos que en el presente estudio el nivel de inclusión, ya sea de *Isochrysis* sp. o de *Nannochloropsis* sp., fue de 25% de la dieta, mucho más alto que en los estudios anteriores. Una explicación adicional de los resultados observados en la serie de estudios anteriores puede radicar en la composición bioquímica de las propias microalgas. Por una parte, la pared celular de las microalgas, además de estar compuesta mayoritariamente por celulosa, que es indigerible para muchos peces, contiene otros polisacáridos de difícil digestión, por ejemplo, la hemicelulosa. Por otra, las microalgas también pueden contener ciertos factores antinutrientes, tales como los inhibidores de proteasas, particularmente los inhibidores de tripsina, la principal enzima proteolítica en el intestino. Al combinarse con la tripsina, dichos inhibidores impiden su acción proteolítica, reduciendo la digestibilidad del alimento y afectando la nutrición del organismo. Otro factor antinutriente está representado por las lectinas, conocidas también como hemaglutininas, que son glucoproteínas capaces de combinarse con carbohidratos que alteran la función de absorción de los enterocitos en el intestino e incluso pueden provocar lesiones en el epitelio intestinal (Tacon, 1997). La presencia de celulosa, hemicelulosa, así como de los inhibi-

dores de tripsina y lectinas ha sido confirmada para diversas microalgas, incluyendo el género *Nannochloropsis* (Sarker *et al.*, 2018). Por consiguiente, a medida que se incrementa el nivel de inclusión de estas microalgas en la dieta de los peces, mayor es el efecto negativo de dichos factores sobre el crecimiento.

En cuanto al nivel de inclusión de *Arthrospira* sp. utilizado en el presente estudio (25%), los resultados sugieren que es factible incrementarlo aún más sin afectar el crecimiento y la supervivencia de la tilapia, tomando en cuenta que para la tilapia de Mozambique (*Oreochromis mossambicus*), una especie cercana a *O. niloticus*, se observaron adecuados resultados de crecimiento al reemplazar hasta 40% de harina de pescado por harina de *Arthrospira* sp. en su dieta (Olvera-Novoa *et al.*, 1998). Más recientemente, utilizando una dieta control que contenía como fuente principal de proteína, harina de gluten de maíz y caseína en niveles de inclusión de 43.34 y 4.92% de la dieta, respectivamente, *O. niloticus* duplicó su tasa de crecimiento al reemplazar 100% de la harina de gluten de maíz con harina de *Arthrospira* sp. (Hussein *et al.*, 2013). Dicho reemplazo representó un nivel de inclusión efectivo de harina de *Arthrospira* sp. de 43.6%, el mayor reportado en la literatura hasta este momento, con buen resultado. Con respecto al uso de *Chlorella* sp., la información acerca de su inclusión en dietas para *O. niloticus* es escasa. Badwy *et al.* (2008) incorporaron harina de *Chlorella* sp. a niveles de 0 (dieta control, que contenía 22.23% de harina de pescado), 10, 25, 50 y 75% de la dieta de *O. niloticus*. En comparación con los peces alimentados con la dieta control, aquellos que recibieron la dieta con reemplazo de 50% tuvieron un crecimiento significativamente mayor, pero la respuesta en crecimiento disminuyó al incrementar aún más el nivel de inclusión. No obstante, estos resultados concuerdan con los del presente estudio y sugieren que es posible utilizar niveles de inclusión relativamente altos de esta especie de microalga en la dieta de la tilapia.

Es pertinente examinar la magnitud del crecimiento y supervivencia de los peces del presente estudio. Al final del bioensayo, los peces de los tratamientos con mejores resultados (control, *Arthrospira* sp. y *Chlorella* sp.) alcanzaron promedios de peso entre 83.9 y 97.9 g después de 53 días de cultivo, lo que representa para estos tratamientos ganancias en peso de 1.4 a 1.7 g/día, en tanto que sus promedios de supervivencia oscilaron entre 95 y 100%. Estos valores de crecimiento y supervivencia pueden considerarse buenos para estándares de cultivo de tilapia en tanques (Cantor-Atlenco, 2007).

CONCLUSIONES

El presente estudio se llevó a cabo bajo condiciones físico-químicas óptimas de calidad de agua para el cultivo de tilapia. Las especies de microalgas *Arthrospira* sp. y *Chlorella* sp. pueden ser incorporadas a un nivel de 25% del alimento balanceado sin afectar significativamente el crecimiento o la supervivencia de *O. niloticus*. Por el contrario, el crecimiento

de *O. niloticus* se vio afectado significativamente al incorporar al alimento, al mismo nivel de inclusión, las especies *Isochrysis* sp. y *Nannochloropsis* sp.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo financiero brindado por el Innovate UK para el presente proyecto con el número: 103498, así como la colaboración de las empresas Green Fuels Technologies LTD de Reino Unido y Biotecmex BTM S.A. de C.V., en la realización de actividades clave para el desarrollo de la presente investigación. A la Universidad de Sonora por las facilidades otorgadas, especialmente al personal de la Unidad Experimental Kino por el apoyo técnico facilitado.

REFERENCIAS

- Abdelghany, A.E. 2003. Partial and complete replacement of fish meal with gambusia meal in diets for red tilapia '*Oreochromis niloticus* x *O. mossambicus*'. *Aquaculture Nutrition* 9: 145-154.
- Al-Thobaitia, A., Al-Ghanima, K., Ahmeda, Z., Sulimana, E.M. y Mahbooba, S. 2018. Impact of replacing fish meal by a mixture of different plant protein sources on the growth performance in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) diets. *Brazilian Journal of Biology* 78: 525-534.
- Bin Dohaish, E., Al Dhahri, M. y Omar, H. 2018. Potential application of the blue-green alga (*Spirulina platensis*) as a supplement in the diet of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Applied Ecology and Environmental Research* 16:7883-7902.
- Bleakley, S. y Hayes, M. 2017. Algal Proteins: Extraction, Application, and Challenges Concerning Production. *Foods* 6 (5): 33. DOI:10.3390/foods6050033
- Borgeson, T.L., Racz, V.J., Wilkie, D.C., White L.J. y Drew, M.D. 2006. Effect of replacing fishmeal and oil with simple or complex mixtures of vegetables ingredients in diets fed to Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture Nutrition* 12: 141-149.
- Buentello, A., Jirsa, D., Barrows, F. y Drawbridge, M. 2015. Minimizing fishmeal use in juvenile California yellowtail, *Seriola lalandi*, diets using non-GM soybeans selectively bred for aquafeeds. *Aquaculture* 435: 403-411.
- Cantor-Atlenco, F. 2007. Manual de producción de tilapia. Secretaría de Desarrollo Rural del Estado de Puebla, Puebla, México 135 pp.
- Cerezuela, R., Guardiola, F.A., Meseguer, J. y Esteban, M.A. 2012. Enrichment of gilthead seabream (*Sparus aurata* L.) diet with microalgae: effects on the immune system. *Fish Physiology and Biochemistry* 38: 1729-1739.
- Duerr, E.O., Molnar, A. y Sato, V. 1998. Cultured microalgae as aquaculture feeds. *Journal of Marine Biotechnology* 6: 65-70.
- Duy, A.T., Scharama, J., Dam, A.V. y Verreth, A.J. 2008. Effects of oxygen concentration and body weight on maximum feed intake, growth and hematological parameters of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture* 275: 152-162.
- El-Saidy, D.M.S.D. y Gaber, M.M.A. 2002. Complete replacement of fish meal by soybean meal with dietary L-lysine supplementation from Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) fingerlings. *Journal of the World Aquaculture Society* 3: 297-306.
- El-Saidy, D.M.S.D. y Gaber, M.M.A. 2003. Replacement of fish meal with mixture of different plant protein sources in juvenile Nile

- tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) diets. *Aquaculture Research* 34: 1119-1127.
- El-Sayed, A.F.M. 2006. *Tilapia culture*. CABI publishing, Londres, Reino Unido, 277 p.
- Fox, J.M., Lawrence, A.L. y Smith, F. 2004. Developing a low-fish meal feed formulation for comercial production of *Litopenaeus vannamei*. 238-258 pp. En: Cruz Suárez, L.E., Ricque Marie, D., Nieto López, M.G., Villareal-Cavazos, D.A., Scholz, U. y M.L. González-Félix (Eds.). *Avances en Nutrición Acuícola VII. Memorias del Séptimo Simposium Internacional de Nutrición Acuícola*, 16 al 19 de Noviembre de 2004. Hermosillo, Sonora, México.
- González-Félix, M.L., Perez-Velazquez, M., Bringas-Alvarado, L., Cota-Moreno, V. y Navarro-García, G. 2011. Fishmeal replacement by plant proteins in diets of different protein levels for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) culture. *The Israeli Journal of Aquaculture-BAMIDGEH* 566: 1-8.
- Halver, J.E. 1980. *Lipids and fatty acids*. En: *Fish feed technology. United Nations Development Programme/Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (ed.)*, Roma, Italia.
- He, Y., Lin, G., Rao, X., Chen, L., Jian, H., Wang, M., Guo, Z. y Chen, B. 2018. *Microalga Isochrysis galbana* in feed for *Trachinotus ovatus*: effect on growth performance and fatty acid composition of fish fillet and liver. *Aquaculture International* 26: 1261-1280.
- Kiron, V., Phromkonthongm W., Huntley, M., Archibald M I y De Scheemakers, G. 2012. *Marine microalgae from biorefinery as a potential feed protein source for Atlantic salmon, common carp and whiteleg shrimp*. *Aquaculture Nutrition* 18: 521-531.
- Kousoulaki, K., Mørkøre, T., Nengas, I., Berge, R.K. y Sweetman, J. 2016. Microalgae and organic minerals enhance lipid retention efficiency and fillet quality in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture* 451: 47-57.
- Lubián, L.M., Montero, O., Moreno-Garrido, I., Huertas, I.E., Sobrino, C., González-Del Valle, M. y Parés, G. 2000. *Nannochloropsis* (Eustigmatophyceae) as source of commercially valuable pigments. *Journal of Applied Phycology* 12 (3-5): 249-255.
- Olivera-Novoa, M.A., Domínguez-Cen, L.J. y Olivera-Castillo, L. 1998. Effect of the use of the microalga *Spirulina máxima* as fish meal replacement in diets for tilapia, *Oreochromis mossambicus* (Peters), fry. *Aquaculture Research* 29: 709-715.
- Olivera-Novoa, M.A., Olivera-Castillo, L. y Martínez-Palacios, C.A. 2002. Sunflower seed meal as a protein source in diets for *Tilapia rendalli* (Boulenger, 1896) fingerlings. *Aquaculture Research* 23: 223-229.
- Ochieng Ogello, E., Mbonge Munguti, J., Sakakura, Y. Hagiwara, A. 2014. Complete Replacement of Fish Meal in the Diet of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) Grow-out with Alternative Protein Sources. A review. *International Journal of Advanced Research* 2: 962-978.
- Otles, S. y Pire, R. 2001. Fatty acid composition of *Chlorella* and *Spirulina* microalgae species. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists* 84: 1708-1714.
- Patterson, D. y Gatlin, D.M. III. 2013. Evaluation of whole and lipid-extracted algae meals in the diets of juvenile red drum (*Sciaenops ocellatus*). *Aquaculture* 416-417: 92-98.
- Patil, V., Källqvist, T., Olsen, E., Vogt, G. y Gislerød, H.R. 2007. Fatty acid composition of 12 microalgae for possible use in aquaculture feed. *Aquaculture International* 15: 1-9.
- Perez-Velazquez, M., Gatlin III, D.M, González-Félix, M.L. y García-Ortega, A., 2018. Partial replacement of fishmeal and fish oil by algal meals in diets of red drum *Sciaenops ocellatus*. *Aquaculture* 487: 41-50.
- Perez-Velazquez, M, Gatlin III, D.M, González-Félix, M.L., García-Ortega, A., de Cruz, C.R., Juárez-Gómez, M.L. y Chen, K. 2019. Effect of fishmeal and fish oil replacement by algal meals on biological performance and fatty acid profile of hybrid striped bass (*Morone chrysops* × *M. saxatilis*). *Aquaculture* 507: 83-90. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.04.011>.
- Richmond, A. 1988. *Spirulina*. In: Borowitzka, M.A., Borowitzka, L.J. (Eds.), *Micro-algal Biotechnology*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 85-121.
- Ryan, A.S., Zeller, S.G. y Nelson, E.B. 2010. Safety evaluation of single cell oils and the regulatory requirements for use as food ingredients. In: Ratledge, C., Cohen, Z. (Eds.), *Single Cell Oils*. AOCS Press, Urbana, Illinois, EUA, pp. 317-350.
- Rossi Jr., W., Moxley, D., Buentello, A., Pholenz, C. y Gatlin III, D.M. 2013. Replacement of fishmeal in the diet of red drum *Sciaenops ocellatus*: an assessment of nutritional value. *Aquaculture Nutrition* 19: 72-81.
- Sarker, P.K., Kapuscinski, A.R., Bae, A.Y., Donaldson, E., Sitek, A.J., Fitzgerald, D.S. y Edelson, O.F. 2018. Towards sustainable aquafeeds: Evaluating substitution of fishmeal with lipid-extracted microalgal co-product (*Nannochloropsis oculata*) in diets of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *PLoS ONE* 13 (7): e0201315. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201315>.
- Sayed, A.E.-D.H., Elbaghdady, H.A.M. y Zahran, E. 2015. Arsenic-induced genotoxicity in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*); the role of *Spirulina platensis* extract. *Environmental Monitoring and Assessment* 187: 751.
- Sørensen, M., Gong, Y., Bjarnason, F., Vasanth, G.K., Dahle, D., Huntley, M. y Kiron, V. 2017. *Nannochloropsis oceanica*-derived defatted meal as an alternative to fishmeal in Atlantic salmon feeds. *PLoS ONE* 12(7): e0179907.
- Tacon, A.G.J. 1997. *Fish meal replacers: review of antinutrients within oilseeds and pulses - a limiting factor for the aquafeed green revolution?* In: Tacon A., Basurco B., (Eds.), pp. 153-182. *Feeding tomorrow's fish. Vol. 22. Cahiers Options Méditerranéennes, Institut Agronomique Méditerranéen de Zaragoza, Spain*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0179907> PMID: 28704386.
- Tacon, A.G.J., Hasan, M.R. y Metian, M. 2011. Demand and supply of feed ingredients for farmed fish and crustaceans - trends and prospects. *Fisheries and Aquaculture Technical Paper* 564, Food and Agriculture Organization, Roma, Italia, 87 pp.
- Tocher, D.R. 2010. Fatty acid requirements in ontogeny of marine and freshwater fish. *Aquaculture Research* 41: 717-732.
- Walker, A.B. y Berlinsky, D.L. 2011. Effects of partial replacement of fish meal protein by microalgae on growth, feed intake, and body composition of Atlantic cod. *North American Journal of Aquaculture* 73: 76-83.