



**Centro de Investigación en Alimentación y
Desarrollo, A.C.**

**EVALUACION DE LA ESPECIE, SALINIDAD Y DIETA COMO
FACTORES QUE AFECTAN EL RENDIMIENTO PRODUCTIVO
A TRAVÉS DEL TIEMPO Y LA SALUD INTESTINAL DE
JUVENILES DE TILAPIA (*Oreochromis spp*)**

Por:

Aldo Ulloa Valdez

TESIS APROBADA POR LA

COORDINACIÓN EN ACUACULTURA Y MANEJO AMBIENTAL

Como requisito parcial para obtener el grado de

MAESTRA EN CIENCIAS

APROBACIÓN

Los miembros del comité designado para la revisión de la tesis de Aldo Ulloa Valdez, la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias.



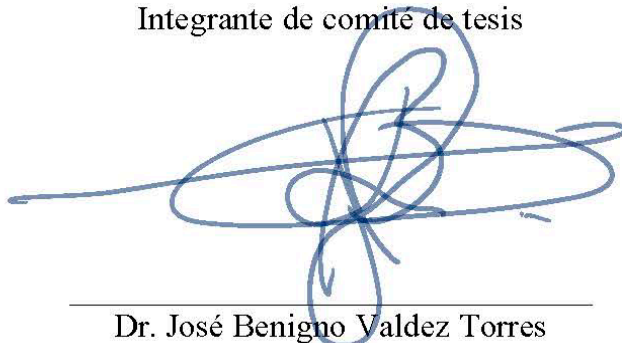
Dra. Crisantema Hernández González
Directora de Tesis



Dra. Nayely Leyva López
Integrante de comité de tesis



Dra. María Cristina Chávez Sánchez
Integrante de comité de tesis



Dr. José Benigno Valdez Torres
Integrante de comité de tesis

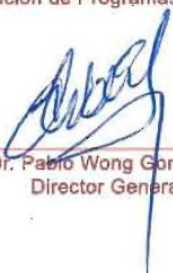
DECLARACIÓN INSTITUCIONAL

La información generada en la tesis “Evaluación de la Especie, Salinidad y Dieta como Factores que Afectan el Rendimiento Productivo A Través del Tiempo y la Salud Intestinal de Juveniles de Tilapia (*Oreochromis spp*)” es propiedad intelectual del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD). Se permiten y agradecen las citas breves del material contenido en esta tesis sin permiso especial del autor Aldo Ulloa Valdez, siempre y cuando se dé crédito correspondiente. Para la reproducción parcial o total de la tesis con fines académicos, se deberá contar con la autorización escrita de quien ocupe la titularidad de la Dirección General del CIAD.

La publicación en comunicaciones científicas o de divulgación popular de los datos contenidos en esta tesis, deberá dar los créditos al CIAD, previa autorización escrita del manuscrito en cuestión del director(a) de tesis.



CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN
ALIMENTACIÓN Y DESARROLLO, A.C.
Coordinación de Programas Académicos



Dr. Pablo Wong González
Director General

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo prestado durante el posgrado.

Al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Unidad Mazatlán a través del programa de Posgrado en Ciencias Acuicultura y Manejo Ambiental.

Al Fondo Mixto del Gobierno del Estado de Nayarit-CONACYT, proyecto FOMIX Clave NAY-2018-01-02-130685: “Desarrollo de un modelo productivo novedoso para el incremento de la competitividad y rentabilidad en sistemas de cultivo extensivo de tilapia en Nayarit” cargo de la Dra. Crisantema Hernández González, por el apoyo económico para la realización de esta investigación.

A mi directora de tesis, la Dra. Crisantema Hernández González, por brindarme la oportunidad y confianza de formar parte de su equipo de trabajo. Además de haber mostrado ejemplo de liderazgo y resiliencia ante cualquier situación. Por lo cual ha marcado mi desarrollo profesional y personal de manera determinante al compartir su vasta experiencia en el ramo, así como en las relaciones interpersonales con los alumnos, el personal y funcionarios.

A los demás miembros del comité de acertadas recomendaciones para enriquecer mi trabajo de tesis: la Dra. Nayely Leyva López, Cátedras CONACYT-CIAD Unidad Mazatlán; la Dra. María Cristina Chávez Sánchez, Unidad Mazatlán; y el Dr. José Benigno Valdez Torres, Unidad Culiacán. Además de haber aportado parte de su experiencia y conocimiento en mi desarrollo académico con lo cual se fue construyendo una amalgama de virtudes las cuales serán de gran ayuda en mi desarrollo profesional.

A la M. en C. Erika Yazmín Sánchez Gutiérrez, del laboratorio de bromatología de CIAD Mazatlán, por su ayuda incondicional en la parte técnica que abarca la ejecución de análisis proximales para humedad, proteína, lípidos y cenizas; la formulación y elaboración de dietas; manejo de organismos vivos para la realización bioensayo. Asimismo, por su capacidad de resolución al conseguir materias primas importantes y el manejo de inventario para la organización de los insumos; lo cual facilitó la ejecución de las actividades propuestas en esta tesis.

A la M. en C. Selene María Abad Rosales, del laboratorio de Histopatología de CIAD Mazatlán, por su ayuda en la capacitación de técnicas histológicas en intestino. Además de ser constante

apoyo en los procedimientos y obtención de resultados. Asimismo, por su paciencia y comprensión cuando las cosas se dificultaban.

A mi compañera de clases y de laboratorio, Alondra Abigail Mesina Peña, por su ayuda incondicional en el transcurso de mi estadía en el laboratorio de nutrición.

Al alumno del Instituto Tecnológico de Durango, Ángel Ignacio Hernández Hernández, por su colaboración en la ejecución del bioensayo.

A los demás integrantes que componen el laboratorio de nutrición: Dra. Cynthia Esmeralda Lizárraga Velázquez, Daniela Arriaga Hernández, José Andrés Galeana López, Jesús Baldomero Vizcarra Valdez, Elizabeth Fernanda Cristerna Villaseñor; por su apoyo y compañía durante mi estancia en la institución.

Al Dr. Pablo Almazán Rueda que, aunque la mayoría no lo sabe, fue la persona que me motivó para ingresar al programa de maestría.

¡Gracias!

CONTENIDO

APROBACIÓN	2
DECLARACIÓN INSTITUCIONAL	3
AGRADECIMIENTOS	4
CONTENIDO	6
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE CUADROS	9
LISTA DE FÓRMULAS	10
RESUMEN	11
ABSTRACT	12
1. INTRODUCCIÓN	13
2. ANTECEDENTES	20
2.1. Efecto de la Especie Sobre el Rendimiento Productivo de Tilapia	20
2.2. Efectos de la Salinidad Sobre el Rendimiento Productivo de la Tilapia.....	20
2.3 Efecto de la Dieta a Base de Soya en el Rendimiento Productivo y Salud Intestinal de <i>O. niloticus</i> y <i>O. sp</i>	21
2.4. Efectos de la Interacción de la Especie y la salinidad en el Rendimiento Productivo de la Tilapia.....	23
2.5. Efecto de la Salinidad y la Dieta con Inclusión de Soya en el Rendimiento Productivo de la Tilapia a Través del Tiempo	23
3. HIPÓTESIS	25
4. OBJETIVOS	26
4.1. Objetivo General.....	26
4.2. Objetivos Especificos	26
5. MATERIALES Y MÉTODOS	27
5.1. Organismos de Prueba	27
5.3. Análisis Proximal de Ingredientes y Formulación de Dietas Experimentales.....	28
5.4. Alimentación	32
5.5. Evaluación Biológica.....	33
5.6. Análisis Histológico Intestinal	34
5.7. Análisis Estadístico	35
6. RESULTADOS	37
6.1. Evaluación Biológica.....	37
6.1.1. Peso Final (PF)	39
6.1.2. Tasa Específica de Crecimiento (TEC)	40
6.1.3. Biomasa Total (BT)	41
6.1.4. Consumo de Alimento (CA).....	43

CONTENIDO (Continuación)

6.1.5. Factor de Conversión Alimenticia (FCA).....	44
6.1.6. Radio de Eficiencia Proteica (REP).....	45
6.1.7. Supervivencia	46
6.2. Análisis Histológico	47
7. DISCUSIÓN	51
7.1. Evaluación Biológica.....	51
7.1.1. Peso Final (PF), Tasa Específica de Crecimiento (TEC).....	51
7.1.1.1. Efecto de la Interacción de la Especie, Salinidad y Tiempo.....	54
7.1.1.2. Efecto de la Inclusión de Soya en la Dieta.....	55
7.1.2. Biomasa Total (BT).....	55
7.1.2.1. Efecto de la Especie y el Tiempo.....	55
7.1.3. Factor de Conversión Alimenticia (FCA) y Radio de Eficiencia Proteica (REP).....	56
7.1.3.1 Efecto de la Especie y el Tiempo en el FCA y REP.....	56
7.1.4. Supervivencia	57
7.2. Análisis Histológico	57
8. CONCLUSIONES	60
9. RECOMENDACIONES	61
10. REFERENCIAS	62

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Perfil de aminoácidos de harina de soya y los requerimientos de aminoácidos de la tilapia.....	16
2	Estructura básica de la mucosa intestinal.....	18
3	Vellosidad del intestino de la tilapia.....	35
4	Incremento del peso final (PF) durante las nueve semanas de las tilapias <i>O. niloticus</i> y <i>O. sp</i> ; cultivadas a 0 ups y 25 ups; alimentadas con dietas SP25 y SP52.....	40
5	Cambio de la tasa específica de crecimiento (TEC) durante las nueve semanas en tilapias de las especies <i>O. niloticus</i> y <i>O. sp</i> ; cultivadas a 0 ups y 25 ups; alimentadas con dietas SP25 y SP52.....	41
6	Incremento de la biomasa total BT durante las nueve semanas de las especies de tilapias <i>O. niloticus</i> y <i>O. sp</i> ; cultivadas a 0 ups y 25 ups; alimentadas con dietas SP25 y SP52.....	42
7	Consumo de alimento (CA) durante las nueve semanas en las especies de tilapias <i>O. niloticus</i> y <i>O. sp</i> ; cultivadas a 0 ups y 25 ups; alimentadas con dietas SP25 y SP52.....	44
8	Incremento del factor de conversión alimenticia (FCA) durante las nueve semanas de las tilapias <i>O. niloticus</i> y <i>O. sp</i> ; cultivadas a 0 ups y 25 ups; alimentadas con dietas SP25 y SP52.....	45
9	Cambio del radio de eficiencia proteica (REP) durante las nueve semanas de las especies de tilapias <i>O. niloticus</i> y <i>O. sp</i> ; cultivadas a 0 ups y 25 ups; alimentadas con dietas SP25 y SP52.....	46
10	Cambio de la supervivencia durante las nueve semanas de las especies de tilapia <i>O. niloticus</i> y <i>O. sp</i> en salinidad de 0 y 25 ups, alimentadas con dietas SP25 y SP52.....	47
11	Corte transversal de una vellosidad del intestino anterior de tilapia <i>O. niloticus</i> y <i>O. sp</i> ; cultivadas a 0 y 25 ups; alimentadas con dietas SP25 y SP52.....	48

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Página
1 Composición proximal de ingredientes para la formulación de dietas para tilapia.....	29
2 Formulación y composición de dietas experimentales para <i>O. niloticus</i> y <i>O. sp</i> cultivadas en 0 y 25 ups.....	31
3 Perfil de aminoácidos de las dietas experimentales para <i>O. niloticus</i> y <i>O. sp</i> cultivadas en salinidades de 0 y 25 ups.....	32
4 Parámetros finales de rendimiento productivo al comparar <i>O. niloticus</i> y <i>O. sp</i> , en salinidades de 0 o 25 ups y alimentadas durante nueve semanas con dietas con 25% (SP25) o 52% (SP52) de harina de soya.....	38
5 Medidas del espesor de la submucosa y del grosor de lámina propia de las regiones anterior, medio y posterior del intestino de <i>O. niloticus</i> y <i>O. sp</i> cultivadas en 0 y 25 ups y alimentadas con SP25 y SP52.....	50

LISTA DE FÓRMULAS

Fórmula	Página
1 Peso final (PF).....	33
2 Tasa específica de crecimiento (TEC).....	33
3 Biomasa total (BT).....	33
4 Consumo individual de alimento (CA).....	33
5 Factor de conversión alimenticia (FCA).....	33
6 Radio de eficiencia proteica (REP).....	33
7 Supervivencia (S).....	33
8 Modelo estadístico.....	36

RESUMEN

La especie de tilapia *Oreochromis niloticus* presenta rápido crecimiento, posee alta tolerancia a variaciones ambientales y es posible cultivarla en cuerpos de agua salobre. Sin embargo, hay especies con mayor tolerancia a la salinidad como *Oreochromis sp.* Además, ambas especies aceptan alimentación con dietas a base de soya. El aprovechamiento de los ecosistemas estuarinos y la sustitución de harina de pescado con harina de soya en las dietas, propiciarían la sustentabilidad del cultivo de ambas especies. No obstante, una alta inclusión de harina de soya puede provocarles enteritis, por la presencia de antinutrientes. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo es evaluar la especie, salinidad y dieta como factores que afectan el rendimiento productivo a través del tiempo y salud intestinal de juveniles de tilapia (*Oreochromis spp*).

Se comparó el crecimiento de 240 organismos (2.1 ± 0.0 g) de ambas especies en salinidades de 0 y 25 ups y la eficiencia de dos dietas isoproteicas (40%) e isolipídicas (8%) con 25% (SP25) o 52% (SP52) de inclusión de harina de soya durante nueve semanas. Se evaluó la salud intestinal mediante histología, al identificar alteraciones en el intestino asociadas a enteritis: grosor de submucosa y lámina propia. Al final del experimento, la especie *O. niloticus* presentó mayor peso final (PF) y tasa específica de crecimiento (TEC % dia^{-1}) respecto a *O. sp*; y la diferencia se manifestó después de la cuarta semana, independientemente de la salinidad o la dieta. Sin embargo, su PF disminuyó a 25 ups respecto a 0 ups, para la sexta semana ($P < 0.05$); mientras que *O. sp* no se vio afectada por la salinidad. Respecto a la eficiencia de la dieta, SP52 redujo el PF y la TEC después de la sexta semana de ambas especies en cualquier condición de salinidad ($P < 0.05$). Se registró menor factor de conversión alimenticia en *O. niloticus* (1.0 ± 0.4) que *O. sp* (1.2 ± 0.5) ($P < 0.05$). La especie *O. sp* presentó mayor supervivencia (98%) que *O. niloticus* (89%) ($P < 0.05$). La dieta no mostró interacción con la especie, ni con la salinidad ($P > 0.05$). Los organismos que consumieron la dieta SP52 presentaron engrosamiento de la lámina propia (LP) en el intestino anterior ($P < 0.05$) y no se obtuvo evidencia que la salinidad afectara la morfología intestinal. Los resultados muestran que es posible el cultivo de ambas especies en salinidad de 25 ups sin afectación en la salud intestinal y la dieta no depende de la especie o salinidad.

Palabras clave: Crecimiento, histología, interacción, morfología intestinal, soya.

ABSTRACT

The tilapiine specie *Oreochromis niloticus* presents fast growing, tolerance to environment changes and it is possible to perform the culture in brackish water bodies. Nevertheless, there are other tilapia species with higher salinity tolerance as *Oreochromis sp.* Further, both species accept soybean meal-based feeding. The use of estuarine ecosystems and the substitution of fishmeal with soybean meal in diets, would promote the sustainability of the cultivation of both species. However, high soybean meal inclusion in diet can develop enteritis conditions, due to the presence of antinutrients. Therefore, the objective of this study was to evaluate the species, salinity and diet as factors that affect the growth performance over time and intestinal health of juvenile tilapia (*Oreochromis spp.*).

Growth performance of 240 organisms of both species was compared in salinities of 0 and 25 ups and the efficiency of two isoproteic (40%) and isolipidic (8%) diets with 25% (SP25) o 52% (SP52) over nine weeks. Intestinal health was evaluated identifying morphological alterations related to enteritis: thickening of submucosa (SM) and lamina propria (LP). At the end of the experiment, the specie *O. niloticus* presented higher final weight (FW) and specific growth rate (SG) regarding *O. sp* ($P<0.05$); and the differences was manifested after the fourth week, independently of salinity or diet. Nevertheless, its FW decreased at 25 ups compared to 0 ups, to the sixth week ($P<0.05$); otherwise, *O. sp* was not affected by salinity. About the diet efficiency, SP52 decrease the FW and SGR after the sixth week for both species in any salinity condition ($P<0.05$). Lower factor conversion ratio (FCR) was registered for *O. niloticus* (1 ± 0.4) compared with *O. sp* (1.2 ± 0.5) ($P<0.05$). The specie *O. sp* presented higher survival rate, 98%, than *O. niloticus*, 89% ($P<0.05$). Organisms fed with SP52 diet presented thickening of lamina propria in the proximal intestine ($P<0.05$) and there was no evidence about salinity affecting intestinal morphology. These results demonstrate the possibility of performing the culture of both species at 25 ups with no affectation in the intestinal health and the diet is not specific of the specie or salinity.

Keywords: Growth, histology, interaction, intestinal morphology, soybean.

1. INTRODUCCIÓN

La acuicultura se define como el cultivo de organismos acuáticos, tanto en zonas costeras como de interior, que implica intervenciones en el proceso de cría. Esta actividad puede proveer proteína animal de manera eficiente para el consumo humano; lo cual podría amortizar el estancamiento de la producción pesquera dado en los últimos años (FAO, 2020a).

La producción acuícola total, a nivel mundial, se ha cuadruplicado desde 1990 y ésta, para el 2018, fue de 54.3 millones de toneladas de peces de aleta superando a la producción por pesca. Además, se prevé que esta actividad siga en aumento (Tacon y Metian, 2015; FAO, 2020a).

Debido al aumento previsto de la producción acuícola antes descrito, se tienen que tomar medidas para lograr la sustentabilidad de la acuicultura; las cuales permitan la mayor obtención de productos con la mínima utilización de insumos. El cultivo de organismos de bajo nivel trófico es una opción para lograr este objetivo (Han *et al.*, 2016).

Uno de los géneros de organismos acuáticos de bajo nivel trófico es la tilapia (*Oreochromis spp*); la cual cuenta con rápido crecimiento, tolerancia a un amplio rango de variaciones ambientales (temperatura y salinidad), resistencia a estrés y enfermedades, capacidad de ser reproducida en cautiverio en un corto periodo de tiempo, y aceptación de alimentos artificiales (El-Sayed, 2006).

La especie de tilapia gris *Oreochromis niloticus*, es el tercer pez de aleta mayormente producido por medio de acuicultura. En 2018, mundialmente se produjeron 4.5 millones de toneladas de esta especie, las cuales representaron el 8.3% del total de la producción acuícola. Por otro lado, las demás especies de tilapia ocupan el décimo cuarto lugar dentro de este mismo rubro; y aportaron 1.03 millones de toneladas para el mismo año (FAO, 2020a).

México, en 2018, generó 132.7 mil toneladas de tilapia por medio de acuicultura; colocándose como el segundo organismo mayormente producido en el país; después de la producción de camarón. Del total de la producción de tilapia por acuicultura, aproximadamente 0.13 miles de toneladas fueron generadas en ambientes salobres o marinos (CONAPESCA, 2020). Esto pone en evidencia la posibilidad de aprovechar entornos estuarinos para la producción de la tilapia (Xu y Ming, 2018; Zhu *et al.*, 2018).

La capacidad de adaptación de la tilapia a diferentes salinidades se debe a que es un pez eurihalino, lo cual significa que puede adaptar sus mecanismos de osmorregulación en agua dulce y en agua

salada (El-Sayed, 2006). Al desempeñarse en agua dulce, la tilapia está expuesta a la pérdida de iones por difusión hacia un medio hiposmótico. Para esto, por medio de las branquias, retiene los iones del medio para posteriormente incorporarlo al torrente sanguíneo. Además de este mecanismo, lleva a cabo la absorción de iones de los alimentos, lo cual no ha sido ampliamente estudiado (Marshall y Grosell, 2006).

Las tilapias, cuando se desarrollan en agua salobre, necesitan incorporar agua a su cuerpo y así, mantienen su osmolaridad fisiológica. Para esto, beben agua del medio y la absorción de sus iones inicia en el esófago, posteriormente pasan al intestino, en donde se prosigue con la absorción de agua y de iones persistentes. Estos últimos, pasan a los riñones y posteriormente a las branquias para ser excretados al medio. Cabe mencionar que el intestino es el órgano clave en el cual se da la mayor parte del intercambio iónico, absorción de agua y de nutrientes (Grosell *et al.*, 2010).

El flujo de iones se lleva a cabo por medio de forma activa y pasiva. La forma activa la componen transportadores de membrana localizados en los tejidos de los órganos principales en la osmorregulación. Estos se componen por ATPasa de Na^+/K^+ (NKA), cotransportador de Na^+ , K^+ , 2Cl^- (NKCC), cotransportador Na^+/Cl^- (NCC), ATPasa tipo vacuolar H^+ (VHA); además de canales de Cl^- , Ca^+ , H^+ y HCO_3 , los cuales definen el sentido del transporte de acuerdo con las necesidades que requiera el medio (Marshall y Grosell, 2006; Esbaug, *et al.*, 2016; Wong *et al.*, 2016).

Todas las especies de tilapias cuentan con los mecanismos de osmorregulación ya mencionados. Aun así, hay especies que logran una mejor adaptación a salinidad como *O. mossambicus* y *O. hornorum* (Zhu *et al.*, 2018). La especie *O. niloticus* muestra menor tolerancia a la salinidad, en comparación con las especies mencionadas; no obstante, esta especie es la más aceptada por su capacidad de crecimiento y propiedades organolépticas (Global Aquaculture Alliance, 2020). Sin embargo, se han producido organismos híbridos, producto de cruza entre especies (*Oreochromis sp.*), capaces de tolerar alta salinidad; que preservan su capacidad de crecimiento y, además, conservan las características que la hacen comercialmente atractivas (Kamal y Mair, 2005).

La tilapia roja (*O. sp.*) tolera salinidades superiores a la del mar y puede transmitir esta característica a sus descendientes (Lutz *et al.*, 2010). Por su coloración rojiza en la piel, esta especie se cotiza en mayor precio y posee mejor aceptación entre los consumidores (Garduño-Lugo *et al.*, 2007).

La adaptabilidad que muestra la tilapia para crecer en diferentes salinidades y la disponibilidad de especies que presenten una mayor tolerancia a estas condiciones, como *O. sp.*, representan áreas de oportunidad para diversificar e implementar su cultivo en gran parte de los 11,122 km de longitud

de costa con los que cuenta México (SEMARNAT, 2018).

Al tomar en consideración las medidas anteriormente expuestas, para elevar el potencial con el que cuenta este país para el desarrollo del cultivo de tilapia, conllevaría el aumento en la demanda de alimentos balanceados (Amezcuca y Soto, 2014; Tacon y Metian, 2015).

La alimentación acuícola en general, usa como ingrediente clave a la harina de pescado para obtener mayor crecimiento ya que, este insumo posee alto contenido de proteína, un balance de aminoácidos y ácidos grasos esenciales; adecuados para la nutrición de peces. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, la demanda de alimentos para acuicultura podría ir al alza en conjunto con la actividad, lo cual podría generar un desabasto de harina de pescado. Además, el costo de la harina de pescado ha aumentado alrededor del 300% en los últimos años. Lo anterior podría restar rentabilidad a la producción acuícola y, por otra parte, restaría sustentabilidad a la actividad (Naylor *et al.*, 2000; Lam, 2006; Tacon y Metian, 2008; Olsen y Hasan, 2012).

La sustitución de harina de pescado con el uso de ingredientes vegetales, como fuentes de proteína alternativas, ha sido una línea de investigación desde hace más de dos décadas. Por lo tanto, llevar a cabo la sustitución total o parcial de harina de pescado en la alimentación acuícola; aunado con la preferencia por el cultivo de especies de bajo nivel trófico, como la tilapia, son algunas tendencias que se deben adoptar para llevar a cabo el desarrollo sustentable de la acuicultura (Han *et al.*, 2016).

La tilapia acepta alimentos con una alta inclusión de ingredientes de origen vegetal, lo cual hace posible llevar a cabo la sustitución de la harina de pescado. En las fórmulas comerciales para este organismo, se puede llegar a utilizar ingredientes vegetales con una inclusión de hasta del 88% y con un mínimo de hasta un 5% de harina de pescado; lo cual depende de la etapa de desarrollo de los organismos (Xu y Ming, 2018). De los ingredientes vegetales, la soya es el mayormente utilizado por su alto contenido de proteína (44%), además de que presenta un perfil de aminoácidos que puede satisfacer los requerimientos de la tilapia. No obstante, este ingrediente presenta la limitante en el contenido de cisteína y metionina (Figura 1). El costo por punto de proteína de la soya es más bajo comparado a la harina de pescado; el cual para 2020 registra un valor promedio de \$ 7,923 (siete mil novecientos veintitrés pesos 00/100 MXN) por tonelada, mientras que el de la harina de pescado asciende a \$ 31,486 (treinta y un mil cuatrocientos ochenta y seis pesos 00/100 MXN) por tonelada (Chiu *et al.*, 2013; Ng y Romano, 2013; GEM Commodities World Bank Group, 2020).

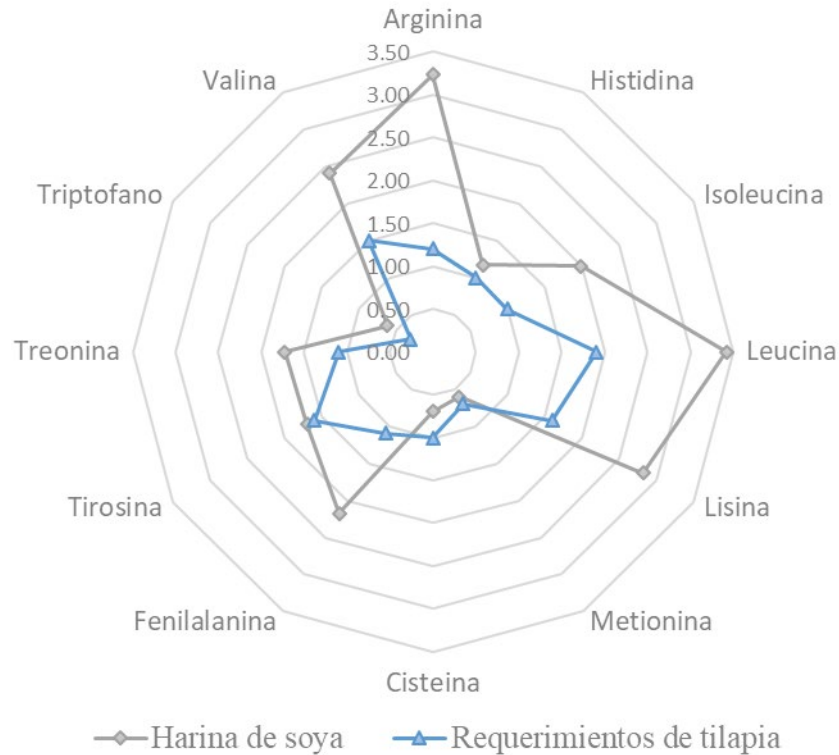


Figura 1. Perfil de aminoácidos de harina de soya y los requerimientos de aminoácidos de la tilapia. Se muestra la comparación de las proporciones de aminoácidos que componen a los dos ingredientes además de la cantidad requerida para la tilapia. Fuente: adaptado de NRC, 2011.

La harina de soya presenta las ventajas anteriormente mencionadas sobre la harina de pescado; sin embargo, su inclusión en la alimentación acuícola presenta el inconveniente de la presencia de alto contenido de antinutrientes, los cuales han sido relacionados con la disminución del crecimiento y la reducción de la eficiencia alimenticia en la tilapia (Gosh et al., 2018; Montoya-Camacho et al., 2018). Los antinutrientes se pueden definir como metabolitos secundarios, endógenos de los ingredientes vegetales, con potencial efecto dañino en la salud de quien los consume. Estos pueden interferir con el aprovechamiento de los nutrientes y son considerados como el factor que limita su utilización en los alimentos para peces (Gosh *et al.*, 2018; FAO, 2020b).

La soya contiene una composición variada de antinutrientes tales como: El ácido fítico (1) que posee propiedades quelantes e interviene en el aprovechamiento de minerales divalentes; además de formar complejos con aminoácidos que disminuyen la solubilidad de las proteínas y, consecuentemente, reduce su absorción. Las lectinas (2), es otro grupo de antinutrientes que se distinguen por su capacidad de aglutinar eritrocitos; las cuales se enlazan al epitelio del intestino y

pueden generar alteraciones en su morfología. Las saponinas (3), que han sido relacionadas con enteritis en peces, son compuestos anfipáticos los cuales forman micelas que se intercalan en la membrana, aumenta su permeabilidad y facilita la absorción de alergénicos. Los fitoestrógenos (4), tienen capacidad de enlace con receptores hormonales del núcleo, con efecto a nivel hormonal en el consumo de alimento, el metabolismo de la glucosa, los lípidos y el colesterol. Por otro lado, los inhibidores de proteasas (5) disminuyen la actividad de proteasas por medio de inhibición competitiva, lo cual merma su capacidad de catalizar la proteólisis. Además, la soya cuenta con antivitaminas (6), las cuales inhiben la absorción de las vitaminas presentes en los alimentos; entre ellos los factores antivitamina A, B12, D y E (Krogdahl y Bakke, 2015; Montoya-Camacho *et al.*, 2018; FAO, 2020b).

La condición más importante asociada a la presencia de antinutrientes en la soya se denomina enteritis, que se define como la inflamación no infecciosa del intestino (Baeverfjord y Krogdahl, 1996). Los signos típicos de este desorden intestinal son la reducción del tamaño de la mucosa, pérdida de la vacuolización supranuclear, engrosamiento de la lámina propia y la submucosa, agregación de células mononucleares (en su mayoría macrófagos y linfocitos en el epitelio), y el incremento de células Goblet en el epitelio; y, en casos severos, puede provocar la muerte del organismo (van der Ingh *et al.*, 1996; Baeverfjord y Krogdahl, 1996; Mahmoud *et al.*, 2014).

La absorción de nutrientes se lleva a cabo en el intestino y, por lo tanto, es el órgano de referencia para evaluar la salud de los peces al utilizar soya en las dietas (Bakke *et al.*, 2010). La absorción se realiza mediante la mucosa intestinal; que, a su vez, se conforma de epitelio, lámina propia y células Goblet. El epitelio es la barrera permeable que separa el lumen y la lámina propia, en donde se lleva a cabo el transporte de nutrientes. A su vez, este contiene a las células Goblet; las cuales brindan una acción protectora hacia potenciales patógenos mediante la producción de mucus. Cabe reiterar que, además de la absorción de nutrientes, el intestino también media la absorción de iones y de agua. Por lo tanto, es el órgano más importante en la osmorregulación de los peces (Grosell, 2010). En la Figura 2 se observa el esquema básico de la mucosa.

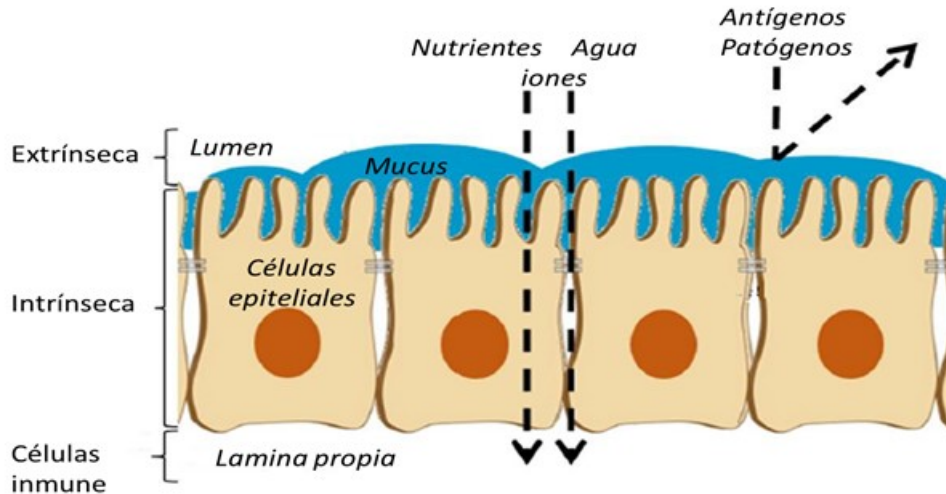


Figura 2. Estructura básica de la mucosa intestinal. Se esquematiza la forma en que se lleva a cabo la absorción de nutrientes, así como de iones y agua. Además, se muestra la forma de bloqueo a la entrada de antígenos patógenos mediante el mucus. Adaptado de Tran-Ngoc, 2017b.

Considerando lo expuesto anteriormente, la genética (especie), el ambiente (salinidad) y la composición de la dieta (nivel de inclusión de soya) son factores que pueden influir en el desarrollo del cultivo de la tilapia. Es importante evaluar la relación entre los factores mencionados y cómo se ve afectado el rendimiento productivo y la salud de los organismos (Sae-Lim, 2015). Además, se han realizado comparaciones en el rendimiento productivo de diferentes especies de tilapia (Lago *et al.*, 2017; Oliveira *et al.*, 2019); aun así, es relevante valorar la capacidad de respuesta a los factores mencionados entre las especies comerciales de tilapia. Se ha reportado que el agua salobre provoca alteraciones en la morfología intestinal en *O. niloticus* y disminución de crecimiento; no obstante, no existen aún reportes acerca de la evaluación de la salud intestinal en agua salobre de una especie que fue adaptada a agua marina, como lo es *O. sp* (García-Ulloa *et al.*, 2001; Basaio *et al.*, 2005; Kamal y Mair, 2005; El-Zaheem *et al.* 2012; Tran-Ngoc *et al.*, 2017a). Por otra parte, existen estudios que abordan la sustitución de harina de pescado con soya en dietas para tilapia (El-Saidy *et al.*, 2002; Goda *et al.*, 2007; Zhao *et al.*, 2010; Lin y Luo, 2011; Figueiredo-Silva *et al.*, 2014; Mahmoud *et al.*, 2014; Vidal *et al.*, 2015); sin embargo, aún no se ha demostrado si hay diferencia entre especies al llevar a cabo dicha sustitución; lo cual podría brindar información acerca de organismos mejor adaptados para la asimilación de este ingrediente y del manejo específico de la alimentación de cada especie.

Debido lo anteriormente expuesto, surgen las siguientes preguntas: (1) ¿de qué manera influye la

diferencia en la adaptación a la salinidad en los parámetros biológicos de la especie de tilapia de mayor importancia, *O. niloticus*, en comparación con aquella que ha sido adaptada completamente a ambientes salino, *O. sp?* (2) ¿Cómo se afectarán los parámetros biológicos de cada especie, *O. niloticus* y *O. sp*, al ser alimentadas con dietas con diferente nivel de inclusión de harina de soya? (3) ¿Cuál será el comportamiento de los parámetros biológicos al evaluar a las tilapias en diferentes condiciones de salinidad y al ser alimentadas con dietas con diferente inclusión de harina de soya? (4) ¿Cuál será el rol del tiempo de exposición de las especies *O. niloticus* y *O. sp* a condiciones de agua dulce y agua salobre y al ser alimentadas con dietas con diferente inclusión de soya? (5) ¿Cómo se verá afectada la morfología intestinal de las tilapias de acuerdo con la especie, la salinidad, la dieta y la relación entre estos factores?

Los aspectos mencionados deben ser considerados para implementar a gran escala el cultivo de tilapia en ambiente salobre. Por lo tanto, el presente trabajo se justifica desde el punto de vista científico y técnico, ya que se necesita generar conocimientos al evaluar en su conjunto dos especies de tilapia de origen comercial, bajo dos condiciones de salinidad durante su cultivo (0 y 25 ups) y alimentadas con dietas con dos niveles de inclusión de soya; para explorar la relación que existe entre los tres factores (especie, salinidad y dieta) mencionados.

El propósito del presente trabajo fue estudiar los efectos de la especie, salinidad e inclusión de soya en la dieta a través del tiempo; sobre el rendimiento productivo, así como en los cambios en la morfología intestinal relacionados a enteritis en dos especies de tilapia: *Oreochromis niloticus* y *Oreochromis sp*.

2. ANTECEDENTES

2.1 Efecto de la Especie Sobre el Rendimiento Productivo de Tilapia

Lago *et al.* (2017) compararon el crecimiento de la tilapia roja (Red-Stirling) con la tilapia gris (Chitralada) en un ensayo de 190 días. Obtuvieron que, al alimentar a saciedad con dietas comerciales (32% proteína) a machos de tilapia roja, se presentó menor peso final (PF) y tasa de crecimiento (TEC) (86 g y 1.6 % día⁻¹, respectivamente); mientras que, para el final del experimento, la tilapia gris obtuvo un PF de 143 g. Ellos mencionan que no ha habido estudios acerca de mejoramiento genético sobre la especie de tilapia roja, lo cual podría explicar su menor rendimiento en comparación con la tilapia gris.

Lo anterior se complementa con los resultados de Oliveira *et al.* (2019), quienes compararon el crecimiento de organismos con diferente valor de cría, al alimentar con dietas comerciales con 42% de proteína durante los primeros 30 días y, posteriormente, con una dieta con nivel de proteína de 35%, siguiendo las indicaciones del fabricante. Los resultados mostraron que los organismos, con un peso inicial de 1.0 ± 0.1 g, obtienen mayor tasa de crecimiento (TC) en especies provenientes de programas de mejoramiento genético; con valores máximos de TC de 3 g día⁻¹ para una especie superior, en comparación con lo logrado con una inferior con 1.2 g día⁻¹. Por lo tanto, la selección de la especie es fundamental para alcanzar mayores tallas en menor tiempo.

2.2. Efectos de la Salinidad Sobre el Rendimiento Productivo de la Tilapia

García-Ulloa *et al.* (2001) evaluaron el crecimiento y porcentaje de supervivencia de la tilapia roja (*O. sp*) cultivada en diferentes salinidades (0.5 y 32 ups) durante ocho semanas, alimentadas a saciedad con una dieta comercial (40% proteína). Los resultados de esta especie no muestran diferencias en los parámetros de crecimiento entre las distintas salinidades. Sin embargo, el factor de conversión alimenticia (FCA) obtenido a 0.5 ups (1.71), fue significativamente mayor que a 32

ups (1.35) ($P < 0.05$). Lo que podría indicar que *O. sp.*, presenta una mejor eficiencia en el uso de alimento al incrementarse la salinidad.

Basiao *et al.* (2005), por su parte, compararon el rendimiento productivo de tres líneas diferentes de *O. niloticus* (CLSU, ISRAEL y NIFI) en agua a 32 ups. Estos autores, contrastaron la tasa específica de crecimiento después de un periodo de dos semanas de ensayo. Sus resultados no muestran diferencia provocada por la especie ni por la salinidad; sin embargo, una línea proveniente de Israel mostró mayor crecimiento específico que las provenientes de Filipinas (NIFI) y Japón (CLSU); con 1.49 g, contra 1.20 y 1.24 g, respectivamente. Esto puede indicar que hay alta variabilidad dentro de esta especie a la tolerancia a la salinidad y, por ende, hay individuos de *O. niloticus* dentro de cada población que resisten en mayor medida los cambios a 32 ups.

2.3 Efecto de la Dieta a Base de Soya en el Rendimiento Productivo y Salud Intestinal de *O. niloticus* y *O. sp*

El-Saidy *et al.* (2002), evaluaron el remplazo total de la harina de pescado con harina de soya adicionada con lisina en *O. niloticus* durante 10 semanas. Sus resultados muestran que, es posible realizar la sustitución total de harina de pescado al suplementar la dieta con 0.5% de lisina ya que, no encontraron diferencias en el peso final (PF), factor de conversión alimenticia (FCA) y supervivencia; en comparación con la dieta con inclusión del 20% de harina de pescado. Por su parte, Goda *et al.* (2007) obtuvieron resultados similares en *O. niloticus*, al remplazar totalmente la harina de pescado con harina de soya y con suplemento de 0.5% de metionina y lisina. Sus resultados muestran que el FCA disminuye al utilizar soya (1.7) respecto al control (1.8), el cual estaba formulado a base de harina de pescado.

Zhao *et al.* (2010), por otra parte, observaron que se puede remplazar completamente la harina de pescado con soya al alimentar a *O. niloticus* con una frecuencia de 6 veces al día; ya que, bajo este régimen de alimentación, no obtuvieron diferencias en el PF, TCE y FCA en una dieta con 46% de harina de soya y 1.9% de metionina, respecto a una dieta con 13.5% de harina de pescado y 40% de harina de soya.

Lin y Luo (2011) encontraron que *O. sp* puede ser alimentada con una dieta con sustitución de

hasta 75% de harina de pescado con soya sin necesidad de adicionar aminoácidos, como metionina y lisina. Por otro lado, para la misma especie, Figueiredo-Silva *et al.* (2014) demostraron que es posible lograr la sustitución del 100% de la harina de pescado, con harina de soya con adición mínima de 1.2% de metionina. Los anteriores estudios muestran resultados similares entre especies, lo cual podría demostrar que el aprovechamiento de la soya podría ser similar.

Se ha observado que el rendimiento productivo de la tilapia puede no verse disminuido con la suplementación adecuada de aminoácidos en dietas a base de soya. No obstante, se le han atribuido efectos negativos en la salud intestinal a la alta inclusión de harina de soya además de su incidencia en el crecimiento de la tilapia. Por ejemplo, Mahmoud *et al.* (2014) vieron que, en *O. niloticus*, al utilizar dietas con 43% de inclusión de harina de soya y suplementación del 0.2% de metionina (sin harina de pescado), se presenta una condición de enteritis moderada; la cual se manifiesta en cambios en la mucosa intestinal e infiltración de linfocitos. Además de estos autores obtuvieron reducción de crecimiento y eficiencia alimenticia con esta dieta, comparada con un control con inclusiones de 20% de harina de pescado y 24 % de harina de soya; lo cual atribuyen a la disminución de la ingesta de alimento y a la presencia de enteritis inducida por la soya. Sin embargo, la digestibilidad aparente promedio de la proteína de soya es de aproximadamente 97%, lo cual significa que hay una asimilación eficiente de este ingrediente (Vidal *et al.*, 2015).

Lo anterior podría indicar que, a pesar de ser un ingrediente altamente aceptado por la tilapia, contiene antinutrientes los cuales afectan su integridad intestinal. Al respecto, Tran-Ngoc *et al.* (2019) observaron que, al suministrar una alimentación con una dieta compuesta por 30 % de harina de soya y 70% de una dieta referencia (48% de harina de pescado, 36% harina de trigo, 10% de salvado de trigo), disminuye el PF y la TEC respecto a aquellos peces a los cuales se suministró sólo la dieta referencia. Estos autores atribuyen esta reducción del crecimiento debido a que la soya, a pesar de obtener 98% de proteína aparentemente digerible, provoca engrosamiento de la lámina propia y aumento de células Goblet en el intestino anterior; debido a la presencia de antinutrientes.

2.4. Efectos de la Interacción de la Especie y la salinidad en el Rendimiento Productivo de la Tilapia

Kamal y Mair (2005), realizaron la hibridación de líneas superiores de *O. niloticus* con *O. mossambicus*. Posteriormente, compararon crecimiento y supervivencia entre especies e híbridos. Solo observaron efecto de la especie y, los resultados muestran que, *O. niloticus* reduce su peso ganado (PG) a 32 ups en comparación con 0 ups con valores de 398 y 622g, respectivamente ($P < 0.05$). La misma tendencia se observó en la supervivencia, al registrar 96% en agua dulce y 67% en agua salada, con diferencia entre ambos tratamientos. En cambio, al evaluar los mismos parámetros para *O. sp*, estos se mantienen estables en ambas salinidades. Además, se observa que, *O. sp* muestra una biomasa ganada a 32 ups sin diferencia respecto a *O. niloticus* en condiciones de 0 ups.

El-Zaheem *et al.* (2012), por su parte, compararon el crecimiento de *O. sp* y *O. niloticus* en diferentes salinidades: 0, 16 y 32 ups. Los autores reportan que la especie presenta significancia para las variables de peso ganado (PG), tasa específica de crecimiento (TEC), factor de conversión alimenticia (FCA) y tasa de eficiencia proteica (PER). Además, la salinidad presentó efecto y afecta de forma negativa en los mismos parámetros a partir de 16 ups, en ambas especies. Los estudios anteriores podrían indicar que no todas las familias de *O. sp* tienen la misma tolerancia a salinidad. Por lo cual, la selección de la línea genética es fundamental para un buen desempeño en este ambiente.

2.5. Efecto de la Salinidad y la Dieta con Inclusión de Soya en el Rendimiento Productivo de la Tilapia a Través del Tiempo

Tran-Ngoc *et al.* (2017a) realizaron un ensayo en el cual se valoraron dos dietas. El control, con inclusión 50/50 de harina de soya y harina de pescado; y otra dieta con sustitución total de harina de pescado con harina de soya. Además, se evaluaron dos salinidades: 0 y 15 ups. Se demostró que no hay efecto significativo de la salinidad en el PF, TCE, FCA y supervivencia. Sin embargo, la

inclusión de harina de soya de las dietas sí fue significativa en estas variables; al implicar efectos negativos de la dieta alta en soya en el crecimiento y FCA. Además, obtuvieron que la salinidad de 15 ups y la dieta alta en soya provocaron cambios en la morfología intestinal; y se manifiesta con el incremento en el espesor de la submucosa (SM), de la lámina propia (LP) y del número de células Goblet. Sin embargo, no hubo evidencia de interacción entre la dieta y la salinidad.

Aunado a lo anterior, los cambios en la morfología intestinal se manifestaron a través del tiempo en donde, la dieta alta en soya provoca el engrosamiento de lámina propia, como se mencionó anteriormente, y esta condición se hace más evidente para la octava semana.

3. HIPÓTESIS

(1) La especie *O. niloticus* presenta mayor rendimiento productivo (crecimiento, FCA y supervivencia) a 0 ups respecto a 25 ups. El rendimiento productivo de la especie *O. sp* no es afectado por la salinidad y, al cultivarla a 25 ups presenta un rendimiento productivo similar a *O. niloticus* cultivada a 0 ups.

(2) No hay diferencia al comparar el rendimiento productivo (crecimiento, FCA y supervivencia) de *O. niloticus* y *O. sp*, al alimentar con dietas con inclusión del 25%, sin suplementación de aminoácidos, y 52% de harina de soya, con suplementación de 0.2% de metionina.

(3) Al cultivar en condiciones de salinidad de 0 ups y 25 ups, las dietas con inclusión del 25% y 52% de harina de soya no provocan diferencia en el rendimiento productivo (crecimiento, FCA y supervivencia) de ambas especies de tilapia (*O. niloticus* y *O. sp*).

(4) Las posibles diferencias en el rendimiento productivo (crecimiento, eficiencia alimenticia y supervivencia) entre *O. sp* y *O. niloticus* cultivadas a 0 y 25 ups de salinidad, se manifiestan a través del transcurso del tiempo.

(5) La dieta con 52% de harina de soya aumenta el grosor de la lámina propia y submucosa de ambas especies, *O. niloticus* y *O. sp*, en comparación con una dieta con 25% de harina de soya. Asimismo, la salinidad de 25 ups aumenta el grosor de lámina propia y submucosa en *O. niloticus*, respecto a la salinidad 0 ups; mientras que, *O. sp* no se ve afectada en ninguna condición de salinidad.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

Evaluar la especie, salinidad y dieta como factores que afectan el rendimiento productivo a través del tiempo y la salud intestinal de juveniles de tilapia (*Oreochromis spp*)

4.2. Objetivos Específicos

- (1) Determinar la relación entre la especie y la salinidad sobre las variables de respuestas de crecimiento, FCA y supervivencia.
- (2) Determinar la relación entre la especie y la dieta sobre las variables de respuestas de crecimiento, FCA y supervivencia.
- (3) Determinar la relación entre la salinidad y la dieta sobre las variables de respuestas de crecimiento, FCA y supervivencia.
- (4) Evaluar la relación del tiempo con la especie, la salinidad y la dieta sobre las variables de respuestas de crecimiento, FCA y supervivencia.
- (5) Evaluar los efectos de la especie, la salinidad, la dieta y la relación entre ellos sobre el grosor de la submucosa y de la lámina propia de las regiones anterior, medio y posterior del intestino de las tilapias.

5. MATERIALES Y MÉTODOS.

5.1 Organismos de Prueba

Se llevó a cabo un bioensayo de alimentación durante nueve semanas con juveniles de *O. niloticus* y *O. sp.* La especie *O. niloticus* se obtuvo del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Instituto Politécnico Nacional, con dirección en Calle Dos No. 23, Ciudad del Conocimiento Tepic, Nayarit. México, C.P. 63173. La especie *O. sp.* se obtuvo de Productos Pesqueros De Topolobampo, S.A. De C.V. con dirección en Cerro de Gallinas y Aduanas, Topolobampo, Sinaloa.

5.2 Sistema de Cultivo

El área de bioensayo estuvo conformada por 24 tanques circulares de 80 cm de diámetro, altura de nivel de 30 cm y volumen de operación de 120 L. Diariamente, se realizaron recambios de agua de 10 al 30% del volumen total. Se ingresaron 10 juveniles de peso promedio de 2.1 ± 0 g por tanque, equivalente a una densidad de 20 organismos m^{-2} (INAPESCA, 2018). Los tratamientos se asignaron de forma aleatoria y se tomó en cuenta cada tanque como la unidad experimental. Al inicio del ensayo se obtuvo el peso promedio inicial de los peces y la biomasa inicial presente en cada tanque.

Se evaluaron dos salinidades: 0 ups y 25 ups. La salinidad de 25 ups se obtuvo mediante el mezclado de agua dulce (0 ups) y agua salada (34 ups). Los organismos se aclimataron a la salinidad de 25 ups al incrementar 5 ups diariamente, durante cinco días. Se mantuvieron en dicha condición durante una semana, previa al inicio del bioensayo (Larumbe-Moran *et al.*, 2010). Se mantuvo un fotoperiodo de 10 horas de luz y 14 de oscuridad. Los parámetros de calidad de agua se mantuvieron en los siguientes valores: temperatura de $27.7^{\circ}C$, el oxígeno disuelto de 5.5 mgL^{-1} y salinidad de 0 y 25 ups; los cuales fueron monitoreados dos veces al día. El pH, la concentración de amonio y nitritos se monitoreó cada tercer día; y se mantuvieron con valores promedio de 7.5,

0.07 mgL⁻¹ y 0.05 mgL⁻¹, respectivamente. Estas condiciones se encuentran dentro de los límites recomendados para el cultivo de tilapia (INAPESCA, 2018).

5.3 Análisis Proximal de Ingredientes y Formulación de Dietas Experimentales

Se determinó la composición de los ingredientes y de las dietas formuladas (Cuadro 1), utilizando métodos estándares (AOAC, 2011). La determinación de humedad se realizó por diferencia de peso mediante el método 4.1.06, al secar en horno HNA-1200 DP (Craft, México) durante 5 h a 105°C. La proporción de proteína cruda (N x 6.25) fue estimada mediante el método 12.1.07 utilizando el método Kjeldahl con un digestor Micro Digestor y un destilador RapidStill I (Labconco, Kansas City, USA). El contenido de grasa cruda se obtuvo mediante el método 4.5.05, al utilizar un micro FOSS Soxtec Avanti 2050 Automatic System (FOSS Soxtec, Hoganäs, Suecia). La cantidad de ceniza fue determinada por diferencia de pesos mediante el método 31.1.05, después de la calcinación en una mufla Felissa FE-340 a 550°C (Fabricantes Feligneo, S. A. de C.V., México).

Cuadro 1. Composición proximal de ingredientes para la formulación de dietas para tilapia.

	Porcentaje de Ingrediente							
	Harina de subproductos de atún ^a	Harina de soya ^b	Pulido de arroz ^c	Harina de trigo ^d	Harina de sorgo ^c	Harina de carne y hueso ^b	Hidrolizado de subproductos pesqueros (vísceras) ^a	Gluten de maíz ^c
Humedad	10.0±0.06	10.0±0.08	8.5±0.07	14.0±0.05	10.3±0.03	5.2±0.01	52.4±1.23	8.7±0.04
Proteína	60.0±0.07	44.2±0.34	12.8±0.70	10.0±0.40	6.8±0.20	43.1±0.77	30.3±0.15	59.7±0.09
Grasa	10.0±0.21	1.2±0.07	15.8±0.04	0.9±0.01	4.0±0.17	12.5±0.12	5.7±0.01	5.2±0.06
Ceniza	19.3±0.08	6.1±0.03	8.5±0.10	4.3±0.05	1.6±0.03	35.4±0.23	3.8±0.01	7.7±0.23
ELN*	0.72	38.47	54.43	72.2	77.35	3.78	7.88	18.72

*ELN: Extracto libre de nitrógeno (Calculado $ELN=100-Humedad-Proteína-Grasa-Ceniza$). Los valores están dados en base húmeda descritos por la media \pm desviación estándar (n=3). ^aMaz Industrial, S.A. de C.V. Mazatlán, Sinaloa ^b Proteínas marinas y Agropecuarias, S.A. of C.V., Guadalajara, Jalisco, México. ^c Casa del ganadero. ^dMunsa, S.A. de C.V.

Se formularon dos dietas isoproteicas e isolipídicas siguiendo la metodología de Hernández et al. (2016) con 40% de proteína cruda y 8% de lípidos crudos para juveniles de tilapia (García-Ulloa, 2001; El-Sayed, 2006).

La dieta SP25 se formuló con un nivel de inclusión de 25% de harina de soya y 25% de harina de pescado; esto se realizó con base en lo descrito anteriormente en donde se menciona que es posible la sustitución del 75 % de harina de pescado sin obtener diferencias respecto a una dieta a base de harina de pescado (Lin y Luo, 2011; Montanhini-Neto y Ostrensky, 2014). La dieta SP52 se realizó con un nivel de 52% de harina de soya y 5% de harina de pescado ya que, se ha reportado que comercialmente se utiliza una baja inclusión de harina de pescado alrededor de los valores propuestos (Cuadro 2) (Chiu et al., 2013; Xu y Ming, 2018).

Se incluyeron harinas vegetales, harina de carne y hueso e hidrolizado de subproductos de pescado en niveles constantes; con la finalidad de complementar el requerimiento proteico y, asimismo, llevar a cabo el uso de insumos regionales los cuales puedan servir como complemento en la dieta de tilapias. Para cubrir el requerimiento lipídico, se utilizó como fuente de lípidos aceite de soya. No se utilizó aceite de pescado ya que podría intervenir en los resultados de crecimiento.

Se realizó el balance teórico de aminoácidos y con base en este, a la dieta SP52 se le incluyó metionina y lisina para lograr el perfil de aminoácidos que requiere la especie. Asimismo, se obtuvo el requerimiento teórico de fósforo para la tilapia y se calculó el contenido teórico de fosforo adicionado por los ingredientes, posteriormente se obtuvo la cantidad de fosfato dibásico de calcio para cubrir con las necesidades teóricas de la tilapia (NRC, 2011).

Se incorporó a las dietas una cantidad de alginato y de lecitina de soya como emulsionantes. Además, se incorporó almidón para compensar la pérdida de agua en el momento del proceso de secado.

Cuadro 2. Formulación y composición de dietas experimentales para *O. niloticus* y *O. sp* cultivadas en 0 y 25 ups

Ingrediente (g/100 g)	Dietas experimentales	
	SP25	SP52
Harina de pescado ^a	25	5
Harina de soya ^b	25	52.3
Pulido de arroz ^c	1.2	1.2
Harina de trigo ^d	1.2	1.2
Harina de sorgo ^c	0.5	0.5
Harina de carne y hueso ^b	1	1
Hidrolizado de subproductos pesqueros (vísceras) ^a	8	8
Gluten de maíz ^c	18	18
Aceite de soya ^c	2.4	4.1
Lecitina de soya (70%) ^f	3	3
Fosfato dibásico de calcio ^g	-	0.2
Alginato ^h	1	1
Mineral premix ⁱ	0.15	0.15
Vitamina C ^j	0.2	0.2
Lisina	-	0.1
Metionina	-	0.2
Taurina	0.8	0.8
Cloruro de colina	0.05	0.05
Antioxidante ^k	0.05	0.05
Vitamina premix ⁱ	0.15	0.15
Almidón	2.62	2.62
Carotenoides ^j	0.18	0.18
Celulosa	9.5	-
Total	100	100
Composición proximal (g/100g base húmeda)		
Humedad	7.79±0.09	7.99±0.06
Proteína	41.70±0.20	41.47±0.34
Grasa	7.90±0.21	7.98±0.07
Ceniza	8.93±0.16	6.21±0.22
ELN*	33.69	36.35

Los valores de composición de cada dieta están descritos por la media ± desviación estándar (n=3) *Extracto libre de nitrógeno (ELN=100-(%Humedad+%Proteína+%Grasa+%Ceniza). ^a Maz Industrial, S.A. de C.V. Mazatlán, Sinaloa; ^b Proteínas marinas y Agropecuarias, S.A. of C.V., Guadalajara, Jalisco, México; ^c Casa del ganadero, Mazatlán, Sinaloa, México.; ^d Munsá, S.A. de C.V., Mazatlán, Sinaloa, México. ^e Proteínas Naturales, S.A. de C.V., Monterrey, Nuevo León, México; ^f Droguería Cosmopolita, S.A. de C.V., México D.F., México; ^g J.T. Baker® ELN; ^h SigmaAldrich Chemical, S.A. de C.V. Toluca, Estado de México, Mexico; ⁱ Trouw Nutrition México S.A. de C.V. Pre-mezcla mineral: Manganeso, 100 g; Zinc, 160 g; Hierro, 200 g; Cobre, 20 g; Yodo, 5 g; Selenio, 0.40 mg; Cobalto 0.60 mg f Pre-mezcla de vitaminas: Vitamina A, 2400 IU o mg/g; Vitamina D3, 2250 IU; Vitamina E, 160 g; Vitamina K3, 8.00 g; Vitamina B1, 20.00 g; Vitamina B2, 40.00 g; Acido Pantoténico, 60.00 g; Acido Nicotínico, 160.00 g; Vitamina B6, 16.00 g; Ácido Fólico, 4.00 g; Vitamina B12, 80 mg; Biotina, 500 mg; Vitamina C, .2 g; ^j DSM Nutritional Products Mexico S.A. de C.V., El Salto, Jalisco, México. ^k Butyl hydroxytoluene (Dresen, Quimica, S.A. de C.V.).

Se determinó el perfil de aminoácidos en cada dieta, para verificar que se cumplan los requerimientos teóricos de la tilapia (Cuadro 3); mediante la técnica para la detección y cuantificación de aminoácidos por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC por sus siglas en inglés) utilizando un equipo Varian Pro-Star modelo 510 (Varian Inc., USA) de acuerdo con el método de Vázquez-Ortiz *et al.* (1995).

Cuadro 3. Perfil de aminoácidos de las dietas experimentales para *O. niloticus* y *O. sp* cultivadas en salinidades de 0 y 25 ups.

Aminoácidos	Requerimientos de tilapia*	SP25	SP52
Arginina	1.2	4.89±0.08	4±0.08
Fenilalanina	1.1	1.64±0.12	1.7±0.16
Histidina	1	3.37±0.03	3.04±0.1
Isoleucina	1.8	1.03±0.04	1.39±0.01
Leucina	1.9	2.62±0.21	2.63±0.13
Lisina	1.4	1.41±0.01	1.43±0.03
Metionina	0.8	1.13±0.07	1.55±0.13
Tirosina	1.6	5.09±0.09	5.88±0.59
Treonina	1.1	3.86±0.02	3.47±0.36
Valina	1.6	1.16±0.09	1.1±0.11

Los valores están expresados en gAA/100 g de alimento y son descritos por la media ± desviación estándar (n=3). *NRC, 2011

5.4 Alimentación

Las tilapias fueron alimentadas diariamente cinco veces al día a las 9:00, 11:00, 13:00, 15:00 y 17:00 h, durante nueve semanas; se llevó el registro diario del alimento consumido. Al inicio del ensayo los peces se alimentaron al 10% de la biomasa total, se mantuvo en observación durante media hora. Posteriormente, la ración se aumentaba o disminuía en un porcentaje adicional no mayor del 1% entre cada alimentación, dependiendo de la demanda por parte de los organismos.

5.5 Evaluación Biológica

Al inicio del bioensayo todos los peces fueron pesados individualmente, posteriormente cada dos semanas y el muestreo final se realizó en la novena semana (semana 2, 4, 6, 8 y 9) para determinar los parámetros biológicos. De cada muestreo, se evaluó el crecimiento mediante el peso final (PF), tasa específica de crecimiento (TEC), biomasa total (BT); la eficiencia alimenticia por medio del consumo individual de alimento (CA), factor de conversión alimenticia (FCA), radio de eficiencia proteica (REP); y se realizó el cálculo del porcentaje de supervivencia (S). Estas variables se calcularon de la siguiente manera:

$$PF (g) = \frac{\text{Biomasa total}}{\text{Número de peces}} \dots (1)$$

$$TEC (\%/día) = \frac{\ln(\text{peso final}) - \ln(\text{peso inicial})}{\text{Número de días}} * 100 \dots (2)$$

$$BT (g) = \Sigma \text{Peso individual de cada pez por tanque} \dots (3)$$

$$CA (g) = \frac{\text{Alimento total consumido}}{\text{Número de peces}} \dots (4)$$

$$FCR = \frac{\text{Alimento consumido (g)}}{\text{Biomasa total} - \text{Biomasa inicial}} \dots (5)$$

$$REP = \frac{\text{Proteína consumida (g)}}{\text{Biomasa total} - \text{Biomasa inicial}} \dots (6)$$

$$S (\%) = \frac{\text{Número de peces final}}{\text{Número de peces inicial}} * 100 \dots (7)$$

5.6 Análisis Histológico Intestinal

El análisis histológico se llevó a cabo mediante la toma de dos organismos por réplica. Previamente los peces fueron anestesiados con clavo con una concentración de 100 mg L^{-1} (Rucinke *et al.*, 2017), para después realizar la disección y obtener el intestino. Este órgano fue preservado en formalina neutralizada al 10%, durante un mínimo de 24 h. De cada pez, se cortaron segmentos aleatorios de 1 cm de cada parte del intestino: proximal (ciego pilórico del estómago hacia el espiral), medio (espiral), posterior (de la parte final de la espiral hasta 2 cm antes del ano) (Pirarat *et al.*, 2011; Tran-Ngoc *et al.*, 2016).

El procesamiento de la muestra se llevó a cabo mediante los procedimientos estandarizados del Laboratorio de Histopatología (CIAD Mazatlán). Para esto, los segmentos se deshidrataron, mediante lavados de etanol y xileno utilizando el equipo Tissue-Tek II 4640B (Sakura Finetechnical, Co., LTD; Tokio, Japón). Posteriormente, se realizó la inmersión en parafina de cada sección del intestino en un solo bloque, posicionados de manera perpendicular al bloque; posteriormente se enfrió para solidificar la parafina. Lo anterior se realizó utilizando el equipo Histoembedder (Leica Instruments GmbH, Alemania).

Se obtuvieron láminas con corte transversal de $5 \mu\text{m}$ de los bloques, utilizando un microtomo Leica RM2125RT (Leica Biosystems; Buffalo Grove, IL, USA). Las láminas se extendieron, mediante un baño de agua a $60 \text{ }^\circ\text{C}$ con el equipo Tissue Floating Bath Premiere XH-1001 (C&A Scientific, USA); una vez extendidas, se montaron en portaobjetos.

Cada lámina montada en el portaobjetos se rehidrató mediante lavados de xilol a etanol y por último en agua destilada, para posteriormente realizar la tinción de hematoxilina y eosina. Una vez teñidas las muestras, se deshidrataron mediante lavados de etanol a xileno y se recubrieron con resina.

Del conjunto de características del proceso inflamatorio ocasionado por la soya, se eligió solamente medir el grosor de la lámina propia (LP) y de la submucosa (SM); mediante la metodología de Tran-Ngoc *et al.* (2017a). Para ello se analizaron cuatro vellosidades de cada corte, a cada una se midió el grosor de la lámina propia (LP) y submucosa (SM), como se muestra en la Figura 3; para cada sección del intestino (anterior, medio y posterior). Del total de mediciones se obtuvo el promedio de cada pez y, a su vez, se obtuvo la media de cada variable de respuesta por réplica (Tran-Ngoc *et al.*, 2017a). Este análisis se realizó mediante la toma de fotografías con un

microscopio de luz Olympus CX41 (Olympus Co, Tokyo, Japón), con un adaptador Olympus U-CMAD3 (Olympus Co., Tokyo, Japón) y cámara MicroPublisher 3.3 RTV (Qimaging, Canadá). Las imágenes fueron analizadas con el software Infinity Analyze (Teledyne Lumenera, Ottawa, ON, Canadá).

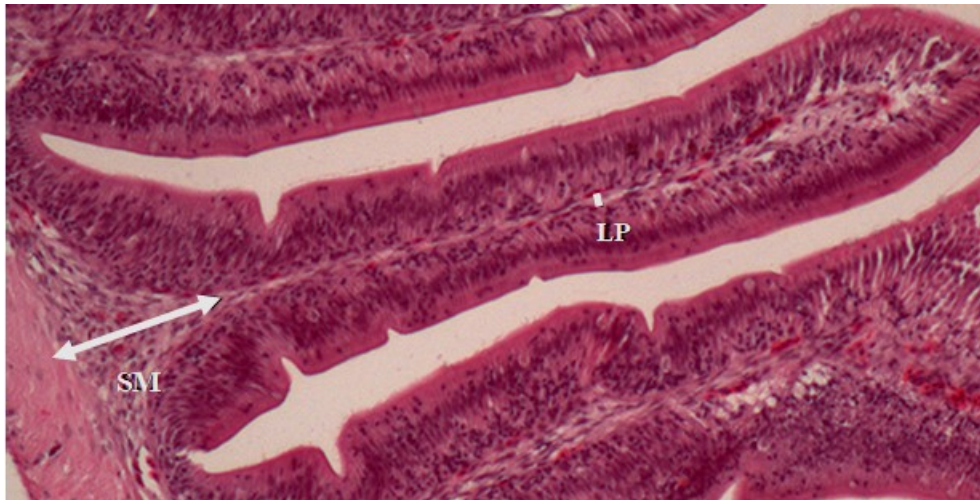


Figura 3. Vellosidad del intestino de la tilapia. Se muestra una vellosidad completa del intestino en la cual se indica la dirección de las mediciones que se realizaron al grosor de la submucosa (SM) y lámina propia (LP). SM: distancia entre el músculo y la intersección de inicio de la lámina propia. LP: capa delgada de células debajo del epitelio. H&E. 10x.

5.7 Análisis Estadístico

Los tratamientos se estructuraron mediante un arreglo factorial de tres factores con dos niveles (2^3), con medidas repetidas en el tiempo. Los factores consistieron en dietas con inclusiones de soya (SP25 y SP52), las especies *Oreochromis niloticus* y *Oreochromis sp*, concentraciones de sal de 0 y 25 ups y nueve semanas de experimentación. Cada unidad experimental consistió en un tanque con 10 peces y se realizaron tres réplicas por tratamiento. Se determinó el rendimiento productivo: crecimiento, consumo de alimento, factor de conversión alimenticia (FCA), eficiencia proteica (PER) y supervivencia.

El análisis estadístico se realizó con el programa R versión 3.1.2 (R Development Core Team, 2012). Para los resultados de la evaluación biológica, se siguieron dos estrategias para visualizar

los resultados. La primera consiste en la evaluación de cada variable de respuesta por tratamiento en donde, cada tratamiento consistía en la agrupación de los tres factores especie, salinidad y dieta a través del tiempo; y se obtuvo un total de ocho tratamientos. Las diferencias se establecieron mediante un ANOVA de una vía y, en caso de presentar efecto, se realizó prueba de Tukey con la librería CAR para comparar entre medias. La segunda estrategia fue la evaluación del efecto de cada factor (especie, salinidad, dieta y tiempo) al ajustar los resultados a un modelo de máxima verosimilitud restringida (mediante la función *lmer*, de la paquetería lme4); en donde se anidaron los factores especie, salinidad y tiempo en cada tanque (Oliver *et al.*, 2000). El modelo utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + S_i + D_j + E_k + B_{ijkl} + t_m + ES_{ki} + ED_{jl} + SD_{ij} + Et_{km} + St_{im} + Dt_{jm} + e_{ijkl} \dots (8)$$

Donde Y_{ijkl} la variable de respuesta; μ , la media general; S_i , efecto de la salinidad i ; D_j , efecto de la dieta j ; E_k , efecto de la especie k ; B_{ijkl} , tanque l en la salinidad i y la dieta j y la especie k ; t_m , tiempo m ; ES_{ki} , efecto de la interacción de la salinidad i con la especie k ; ED_{jl} , efecto de la interacción de la dieta j con el especie k ; SD_{ij} , efecto de la interacción de la salinidad i con la dieta j ; Et_{km} efecto de la interacción de la especie K con el tiempo m ; St_{im} efecto de la interacción de la salinidad i con el tiempo m ; Dt_{jm} efecto de la interacción de la dieta j con el tiempo m ; e_{ijkl} , efecto del error asociado con la observación de la salinidad i con la dieta j de la especie k y el tiempo m .

Se determinó si existe efecto en los factores principales e interacciones, mediante la función *Anova* de la paquetería CAR; y se consideró un valor de significancia de $P < 0.05$.

Los resultados de histología, a diferencia de los resultados de la evaluación biológica, se obtuvieron sin medidas repetidas en el tiempo. Se siguieron las dos estrategias anteriormente mencionadas, (1) evaluar por tratamiento y (2) por factores, con la diferencia de que se evaluaron mediante ANOVA de tres vías utilizando la función *aov*, considerando los factores especie, salinidad, dieta y sus interacciones; y se estableció la presencia de diferencias con valores de $P < 0.05$. Se verificó gráficamente los supuestos de normalidad y homocedasticidad mediante análisis de residuales, al graficar con el comando *Plot* cada modelo analizado. En caso de no ser datos normales, se realizó Kruskal-Wallis con la función *kruskal test* de la paquetería CAR (Booman M *et al.*, 2018).

6. RESULTADOS

6.1. Evaluación Biológica

La Cuadro 4 muestra los valores finales obtenidos de las variables de crecimiento, eficiencia alimenticia y supervivencia de los ocho tratamientos; después de nueve semanas de experimentación. Se muestran las diferencias entre los tratamientos. Para explicar estas diferencias, se incluyen los efectos en los factores principales, así como sus interacciones. El crecimiento está representado por PF, TEC y BT. La eficiencia alimenticia fue representada por el CA, el FCA y el PER; por último, se obtuvo el porcentaje de supervivencia (S). Los efectos de los factores fueron evaluados con los valores obtenidos de cada muestreo durante las nueve semanas. Para la representación de la evolución con el tiempo se graficaron las variables evaluadas y se comparó entre tratamientos para un mismo periodo; y con esto, se establecieron diferencias. Se asignaron acrónimos a cada tratamiento y estos se presentan a continuación:

O. niloticus + salinidad 0 ups + dieta SP25 = E_{nil_S0_D25}

O. niloticus + salinidad 0 ups + dieta SP52 = E_{nil_S0_D52}

O. niloticus + salinidad 25 ups + dieta SP25 = E_{nil_S25_D25}

O. niloticus + salinidad 25 ups + dieta SP52 = E_{nil_S25_D52}

O. niloticus + salinidad 0 ups + dieta SP25 = E_{sp_S0_D25}

O. niloticus + salinidad 0 ups + dieta SP52 = E_{sp_S0_D52}

O. niloticus + salinidad 25 ups + dieta SP25 = E_{sp_S25_D25}

O. niloticus + salinidad 25 ups + dieta SP52 = E_{sp_S52_D52}

Cuadro 4. Parámetros finales de rendimiento productivo al comparar *O. niloticus* y *O. sp.*, en salinidades de 0 o 25 ups y alimentadas durante nueve semanas con dietas con 25% (SP25) o 52% (SP52) de harina de soya.

	E _{nil} S ₀ D ₂₅	E _{nil} S ₀ D ₅₂	E _{nil} S ₂₅ D ₂₅	E _{nil} S ₂₅ D ₅₂	E _{sp} S ₀ D ₂₅	E _{sp} S ₀ D ₅₂	E _{sp} S ₂₅ D ₂₅	E _{sp} S ₂₅ D ₅₂	Efecto (P<0.05)
PI (g)	2.2 ± 0	2.1 ± 0	2.2 ± 0	2.2 ± 0	2.2 ± 0	2.2 ± 0	2.2 ± 0	2.2 ± 0	
PF (g)	92.6±0.4 ^a	75.9±7 ^b	54.3±3.1 ^c	46.9±11.1 ^c	30.9±5.8 ^d	24.1±6.5 ^d	31.3±3.9 ^d	27.2±5.6 ^d	T***, E***, S***, D**, ExS***, Tx(E,S,D)***
TEC (%/día)	5.6±0.0 ^a	5.3± 0.1 ^{ab}	4.8±0.1 ^{bc}	4.5±0.4 ^c	3.9±0.3 ^d	3.5±0.5 ^d	4.0±0.2 ^d	3.7±0.3 ^b ^d	T***, E***, D*, ExT**
BT (g)	710±118 ^a	612±141 ^{ab}	421±118 ^{bc}	387±87 ^{bcd}	293±78 ^{cd}	236±72 ^d	313±397 ^{cd}	272±56 ^{cd}	T***, E***, ExT***
CA (g)	90.1±4.8 ^a	90.4±10.9 ^a	79.1±4.1 ^a	58.5±11.8 ^b	38.4±6.0 ^c	32.9±5.1 ^c	35.5±2.3 ^c	32.5±4.8 ^c	T***, E***, S***, D**, ExS***, Tx(E,S,D)***
FCA	1.0±0.1 ^a	1.2±0.2 ^{ab}	1.5±0.2 ^{bc}	1.3±0.1 ^{abc}	1.4±0.1 ^{bc}	1.6±0.3 ^c	1.2±0.1 ^{ab}	1.3±0.1 ^{abc}	T***, E*
REP	2.5±0.1 ^a	2.0±0.3 ^{ab}	1.6±0.2 ^b	1.8±0.2 ^b	1.8±0.2 ^b	1.6±0.3 ^b	2.0±0.1 ^b	1.9±0.2 ^b	T***, E*
S (%)	77±12 ^d	80±14 ^{cd}	77±17 ^{bc}	83±12 ^{bc}	93±9 ^{ab}	97±5 ^a	100±0 ^a	100±0 ^a	T***, E***, ExT***

Los valores (la media ± SD, n=3) con superíndice distinto muestran existencia de diferencias significativas entre tratamiento P<0.05 (Prueba de Tukey). Superíndices a, b, c, d muestran diferencias entre tratamientos. E_{nil}_S₀_D₂₅ = *O. niloticus* + salinidad 0 ups + dieta SP25; E_{nil}_S₀_D₅₂ = *O. niloticus* + salinidad 0 ups + dieta SP52; E_{nil}_S₂₅_D₂₅ = *O. niloticus* + salinidad 25 ups + dieta SP25; E_{nil}_S₂₅_D₅₂ = *O. niloticus* + salinidad 25 ups + dieta SP52; E_{sp}_S₀_D₂₅ = *O. sp.* + salinidad 0 ups + dieta SP25; E_{sp}_S₀_D₅₂ = *O. sp.* + salinidad 0 ups + dieta SP52; E_{sp}_S₂₅_D₂₅ = *O. sp.* + salinidad 25 ups + dieta SP25; E_{sp}_S₂₅_D₅₂ = *O. sp.* + salinidad 25 ups + dieta SP52. PI= Peso promedio inicial, PF= peso promedio final, TEC= Tasa específica de crecimiento; AI= Alimento individual consumido; BT= Biomasa total, CA= alimento ingerido, FCA= Factor de conversión alimenticia, REP=Radio de eficiencia proteica, S= Supervivencia. Efecto de los factores principales T=Tiempo, E=Especie, D=Dieta y S=Salinidad y la interacción entre factores denotada por "Factor x (Factor)": P<0.05; ** P<0.01; ***P<0.001

6.1.1 Peso Final (PF)

Al final de las nueve semanas el PF se vio afectado por los tres factores: la especie, la salinidad y la dieta. Además, se presentó interacción entre la especie y la salinidad; asimismo, la interacción de la especie, la salinidad y la dieta con el tiempo fueron significativas (Cuadro 4). Esto pone en evidencia que, desde el punto de vista de la especie, el PF de los tratamientos con *O. niloticus* ($E_{nil_S0_D25}$; $E_{nil_S0_D52}$; $E_{nil_S25_D25}$ y $E_{nil_S25_D52}$), son mayores que aquellos con *O. sp* ($E_{sp_S0_D25}$; $E_{sp_S0_D52}$; $E_{sp_S25_D25}$ y $E_{sp_S25_D52}$); independientemente de la salinidad y la dieta ($P < 0.05$).

La salinidad de 25 ups disminuyó el crecimiento en *O. niloticus* ya que, en esta condición de salinidad, se obtuvo un menor PF en comparación con 0 ups ($P < 0.05$). Por otra parte, los tratamientos que implican a *O. sp* ($E_{sp_S0_D25}$, $E_{sp_S0_D52}$, $E_{sp_S25_D25}$ y $E_{sp_S25_D52}$) no fueron afectados por el factor salinidad ($P > 0.05$). Al verse disminuido el PF en *O. niloticus* al incrementar la salinidad de 0 a 25 ups, mientras que el de la especie *O. sp* es similar en ambas condiciones, se denota la interacción de la especie y la salinidad en donde se puede decir que el PF de *O. niloticus* es susceptible a aumentos en la salinidad, mientras que el *O. sp* no es afectada.

La dieta con mayor inclusión de soya (SP52) disminuye el PF de *O. niloticus* al comparar con la dieta con menor inclusión de soya (SP25) ($P < 0.05$). Mientras tanto, *O. sp* no muestra diferencia en el PF, respecto a la dieta, entre las diferentes condiciones evaluadas ($P > 0.05$).

Las diferencias entre los factores evaluados se manifestaron a través del tiempo (Figura 4). La especie *O. niloticus* presenta mayor PF que *O. sp* a partir de la cuarta semana. Sin embargo, el PF de la especie *O. niloticus* decrece a 25 ups a partir de la octava semana, respecto al valor registrado para 0 ups; mientras que la especie *O. sp* no se ve afectada por la salinidad en el periodo de evaluación. Finalmente, el efecto de la dieta se manifiesta a partir de la octava semana para ambas especies en donde, la dieta SP52 disminuye el PF respecto a SP25.

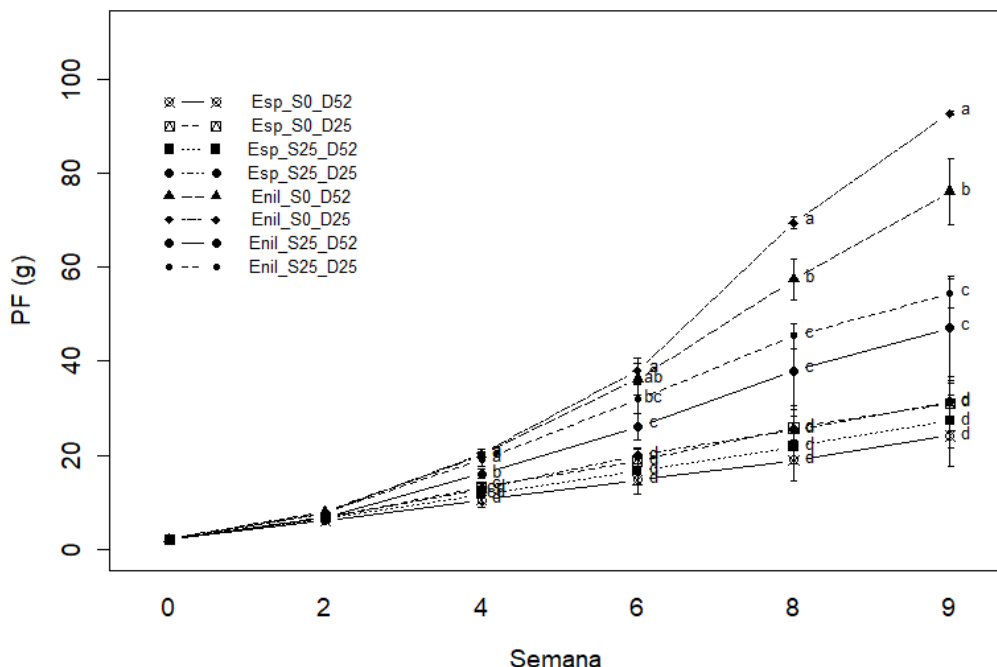


Figura 4. Incremento del peso final (PF) durante las nueve semanas de las tilapias *O. niloticus* y *O. sp.*; cultivadas a 0 ups y 25 ups; alimentadas con dietas SP25 y SP52. Los valores (la media \pm SD, n=3) con superíndice a, b, c, d, muestran diferencia entre tratamientos ($P < 0.05$; Prueba de Tukey).

6.1.2 Tasa Específica de Crecimiento (TEC)

Las diferencias en la TEC fueron determinadas por la especie, la dieta y el tiempo. Asimismo, la interacción de la especie y el tiempo (Cuadro 4). Esto evidencia que, sin importar la dieta o la salinidad, la especie *O. niloticus* muestra una mayor TEC en todos los tratamientos ($E_{nil_S0_D25}$, $E_{nil_S0_D52}$, $E_{nil_S25_D25}$ y $E_{nil_S25_D52}$) en comparación con *O. sp.* ($E_{sp_S0_D25}$, $E_{sp_S0_D52}$, $E_{sp_S25_D25}$ y $E_{sp_S25_D52}$). La mayor TEC se registró para *O. niloticus* en 0 ups de salinidad y alimentada con las dos dietas ($E_{nil_S0_D25}$ y $E_{nil_S0_D52}$) ($P > 0.05$). Por otra parte, *O. niloticus* a 0 ups con la dieta con mayor inclusión de soya ($E_{nil_S0_D52}$) resultó similar a la misma especie a 25 ups con la dieta con menor inclusión de soya ($E_{nil_S25_D25}$) ($P > 0.05$); pero fue significativamente mayor que cuando a *O. niloticus* se cultiva a 25 ups y se alimenta con una dieta con inclusión de 52% de harina de soya ($E_{nil_S25_D52}$) ($P < 0.05$). Por otra parte, se pudo observar que la especie *O. sp.* no fue afectada por la salinidad ya que, los tratamientos con esta especie, independientemente de la salinidad ($E_{sp_S0_D25}$; $E_{sp_S0_D52}$; $E_{sp_S25_D25}$ y $E_{sp_S25_D52}$) no

muestran diferencias entre sí ($P > 0.05$).

La dieta SP52 disminuye la TEC, en comparación de SP25, y es importante reiterar que *O. niloticus* obtiene resultados similares en la TEC para *O. niloticus* a 0 ups y dieta SP52 ($E_{nil_S0_D52}$) en comparación con *O. niloticus* a 25 ups alimentada con SP25 ($E_{nil_S25_D25}$) ($P > 0.05$). Respecto a *O. sp*, esta especie no se ve influenciada por la dieta ($P > 0.05$).

Las diferencias entre especies anteriormente mencionadas se manifiestan a través del tiempo (Figura 5). *Oreochromis niloticus* presenta mayor TEC que *O. sp* a partir de la octava semana en todos los tratamientos evaluados ($P < 0.05$).

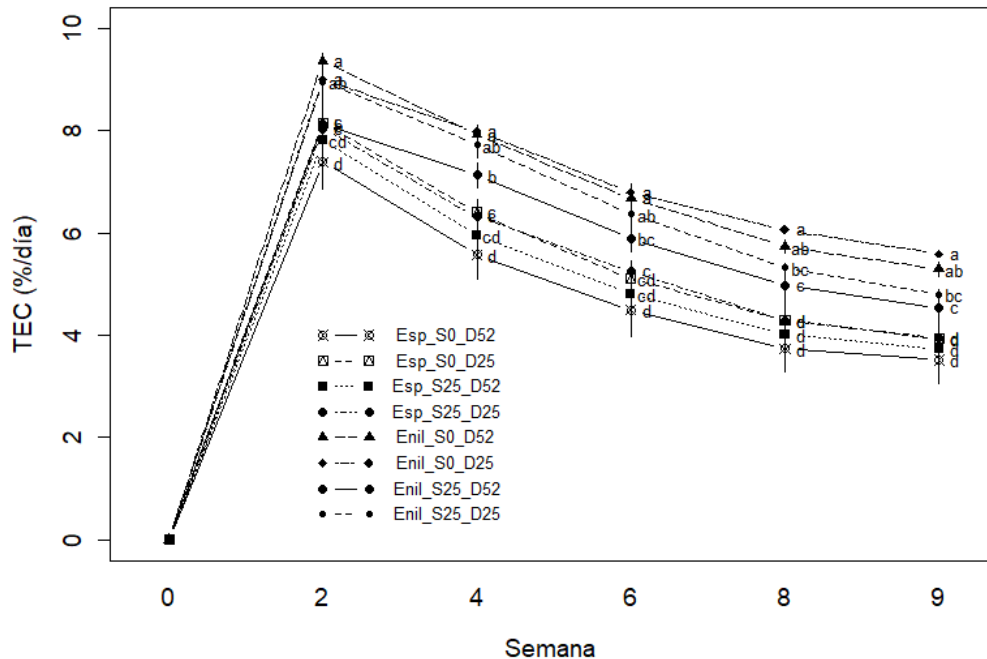


Figura 5. Cambio de la tasa específica de crecimiento (TEC) durante las nueve semanas en tilapias de las especies *O. niloticus* y *O. sp*; cultivadas a 0 ups y 25 ups; alimentadas con dietas SP25 y SP52. Los valores (la media \pm SD, $n=3$) con superíndice a, b, c, d, que muestran diferencia entre tratamientos ($P < 0.05$; Prueba de Tukey).

6.1.3 Biomasa Total (BT)

Las diferencias en la BT se manifestaron debido a los factores especie, tiempo y su interacción

(Cuadro 4). Los tratamientos con la especie *O. niloticus*, en agua dulce y alimentada con ambas dietas mostraron valores mayores respecto con los tratamientos con la especie *O. sp* ($P < 0.05$). Sin embargo, *O. niloticus* en 0 ups alimentada con la dieta SP52 no muestra diferente BT respecto a cuando se cultiva a la misma especie en 25 ups y es alimentada con las dietas SP25 o SP52 ($P > 0.05$). La BT obtenida para la tilapia roja (*O. sp*) cultivada en 0 ups o 25 ups, no muestran diferencias respecto a *O. niloticus* cultivada en 25 ups, cuando ambas especies son alimentadas con las dos dietas experimentales ($P > 0.05$).

Respecto al efecto de la dieta, no se observaron diferencias debido a este factor con la tilapia gris cultivada a 0 ups ($P > 0.05$). Así mismo, la misma especie cultivada a 25 ups y alimentada con cualquiera de las dietas experimentales presentó BT similar ($P > 0.05$). Por otro lado, la especie *O. sp* no presentó diferencias entre los tratamientos ($P > 0.05$).

La Figura 6 muestra cómo el tiempo mostró interacción con la especie ya que, a partir de la sexta semana, las diferencias en el BT entre *O. niloticus* y *O. sp* se hacen evidentes; donde la primera especie mencionada muestra una mayor BT.

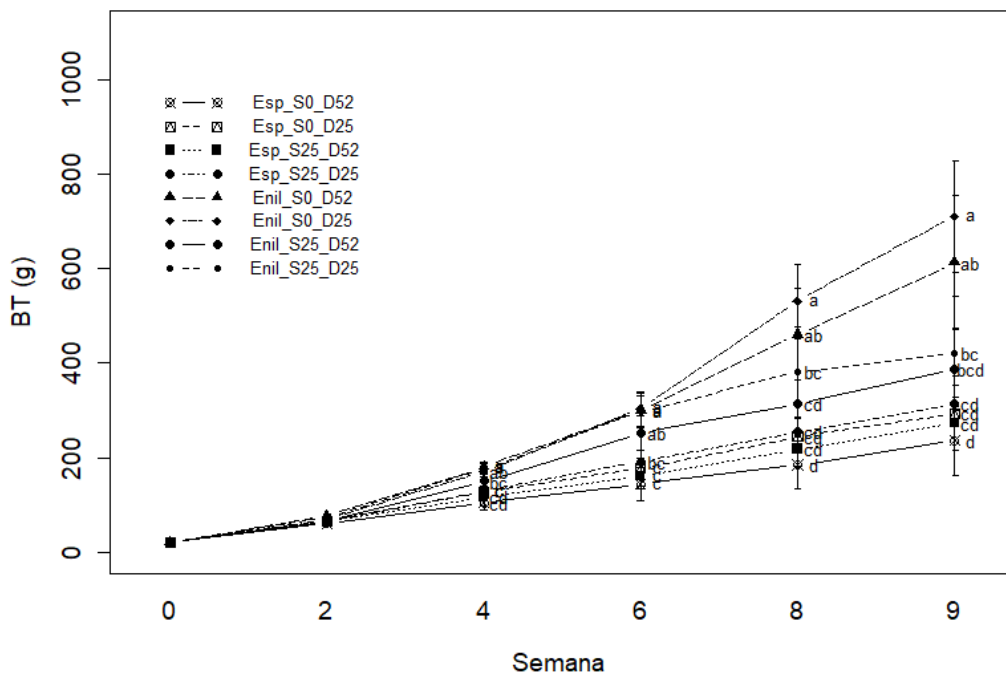


Figura 6. Incremento de la biomasa total BT durante las nueve semanas de las especies de tilapias *O. niloticus* y *O. sp*; cultivadas a 0 ups y 25 ups; alimentadas con dietas SP25 y SP52. Los valores (la media \pm SD, $n=3$) con superíndices a, b, c, d, muestran diferencias entre tratamientos ($P < 0.05$; Prueba de Tukey).

6.1.4 Consumo de Alimento (CA)

El CA mostró efecto en la especie, la salinidad, la dieta, el tiempo; además de la interacción de la salinidad y la especie, y el tiempo con la especie, salinidad y la dieta. Las diferencias entre especies se observan debido a que *O. niloticus*, cultivada en 0 o 25 ups y alimentadas con cualquiera de las dos dietas, presentó mayor CA que la *O. sp* en condiciones equivalentes.

La salinidad disminuyó el consumo ya que, el CA en *O. niloticus* en agua dulce ($E_{\text{nil_S0_D25}}$ y $E_{\text{nil_S0_D52}}$) es mayor que cuando se cultiva a esta especie a 25 ups con una dieta alta en soya ($E_{\text{nil_S25_D52}}$); sin embargo, no muestran diferencia respecto a la misma especie en condiciones de salinidad de 25 ups con la dieta con menor inclusión de harina de soya ($E_{\text{nil_S25_D25}}$). Por otra parte, el CA de *O. sp* no fue afectado por este factor; ya que, no hay diferencia entre tratamientos que la involucren independientemente de la salinidad.

La dieta SP52 disminuyó el CA y, se observa que en *O. niloticus*, a pesar de no mostrar diferencias entre las dietas a 0 ups ($E_{\text{nil_S0_D25}}$ y $E_{\text{nil_S0_D52}}$) ($P < 0.05$), su CA disminuye en salinidad de 25 ups al ser alimentada con la dieta SP52 ($E_{\text{nil_S25_D25}}$) respecto a la dieta SP25 ($E_{\text{nil_S25_D52}}$) ($P < 0.05$). En cuanto a la tilapia roja, *O. sp*, no hay diferencia entre los tratamientos que indiquen que la dieta disminuya el CA ($P > 0.05$).

El CA, además, presentó interacción del tiempo con la especie, la salinidad y la dieta. En la Figura 7, se observa que a partir de la cuarta semana se muestran las diferencias en el consumo de alimento entre los tratamientos con *O. niloticus*; cuando ésta es cultivada a 0 o 25 ups y alimentada con las dietas experimentales ($P < 0.05$). La salinidad disminuye el CA en *O. niloticus* para la octava semana, mientras que este factor no afecta a los tratamientos con *O. sp*. La dieta SP52, por su parte, disminuye la CA para la octava semana en *O. niloticus*.

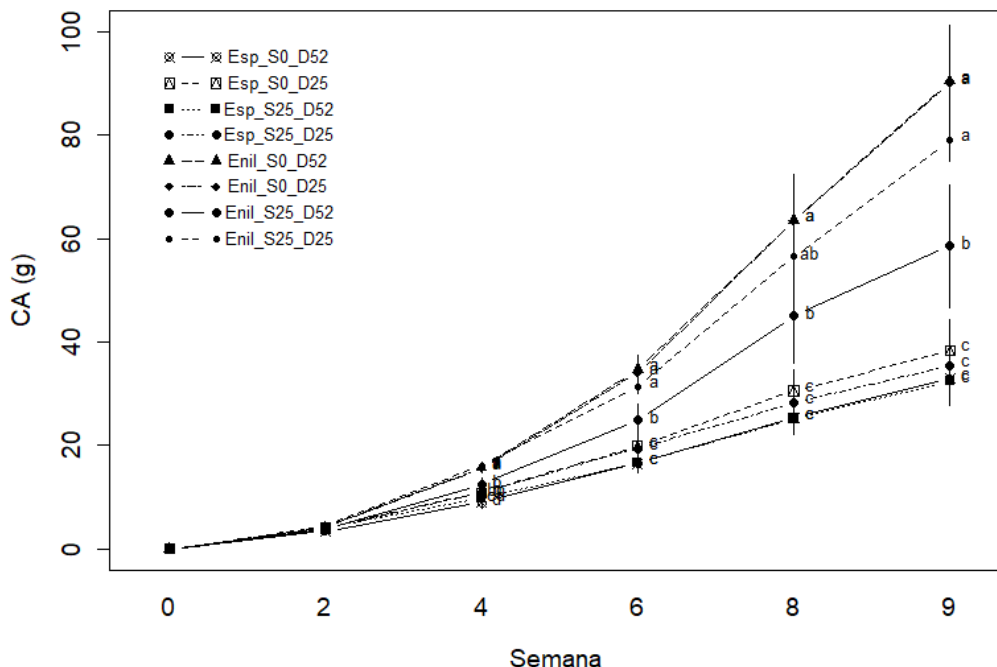


Figura 7. Consumo de alimento (CA) durante las nueve semanas en las especies de tilapias *O. niloticus* y *O. sp*; cultivadas a 0 ups y 25 ups; alimentadas con dietas SP25 y SP52. Los valores (la media \pm SD, n=3) con superíndice a, b, c que muestran diferencia entre tratamientos ($P < 0.05$; Prueba de Tukey).

6.1.5 Factor de Conversión Alimenticia (FCA)

Los valores finales del FCA se muestran en la Cuadro 4, donde se observa que las diferencias entre tratamientos mostraron efecto en los factores especie y tiempo ($P < 0.05$). Para el final de las nueve semanas, *O. niloticus* registra en promedio un valor de FCA de 1.0, mientras que los de *O. sp* resultaron en un valor promedio de 1.2 ($P < 0.05$). El FCA más bajo para *O. niloticus* se registró a 0 ups con la dieta con baja inclusión de harina de soya (*E_{nil_S0_D25}*); el cual no difiere con la misma especie en condiciones de salinidad de 0 y 25, pero alimentadas con dieta alta en soya (*E_{nil_S0_D52}* y *E_{nil_S25_D52}*) ($P > 0.05$). Estos últimos dos tratamientos, a su vez, solo muestra diferencia respecto *O. sp* en agua dulce con dieta alta en soya (*E_{sp_S0_D52}*) ($P < 0.05$).

En la Figura 8, se observa que el FCA fue aumentando a medida que transcurre el tiempo con una tendencia determinada y las diferencias son marcadas por la especie.

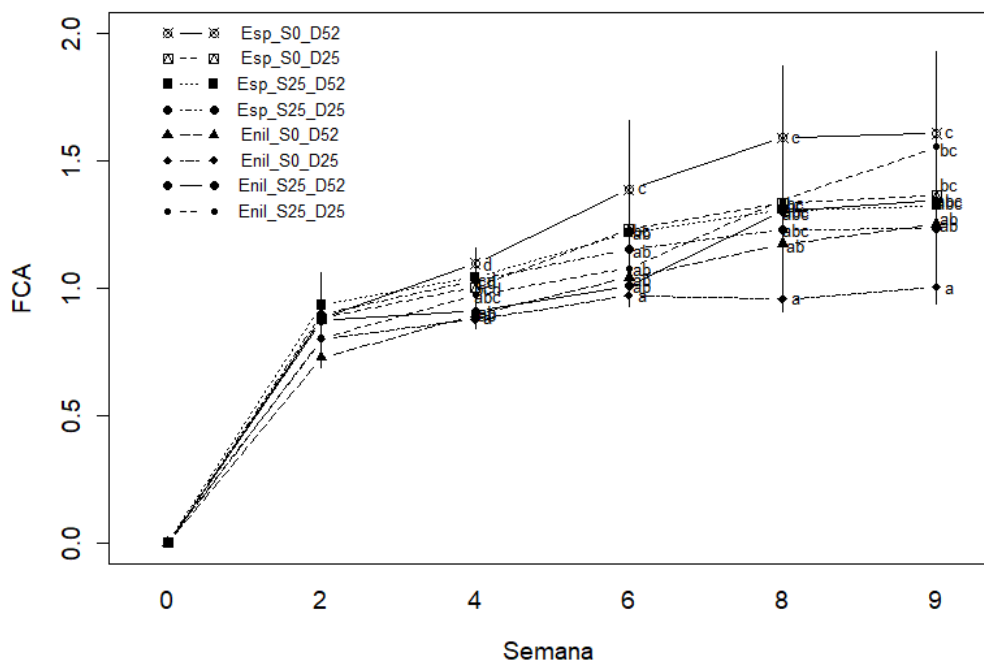


Figura 8. Incremento del factor de conversión alimenticia (FCA) durante las nueve semanas de las especies de tilapias *O. niloticus* y *O. sp.*; cultivadas a 0 ups y 25 ups; alimentadas con dietas SP25 y SP52. Los valores (la media \pm SD, n=3) con superíndice a, b, c, muestran diferencias entre tratamientos ($P < 0.05$; Prueba de Tukey).

6.1.6 Radio de Eficiencia Proteica (REP)

Al igual que el FCA, el REP presentó efecto en la especie y el tiempo; sin mostrar interacción entre estos factores. Los resultados mostrados en la Cuadro 4, indican que *O. niloticus* en 0 ups y dieta SP25 ($E_{nil_S0_D25}$), muestra mayor REP; seguido por la misma especie en dicha condición de salinidad con la dieta SP52 ($E_{nil_S0_D52}$) ($P > 0.05$). Sin embargo, este último tratamiento no es diferente a los demás tratamientos independientemente de la especie, salinidad o la dieta ($P > 0.05$). La Figura 9 esquematiza el cambio del REP a través del tiempo. En ésta se puede apreciar que, esta variable disminuye de manera constante en las nueve semanas en ambas especies, independientemente de la salinidad o la dieta. Sin embargo, la especie *O. niloticus*, decrece su PER de manera más acelerada a partir de la sexta semana a niveles similares a aquellos tratamientos con *O. sp.*; a excepción de $E_{nil_S0_D52}$ ($P < 0.05$).

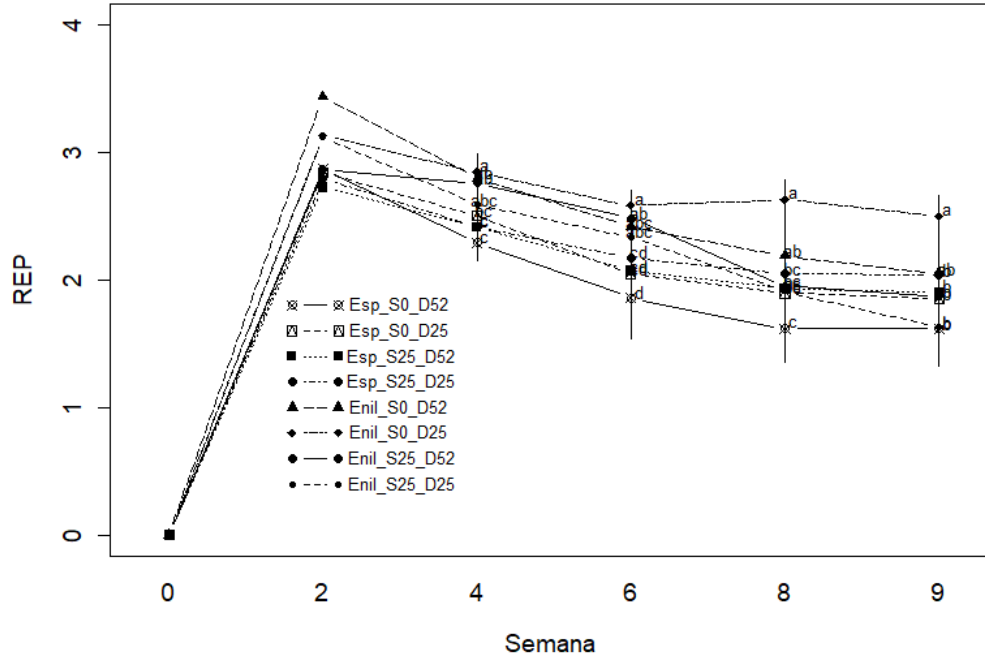


Figura 9. Cambio del radio de eficiencia proteica (REP) durante las nueve semanas de las especies de tilapias *O. niloticus* y *O. sp*; cultivadas a 0 ups y 25 ups; alimentadas con dietas SP25 y SP52. Los valores (la media \pm SD, n=3) con superíndice a, b, c, d muestran diferencias entre tratamientos ($P < 0.05$; Prueba de Tukey).

6.1.7 Supervivencia

La Cuadro 4 muestra que hubo efecto en la especie, el tiempo y su interacción en la supervivencia ($P < 0.05$). Los tratamientos con *O. niloticus* registraron en promedio 89% de supervivencia; valor menor en comparación con *O. sp*, que obtuvo 98% de supervivencia ($P < 0.05$). Sin embargo, los tratamientos con *O. niloticus* cultivada a 25 ups, independientemente de la dieta (*E_{nil_S25_D25}* y *E_{nil_S25_D52}*) fueron similares al tratamiento con *O. sp* a 0 ups con dieta SP25 (*E_{sp_S0_D25}*) ($P > 0.05$).

La salinidad y la dieta no implicaron efecto en la supervivencia ya que, los tratamientos que implican a *O. niloticus*, a 0 y 25 ups, con dietas SP25 y SP52 son similares entre sí ($P > 0.05$). Asimismo, con los tratamientos que implican a *O. sp* no son diferentes, independientemente de la salinidad y la dieta ($P > 0.05$).

El tiempo y su interacción con la especie se pueden apreciar en la Figura 10. Se observa que la diferencia entre especies se manifiesta a partir de la cuarta semana, donde en *O. niloticus* disminuye

constantemente hasta el final del experimento. Por otra parte, la supervivencia de *O. sp* se sostuvo después de la sexta semana hasta el final del experimento.

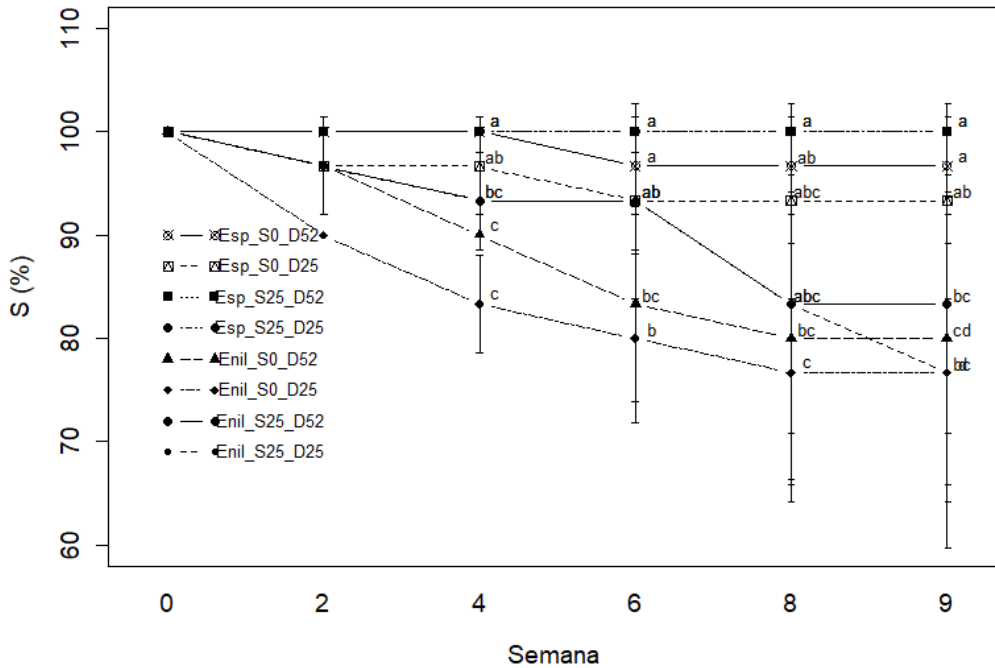


Figura 10. Cambio de la supervivencia durante las nueve semanas de las especies de tilapia *O. niloticus* y *O. sp* en salinidad de 0 y 25 ups, alimentadas con dietas SP25 y SP52. Los valores (la media \pm SD, n=3) con superíndice a, b, c muestran diferencias entre tratamientos ($P < 0.05$, Prueba de Tukey). Escala de las ordenadas acotada del 60% a 110%.

6.2. Análisis Histológico

Los resultados de las mediciones de submucosa (SM) y lámina propia (LP) de las regiones anterior, medio y posterior del intestino para el análisis histológico se muestran en la Cuadro 5. Las diferencias se manifiestan en la LP de la región anterior del intestino y son influenciadas por la especie ($P < 0.01$), la salinidad ($P < 0.01$) y la dieta ($P < 0.05$). La Figura 11, pone en manifiesto una vellosidad con su medida respectiva de LP de cada tratamiento.

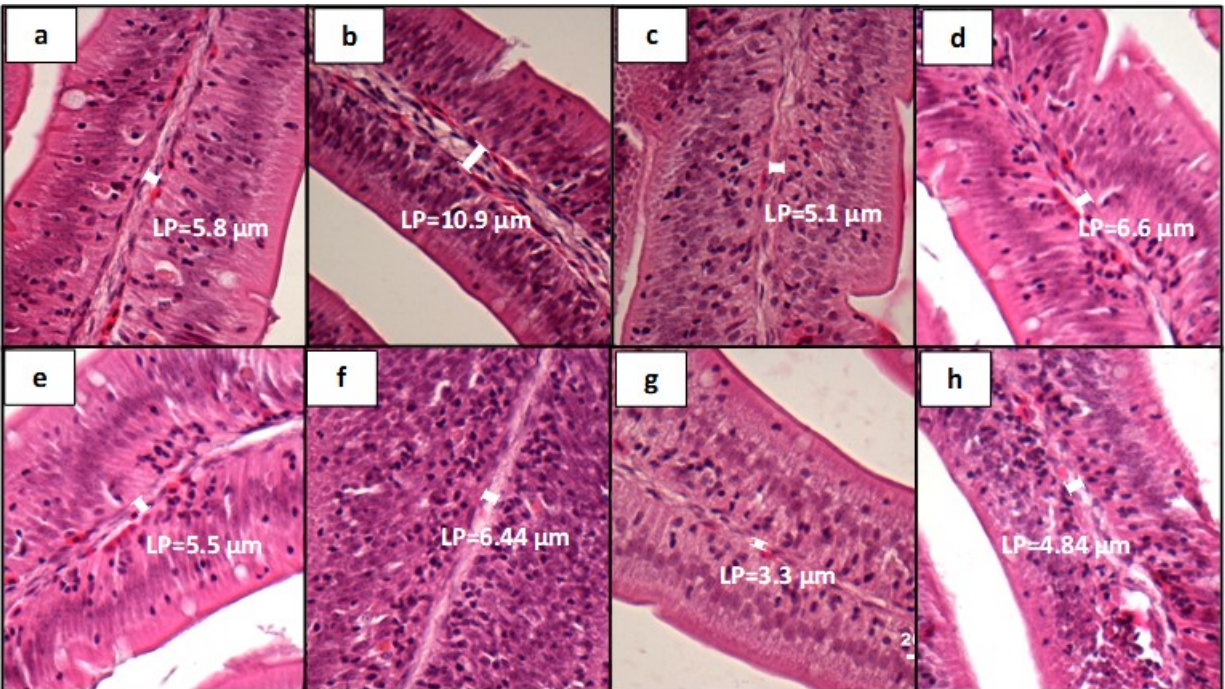


Figura 11. Corte transversal de una vellosidad del intestino anterior de tilapia *O. niloticus* y *O. sp*; cultivadas a 0 y 25 ups; alimentadas con dietas SP25 y SP52. Se muestran (a) $E_{nil_S0_D25}$; (b) $E_{nil_S0_D52}$; (c) $E_{nil_S25_D25}$; (d) $E_{nil_S25_D52}$; (e) $E_{sp_S0_D25}$; (f) $E_{sp_S0_D52}$; (g) $E_{sp_S25_D25}$; (h) $E_{sp_S25_D52}$. Se muestra la longitud de la lámina propia en micrómetros (μm). H&E. 40x.

El tratamiento con mayor longitud de la LP fue con la especie *O. niloticus* en 0 ups ($E_{nil_S0_D52}$, seguido de $E_{nil_S0_D25}$ ($P < 0.05$). Estos, a su vez, son mayores a aquellos con la especie *O. sp* a 25 ups con ambas dietas ($E_{sp_S25_D25}$ y $E_{sp_S25_D52}$) ($P < 0.05$); sin embargo, estos últimos no muestran diferencia entre ellos ($P > 0.05$).

La salinidad influye de manera en que, el agua dulce propicia engrosamiento de la LP; ya que, estas diferencias se presentan comparando entre tratamientos a 0 y 25 ups. Por ejemplo, el tratamiento con *O. niloticus* a 0ups con dieta SP25 ($E_{nil_S0_D25}$) presentó mayor grosor en la lámina propia en comparación con la misma especie a 25 ups alimentada con la misma dieta ($E_{nil_S25_D25}$); esto se puede apreciar en la Cuadro 5 ($P < 0.05$). Por otra parte, la lámina propia cuando *O. niloticus* se cultivó a 0 ups con dieta SP52 ($E_{nil_S0_D52}$) es mayor que cuando la misma especie se cultiva a 25 ups con dicha dieta ($E_{nil_S25_D52}$) ($P < 0.05$). Estas diferencias se manifiestan en mayor medida en *O. niloticus* ya que, los tratamientos con *O. sp* ($E_{sp_S0_D25}$, $E_{sp_S0_D52}$, $E_{sp_S25_D25}$, $E_{sp_S25_D52}$), no muestran diferencias entre sí ($P > 0.05$), independientemente de la salinidad.

Respecto a la dieta, la dieta SP52 produce aumento en el grosor de la LP; tal y como se aprecia en

el tratamiento con *O. niloticus* a 0 ups con dieta alta en soya ($E_{nil_S0_D52}$), que presenta mayor magnitud en esta variable que cuando a la misma especie en 0 ups se alimenta con dieta SP25 ($E_{nil_S0_D25}$) ($P < 0.05$). A pesar de esto, los tratamientos con *O. niloticus* a 25 ups con ambas dietas ($E_{nil_S25_D25}$ y $E_{nil_S25_D52}$) son similares entre sí ($P > 0.05$). Por otra parte, *O. sp* no se ve influenciado por la dieta; ya que los tratamientos que la involucran, independientemente de la dieta, no difieren entre sí ($P > 0.05$).

La SM no presentó efecto de la especie, salinidad o dieta en ninguna región del intestino ($P > 0.05$). Sin embargo, cuando la especie *O. niloticus* es cultivada a 0 ups y se alimenta con dieta SP52 ($E_{nil_S0_D52}$) muestra mayor el engrosamiento de la SM de la región anterior del intestino y es diferente a *O. sp* a salinidad de 25 ups y con dieta SP25 ($E_{sp_S25_D25}$) ($P < 0.05$), la cual mostró el menor grosor de la SM.

Cuadro 5. Medidas del espesor de la submucosa y del grosor de lámina propia de las regiones anterior, medio y posterior del intestino de *O. niloticus* y *O. sp* cultivadas en 0 y 25 ups y alimentadas con SP25 y SP52.

	E _{nil}	E _{nil}	E _{nil}	E _{nil}	E _{sp}	E _{sp}	E _{sp}	E _{sp}	Efecto (P<0.05)
	S ₀	S ₀	S ₂₅	S ₂₅	S ₀	S ₀	S ₂₅	S ₂₅	
	D ₂₅	D ₅₂	D ₂₅	D ₅₂	D ₂₅	D ₅₂	D ₂₅	D ₅₂	
Anterior									
SM (µm)	62.8±6.7 ^{ab}	68.3±14.2 ^a	61.3±10.2 ^{ab}	52.9±5.3 ^{ab}	61.6±5.2 ^{ab}	57.7±8.2 ^{ab}	61.6±10.2 ^{ab}	48.5±5.3 ^b	E**, S** y D*
LP (µm)	7.3±1.6 ^b	9.8±1.0 ^a	5.1±0.2 ^c	6.5±0.2 ^{bc}	5.4±0.5 ^{bc}	6.5±1.7 ^{bc}	4.6±0.5 ^c	4.9±1.0 ^c	
Medio									
SM (µm)	49.8±6.9	62.1±11.1	49.7±2.5	47.9±7.5	58.2±16.2	54.6±17.5	43.7±4.1	57.1±9.4	
LP (µm)	9.7±3.4	12.2±2.7	6.8±0.8	8.4±0.5	9.4±4.5	13.7±8.4	8.7±0.8	11.8±4.4	
Posterior									
SM (µm)	56.5±15.7	50.5±7.0	43.8±9.8	43.0±2.9	47.8±3.4	43.3±2.5	48.2±6.6	47.5±6.3	
LP (µm)	19.4±5.9 ^a	14.3±4.8 ^{ab}	10.6±6.2 ^b	9.2±0.6 ^b	10.5±4.1 ^b	10.5±0.1 ^b	10.8±2.5 ^b	10.6±2.8 ^b	

Los valores están representados por la media ± desviación estándar (n=3). Las mediciones de la lámina propia (LP) y submucosa (SM) se muestran en micrómetros (µm). Los superíndices a, b, c muestran diferencia entre tratamientos. E=Especie, S=Salinidad, D=Dieta. *P<0.05, **P<0.01, ***P<0.001.

7. DISCUSIÓN

7.1. Evaluación Biológica

Los resultados de la evaluación biológica se discuten a continuación. Se describe cada efecto e interacción de todas las variables de respuesta evaluadas. Las variables de respuesta con efectos similares se agruparon.

7.1.1 Peso Final (PF), Tasa Específica de Crecimiento (TEC).

7.1.1.1. Efecto de la Interacción de la Especie, Salinidad y Tiempo. Las variables PF y TEC de la especie *O. niloticus* fueron mayores al de la especie *O. sp* en cualquier condición de salinidad. Una tendencia similar fue reportada por Chorusia *et al.* (2018), al comparar a *O. niloticus* con *O. mossambicus* a 0 ups y 32 ups, donde a pesar de que la segunda especie presenta una mayor tolerancia a la salinidad, el TEC se vio disminuido en comparación con *O. niloticus* en cualquier condición. Los autores atribuyen este resultado a la procedencia de *O. mossambicus* que, por tratarse de una línea genética silvestre, esta presentaba menor crecimiento. La diferencia en crecimiento debida a la procedencia de la línea genética ha sido reportada por Oliveira-Zardin *et al.* (2019); quienes compararon una línea genética con alto “valor de cría”, la cual es considerada superior y reportó mayor crecimiento que una línea considerada inferior.

Las diferencias en el PF, entre las dos especies observadas en diferentes salinidades en este estudio, es comparable con lo obtenido por Kamal y Mair (2005); quienes reportaron que a medida que la salinidad aumenta 32 ups, *O. niloticus* disminuye su PF, mientras que *O. sp* lo mantiene ante tal condición de cultivo, a diferencia que esta última especie obtiene resultados similares que *O. niloticus* en agua dulce. Por su parte, García-Ulloa *et al.* (2001), no vieron diferencias en el PF y TEC de *O. sp* a 32 ups respecto a 0.5 ups. Sin embargo, El-Zahem *et al.* (2012) reportaron que disminuye el peso promedio de *O. sp* al incrementar la salinidad de 0 a 32 ups; a pesar de que

presenta mayor PF y TEC comparado con *O. niloticus* en ambas condiciones. Las diferencias en los resultados obtenidos en los diferentes estudios es un indicativo de que la selección de la línea genética ya sea de *O. niloticus* u *O. sp*, influye en la obtención de mayor PF y TEC al incrementar la salinidad. Al respecto, dependiendo de la cruce entre familias de tilapia, pueden llegar a tolerar la salinidad del mar y transmitir esta característica a sus descendientes; tal y como lo demostraron Lutz *et al.* (2010), quienes probaron entrecruzamiento de diversas especies y obtuvieron que los descendientes podían incrementar la tolerancia a salinidad de sus progenitores.

La disminución del crecimiento al incrementar la salinidad suele atribuirse al mayor consumo de energía para compensar la osmorregulación. Sin embargo, se ha demostrado que *O. niloticus* tiene la capacidad de adaptar su fisiología para compensar el transporte de iones y, se ha observado que, sus requerimientos energéticos no varían al incrementar la salinidad (Krammerer *et al.*, 2009; Larumbe-Moran *et al.*, 2010). Por otro lado, *O. sp* tiene la capacidad de mantener su consumo energético en ambos ambientes a través del tiempo (Rahmah *et al.*, 2020). Por lo tanto, hay evidencia de que en ambas especies no hay un consumo de energía extra para mantener el equilibrio osmótico; y las razones por las cuales *O. niloticus* disminuyó su crecimiento a 25 ups, no pueden atribuirse a un incremento en el consumo energético para compensar la osmorregulación.

Las variaciones en las respuestas fisiológicas, ante los cambios de salinidad, podrían sustentar las diferencias del desempeño entre especies de tilapia en agua salobre. Se ha establecido a *O. mossambicus* como la especie modelo de resistencia a la salinidad; debido a que posee tolerancia a niveles mayores de 34 ups (Lutz *et al.*, 2010). Al transferir a esta especie de 0 ups a 32 ups, aumenta la tasa de expresión en branquias del cotransportador Na-K-2Cl (NKCC) y la bomba Sodio-Potasio (NKA), ambos encargados de la excreción de iones de la célula al medio; en comparación con la especie *O. niloticus*. Esto podría indicar que el mejor rendimiento en agua salobre se presenta gracias a que la especie con mayor tolerancia a salinidad cuenta con mecanismos más eficientes para regular la cantidad de iones (Velan *et al.*, 2011). Al respecto, se ha demostrado que, al transferirlas de 0 a 32 ups, la expresión de genes en el intestino es diferente entre *O. mossambicus* y *O. niloticus*; donde la primera especie presenta sobreexpresión de los transportadores de iones, NKA, y transportadores de péptidos, PepT1 y PepT2. Esto podría indicar una acción compensatoria en el intestino para el transporte de iones y nutrientes en agua salobre, los cuales podrían reducir los efectos de la salinidad en el crecimiento de la especie con mejor adaptación a salinidad, como *O. mossambicus*, mediante algún mecanismo todavía desconocido

(Ronkin *et al.*, 2015; Chourasia *et al.*, 2018; Petro-Sakuma *et al.*, 2020).

La reducción del crecimiento al incrementar la salinidad también podría relacionarse con alteraciones hormonales; debido a que se presentan diferencia en la producción de la hormona de crecimiento (GH) y su intermediario, el factor de crecimiento insulínicos (IGF); en condiciones de 0 ups respecto a 32 ups (Vera *et al.*, 2006; Reinecke, 2010; McCormick, 2011).

Existe una correlación positiva entre el crecimiento de la tilapia, con la expresión de la GH en pituitaria e IGF en plasma y, se ha visto que, *O. mossambicus* incrementa los niveles de expresión de esta hormona y su intermediario a 32 ups respecto a 0 ups; resultado que se conserva en *O. sp* (Riley *et al.*, 2002; Maghdelin *et al.*, 2007; Aruna *et al.*, 2015; Moorman *et al.*, 2016). Además, la expresión de IGF podría ser específica en cada tejido, debido a que *O. mossambicus* en agua salada aumenta la expresión de este factor en músculo (Fox *et al.*, 2010; Moorman *et al.*, 2016). Tomando en cuenta lo anterior, podría inferirse la existencia de posibles rutas alternas para mediar el crecimiento en agua salada (Bergan-Roller *et al.*, 2018).

La especie *O. niloticus*, por su parte, presenta una respuesta hormonal más lenta a las variaciones de salinidad; debido a que reduce con menor velocidad sus niveles de prolactina (PRL), hormona asociada a la osmorregulación en agua dulce, al transferir a 32 ups en comparación con *O. mossambicus*; lo cual indica que *O. niloticus* es menos sensible a cambios de osmolaridad (Sakamoto y McCormick, 2006; Yamaguchi *et al.*, 2018). Asimismo, los niveles de expresión de GH en pituitaria de *O. niloticus* no aumentan en agua dulce y agua salada; además de disminuir los niveles de IFG en plasma cuando la salinidad aumenta; lo cual podría explicar su reducción en crecimiento (Velan *et al.*, 2011, Herath *et al.*, 2018). Además, esta especie, presenta estrés oxidativo y mayor utilización de lípidos generados por la exposición a un ambiente salino; cambios que se manifiestan en mayor medida al transcurrir el tiempo (Gan *et al.*, 2016).

Las reducidas respuestas de *O. niloticus* en el transporte de iones y de nutrientes y la regulación hormonal, podrían explicar la disminución del crecimiento al ser expuesta de manera crónica en agua salobre. Caso contrario a lo ocurrido con *O. sp* que, a pesar de haber obtenido menor crecimiento, este permanece estable en ambas salinidades; por lo cual se podría afirmar que esta especie sí cuenta con los mecanismos anteriormente mencionados (Fox *et al.*, 2010; Chourasia *et al.*, 2018; Petro-Sakuma *et al.*, 2020; Herkenhoff *et al.*, 2020).

7.1.1.2. Efecto de la Inclusión de Soya en la Dieta. La composición de la dieta presentó efecto en el PF y la TEC; sin embargo, no hubo interacción con la especie o la salinidad. Los resultados muestran que hubo reducción en estas variables al incrementar la inclusión de soya a 52% a pesar de ser suplementadas con metionina y lisina. Resultados similares fueron obtenidos por Tran-Ngnoc *et al.* (2017a) en *O. niloticus*, quienes reportan menor PF y TEC con una dieta con inclusión del 55% en soya, en comparación con una dieta sin soya. Aun así, para el final de su bioensayo, el mejor resultado del TEC obtenido por estos autores, con dieta a base de proteína de pescado, fue de 2.27 % día⁻¹; resultado menor en comparación con el valor más bajo en este estudio, correspondiente a E_{sp_S0_D52} con una TEC de 3.7% día⁻¹. Por otro lado, el valor más alto que se obtuvo en este estudio fue una TEC de 5.6% día⁻¹, para E_{nil_S0_D25}.

Los resultados obtenidos, si se comparan los rendimientos entre especies en el presente estudio, difieren a lo reportado por El-Saidy *et al.* (2002), quienes obtuvieron que en organismos de 1.9 g de peso inicial se presenta mayor PF y TEC con una dieta con alta inclusión de harina de soya (55%) y adición de 1% de metionina, en comparación con una dieta control (30% de harina de soya y 20% de harina de pescado) en *O. niloticus*. Sin embargo, los valores obtenidos de TEC, de 1.5% día⁻¹ para esta dieta, son aproximadamente la mitad para el valor más bajo del presente estudio.

Lin y Luo (2011), lograron la sustitución del 75% de harina de pescado en una fórmula para *O. sp*, con una inclusión del 22.5% de harina de soya, 5% de harina de pescado y adición de 1.7% de metionina; sin diferencias en PF y TEC con valores de PF de 19.7g y TEC de 2.83% día⁻¹ para esta dieta; los cuales son menores que lo reportado en el presente estudio ya que, para *O. sp*, en agua dulce y con SP52 se obtuvo un PF de 24.6 g y TEC de 3.5% día⁻¹. Figueiredo-Silva *et al.* (2014), por su parte, no obtuvieron diferencias en *O. sp*, para el PF y el TEC entre una dieta con 42% de harina de soya con suplementación de metionina del 0.12% respecto a su control (42% harina de pescado); con valores de PF de 76.1g y TEC de 5.43 % día⁻¹; sin embargo, estos resultados son mayores a aquellos reportados en *O. sp* en cualquier condición de salinidad y dieta, pero son equivalentes a lo obtenido con *O. niloticus* en 0 ups y con dieta SP52 (PF, 75,9 g; TEC, 5.3 %/día), pero menores que al alimentar a esta especie en la misma salinidad con dieta SP25 (PF, 92.6 g; TEC, 5.6%/día). Estas discrepancias pueden ser atribuidas a la palatabilidad de la dieta. Los autores mencionados utilizaron aceite de pescado como fuente de lípidos; lo cual pudo haber incrementado el consumo y, por ende, el aumento del crecimiento. El CA, en este estudio, disminuyó con la dieta SP52 lo cual podría atribuirse las diferencias a la palatabilidad que esta dieta presentó. Por otra

parte, la alta cantidad de harina de pescado en la dieta SP25 podría provocar que se estimule la maquinaria enzimática e incrementar el metabolismo, lo que podría explicar el mayor crecimiento obtenido con esta dieta (De Pedro y Björnsson, 2001; Zou *et al.*, 2017).

Es importante señalar la ausencia de interacción entre la dieta y la salinidad, lo cual indica que las diferencias en el PF y TEC, ocasionadas por la dieta, son iguales en ambientes salobres y/o en agua dulce. La misma tendencia la obtuvo Tran-Ngnoc (2017a) y Herath *et al.* (2018), con la diferencia que en sus estudios utilizaron 15 ups. Asimismo, no se presentó interacción entre la dieta y la especie; lo que significa que el uso de los diferentes alimentos generará la misma respuesta en el PF y TEC de cualquier especie de tilapia. Una dieta alta en soya mayor al 50% propiciaría el menor crecimiento comparada con la dieta con un nivel de 25% de soya en juveniles de tilapia. Cabe mencionar que no existen estudios previos en los que se realicen la comparación entre especies y, a la vez, se evalúen dietas con niveles de sustituciones de la harina de pescado en su dieta. Por lo tanto, se podría garantizar obtener resultados similares con este tipo de dietas, en todas las especies de tilapia.

7.1.2. Biomasa Total (BT)

7.1.2.1. Efecto de la Especie y el Tiempo. Las diferencias obtenidas para la BT entre los tratamientos se deben a la especie, el tiempo y su interacción; los demás factores (salinidad y dieta) no afectaron a esta variable. Cabe mencionar que, se presentó una alta desviación estándar en los resultados obtenidos. La variación obtenida en la BT entre tratamientos pudo deberse a la competencia interna por alimento en la especie de *O. niloticus*. Estos organismos mostraron tendencias territoriales a lo largo del periodo de experimentación, en las cuales los organismos que alcanzaron mayores tallas privaban de alimento a los más pequeños. Por otra parte, el efecto obtenido por las diferencias entre especies se explicó anteriormente para el PF y la TEC, y podría ser aplicable para la BT.

Es importante resaltar que, a diferencia de las otras variables de crecimiento, el PF y TEC; la salinidad y/o la dieta no afectaron a la BT. Esto puede ser ocasionado a que esta variable representa la variabilidad de cada población; mientras que el PF y TEC podrían representar la variabilidad de

cada organismo dentro de la misma especie. Por lo tanto, la diferencia de la BT entre las dos especies evaluadas podría estar influenciada por las variaciones genotípicas, asociadas al crecimiento, que se manifiestan a través del tiempo en cada población. Sin embargo, cada organismo dentro de cada especie podría responder diferente a la dieta y la salinidad; lo cual es más notable en *O. niloticus*. Los resultados podrían ser útiles en la selección de especies con mejor adaptación a la dieta y a la salinidad, para la obtención de familias superiores (Falconer, 1989; Jaser *et al.*, 2017; Lago *et al.*, 2017; Ieithy *et al.*, 2018; Agha *et al.*, 2018).

7.1.3. Factor de Conversión Alimenticia (FCA) y Radio de Eficiencia Proteica (REP)

7.1.3.1 Efecto de la Especie y el Tiempo en el FCA y REP. El FCA solo presentó diferencia entre especies y el tiempo. Esto difiere a resultados de otros estudios, los cuales establecen que FCA de *O. niloticus* aumenta al incrementar la inclusión de harina de soya en sustitución de la harina de pescado, aunado al incremento de la salinidad de 0 a 15 ups (El-Saidy *et al.*, 2002; Tran-Ngoc *et al.*, 2017; Herath *et al.*, 2018). La discrepancia entre los estudios que muestran diferencias entre dietas o salinidad y los que no; pueden ser atribuidos al método de alimentación; ya que, al restringir el alimento a una ración fija, se podría subestimar o sobre estimar la cantidad de alimento en comparación de la alimentación a saciedad (Eguia y Eguia, 1993).

El presente estudio coincide con lo reportado por Kamal y Mair (2005) quienes para *O. niloticus* y *O. sp.*, no encontraron efecto de la salinidad en el FCA e igualmente atribuyeron las diferencias encontradas al factor especie; con valores de FCA de alrededor de 0.8 para la primera especie y de 1 para *O. sp.* Por otra parte, al incrementar la inclusión de soya en *O. sp.*, Lin y Luo (2011) no obtuvieron diferencias en el FCA o PER; con valores de FCA alrededor de 1.6 y de PER en promedio de 1.9. Asimismo, Figueiredo-Silva *et al.* (2014), con valores de FCA alrededor de 1 y de PER de 1.9; no observaron efecto de la dieta en *O. sp.* Cabe mencionar que los resultados obtenidos en este estudio para el FCA fueron en promedio de 1 para *O. niloticus* y 1.2 para *O. sp.*; y de PER de 2.5 y 2.2, respectivamente.

Lo anterior podría estar relacionado con la capacidad que tiene cada especie de llevar a cabo un ajuste en su tasa metabólica, cuando éstas se exponen de manera crónica a 25 ups y una dieta alta

en soya (52% inclusión), lo cual le permite obtener los mismos valores de FCA al disminuir el CA, pero reduce el PF y la TEC como se mencionó anteriormente; para, de esta forma, conservar la homeostasis (Larumbe-Moran *et al.*, 2010; Gan *et al.*, 2016). Por lo tanto, el FCA podría ser un rasgo definido dentro de la genética de cada especie y no varía de acuerdo con las condiciones extrínsecas (De Verdal *et al.*, 2018; Rahmah *et al.*, 2020).

7.1.4 Supervivencia

7.1.4.1 Efecto de la Especie y el Tiempo en la Supervivencia. En anteriores estudios, no se ha visto que se afecte la supervivencia por el incremento a salinidad a 15 o 32 ups o la inclusión de soya en la dieta (García-Ulloa *et al.*, 2001; Lin y Luo, 2011; Figueiredo-Silva *et al.*, 2014; Tran-Gnoc *et al.*, 2017). No obstante, las diferencias reportadas se atribuyen al factor especie (Kamal y Mair, 2005; El-Zahem *et al.*, 2012), debido a que es una característica específica heredada por los progenitores y, cada población posee una tasa determinada la cual varía a través del tiempo (Hamzah *et al.*, 2015).

7.2. Análisis Histológico

El factor especie mostró efecto en el grosor de la LP del intestino anterior y, al respecto, no ha habido precedente respecto a comparación entre especies de tilapia. Sin embargo, existe diferencia en la manifestación de estos cambios entre familias de peces, por lo cual estos cambios son específicos de cada especie (Urán *et al.*, 2008; Tran-Ngoc *et al.*, 2017a). Además, como se mencionó en el apartado 7.1.1.1, los cambios en los mecanismos de transportadores de nutrientes y iones en el intestino son diferentes entre especies de tilapia (Velan *et al.*, 2011).

Lo referente a la salinidad, los resultados de este estudio muestran que a 0 ups se presenta engrosamiento de la LP en la región anterior del intestino. Contrario a esto, Tran-Ngoc *et al.* (2017a) reportaron que, a 15 ups, hay engrosamiento de la lámina propia y submucosa en la parte

anterior y posterior; lo cual se le atribuye al rol de estas secciones del intestino en la osmorregulación. Sin embargo, sus resultados solo muestran diferencias atribuidas a la salinidad en el grosor de la lámina propia de la región anterior en la octava semana, al alimentar con dieta a base de harina de soya y 15 ups de salinidad. Por otro lado, al alimentar con una dieta a base de harina de pescado a 15 ups, no obtuvo diferencia respecto a los tratamientos a 0 ups. Esto pone en evidencia que probablemente la salinidad no influya en las alteraciones en la morfología del intestino, sino que son propiciados por la composición de la dieta e indirectamente muestren efecto debido a la salinidad.

Respecto a lo anteriormente mencionado, las diferencias en el engrosamiento de la LP a 0 ups obtenidas en este estudio se manifiestan específicamente en los tratamientos que involucran a *O. niloticus*; los cuales presentan mayor crecimiento en esta condición de salinidad. Aunado a esto, se obtuvo correlación positiva entre el grosor de LP de la región anterior y el PF ($R^2=0.23$, $P = 0.01$) y, por lo tanto, la magnitud de esta alteración es proporcional al crecimiento. Resultado que se corrobora con lo reportado por Tran-Ngoc *et al.* (2017a), que muestran evidencia de una interacción del tiempo con el grosor de la lámina propia; lo cual indica que a medida que aumenta el PF, incrementa el grosor de lámina propia a lo largo del tiempo en cualquier tratamiento.

Además, mientras mayor sea el peso promedio, se desarrollan vellosidades de mayor tamaño (dato no mostrado), que se traduce en una mayor superficie para la absorción de nutrientes e incrementa el rendimiento productivo; tal y como reportan Valladão *et al.* (2017). Por lo tanto, la lámina propia, presentó engrosamiento con el aumento del PF de los peces e indirectamente muestra efecto del agua dulce debido a que, en esta condición, *O. niloticus* muestra mayor peso promedio.

Los resultados obtenidos en el presente estudio, atribuidos a la dieta, coinciden con lo observado por Tran-Ngoc *et al.* (2017a), quienes observaron que una dieta con 54.5% de soya provoca el engrosamiento de la LP del intestino anterior de *O. niloticus*. Asimismo, ellos reportaron engrosamiento de SM; efecto que no se registró en este estudio. Posteriormente, Tran-Ngoc *et al.* (2019) no encontraron alteración ocasionada por la soya en la SM del intestino anterior, lo cual contradice a sus resultados anteriores. Aun así, reafirman que la alta inclusión de harina de soya provoca el engrosamiento de la LP en el intestino anterior.

Al respecto, el intestino anterior presenta vellosidades más largas y es el sitio donde se lleva a cabo la absorción de nutrientes, además de poseer la mayor actividad enzimática relativa al metabolismo. Por otra parte, es la región con mayor exposición a agentes alergénicos y, al alimentar con dietas

con 43% de inclusión de harina de soya, se desarrolla una condición de enteritis, el cual se intensifica a través del tiempo. Esto ha sido atribuido a la presencia de antinutrientes, los cuales limitan la absorción de nutrientes (Gargiulo *et al.*, 1998; Sklan *et al.*, 2004, Mahmoud *et al.*, 2014; Tran-Ngoc *et al.*, 2019). A su vez, el intestino medio y el posterior de la tilapia poseen vellosidades estructuralmente menos desarrolladas; ya que son de menor longitud, densidad y grosor lo cual podría limitar la absorción de nutrientes (Sklan *et al.*, 2004). Al respecto, en los resultados obtenidos, el grosor de la LP va en aumento a través de las secciones del intestino donde, la región anterior presenta menor grosor, seguido del intestino medio y, por último, la región posterior que presenta mayor longitud de la LP; tendencia similar a lo obtenido por Tan-Ngoc *et al.* (2017). Existe diferencia del grosor de la SM entre tratamientos y se manifiestan en el intestino anterior. Sin embargo, estas diferencias no pueden atribuirse a la especie, la salinidad o la dieta ya que no se presentó efecto en ninguno de los factores.

8. CONCLUSIONES

El crecimiento de las especies de tilapia se ve afectados por la salinidad, en donde hay diferencia dentro de cada población y entre familias de peces. Por otra parte, la eficiencia de utilización de alimento y la supervivencia sólo difiere entre especies, por lo cual el FCA y el porcentaje de supervivencia son características implícitas en cada población de peces. Además, se presentó variación dentro de cada población en el crecimiento para la salinidad, lo cual podría aprovecharse para la selección de organismos dentro de cada especie que logren obtener un mayor rendimiento en condiciones de agua salobre.

Las especies de tilapia al ser alimentadas con diferentes dietas conservan la tendencia en el crecimiento, la utilización del alimento y supervivencia. Al respecto, los organismos reducen su crecimiento con dietas con inclusión del 52 % de harina de soya; por lo cual, no hay alguna especie que obtenga mejor aprovechamiento de una dieta alta en soya. Sin embargo, los resultados muestran que hay variación intraespecie respecto a la respuesta a las dietas; por lo cual, sería posible seleccionar los organismos de cada especie que se adapten a una dieta alta en soya para mejorar el rendimiento.

La relación entre la salinidad y la dieta no influyen directamente en las variables de rendimiento productivo; por lo cual se puede afirmar que la dieta causaría la misma tendencia en las respuestas de rendimiento en cualquier salinidad; donde una dieta con mayor inclusión de harina de soya provocará una reducción de crecimiento, independientemente de la salinidad.

El tiempo de exposición es un factor que considerar en el crecimiento ya que, se demostró que después de cuatro semanas se presentan las diferencias en el rendimiento productivo entre especies, a la octava semana se manifiestan las diferencias provocadas por la dieta y la salinidad; lo cual indica que la velocidad de crecimiento disminuye de acuerdo con posibles diferencias en ajustes y compensaciones fisiológicas en este periodo.

No se obtuvo evidencia de que la salinidad alterara el grosor de la submucosa y la lámina propia del intestino en ninguna especie; sin embargo, la dieta con alta inclusión de harina de soya (SP52) provoca engrosamiento en la lámina propia de la región anterior del intestino en ambas especies.

9. RECOMENDACIONES

El cultivo de las especies de tilapia *O. niloticus* u *O. sp* en agua salada es viable. Sin embargo, el rendimiento de *O. niloticus* se ve disminuido cuando se cultiva en salinidades de 25 ups; por lo cual, se recomienda elegir la especie que pueda adaptarse sin problemas a este entorno; a pesar de que se alcance una talla comercial en un mayor tiempo.

Se podría mejorar el rendimiento en agua salobre de *O. niloticus* y los resultados de crecimiento de *O. sp* mediante una crianza selectiva con la cual, se logre incrementar el crecimiento y aprovechamiento de alimento a través de las generaciones. La elección de los organismos con mejores cualidades en alta salinidad y con mejor utilización de dietas específicas, podría ser el enfoque para programas de mejoramiento genético. Al respecto, el enfoque que se ha dado a estos programas es mediante la obtención de mejores familias, sin considerar los factores extrínsecos. Por lo tanto, una nueva directriz podría ser la generación de organismos con mejor utilización de dietas de bajo costo monetario y ambiental, además de valorar su desempeño en condiciones extrínsecas adversas, como la salinidad.

La medición de las respuestas enzimáticas, expresión genética de la regulación hormonal de GH en pituitaria e IFG en plasma, transporte de iones en intestino y del metabolismo en intestino deben de realizarse mediante estudios donde se tome en cuenta el tiempo de exposición y con esto, entender en qué punto de tiempo se manifiestan las alteraciones a estas variables, para determinar medidas que mitiguen los efectos adversos al crecimiento.

10. REFERENCIAS

- Agha, S., Mekkawy, W., Ibanez-Escriche, N., Lind, C. E., Kumar, J., Mandal, A., ... Doeschl-Wilson, A. (2018). Breeding for robustness: investigating the genotype-by-environment interaction and micro-environmental sensitivity of genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Animal Genetics*. doi:10.1111/age.12680
- Amezcuca F., Soto M.F. (2014) Current State of Aquaculture in México, *Fisheries*, 39:11, 554-555, DOI: 10.1080/03632415.2014.984561
- AOAC, 2011. Association Official Analytical Chemists. Official Methods of Analysis, 14 th ed. The association: Arlington, VA, 1141 pp
- Aruna, A., Nagarajan, G., Chang, C.F. (2015). The acute salinity changes activate the dual pathways of endocrine responses in the brain and pituitary of tilapia. *General and Comparative Endocrinology*, 211, 154–164. doi:10.1016/j.ygcen.2014.12.005
- Baeverfjord, G., Kroghdahl, A. (1996). Development and regression of soybean meal induced enteritis in Atlantic salmon, *Salmo salar* L., distal intestine: a comparison with the intestines of fasted fish. *Journal of Fish Diseases*, 19(5), 375–387. doi:10.1046/j.1365-2761.1996.d01-92.x
- Bakke, A. M., Glover, C., Kroghdahl, Å. (2010). Feeding, digestion and absorption of nutrients. *The Multifunctional Gut of Fish*, 57–110. doi:10.1016/s1546-5098(10)03002-5
- Basiao, Z. U., Eguia, R. V., Doyle, R. W. (2005). Growth response of Nile tilapia fry to salinity stress in the presence of an “internal reference” fish. *Aquaculture Research*, 36(7), 712–720. doi:10.1111/j.1365-2109.2005.01283.x
- Bergan-Roller, H. E., Sheridan, M. A. (2018). The growth hormone signaling system: Insights into coordinating the anabolic and catabolic actions of growth hormone. *General and Comparative Endocrinology*, 258, 119–133. doi:10.1016/j.ygcen.2017.07.028
- Booman, M., Forster, I., Vederas, J. C., Groman, D. B., Jones, S. R. M. (2018). Soybean meal-induced enteritis in Atlantic salmon (*Salmo salar*) and Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) but not in pink salmon (*O. gorbuscha*). *Aquaculture*, 483, 238–243. doi:10.1016/j.aquaculture.2017.10.025
- Chiu, A., Li, L., Guo, S., Bai, J., Fedor, C., Naylor, R. L. (2013). Feed and fishmeal use in the production of carp and tilapia in China. *Aquaculture*, 414-415, 127–134. doi:10.1016/j.aquaculture.2013.07.049
- Chourasia, T. K., D’Cotta, H., Baroiller, J.-F., Slosman, T., & Cnaani, A. (2018). Effects of the acclimation to high salinity on intestinal ion and peptide transporters in two tilapia species that differ in their salinity tolerance. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 218, 16–23. doi:10.1016/j.cbpa.2018.01.004
- Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca (CONAPESCA) (2020). Estadística de acuacultura y pesca relativa a los principales aspectos económicos y sociales. Base de datos 2018. México: Anuario Estadístico de Acuacultura y Pesca. Recuperado de:

<https://www.gob.mx/conapesca/documentos/anuario-estadistico-de-acuacultura-y-pesca>.

- De Pedro, N., & Björnsson, B. T. (2001). Regulation of food intake by neuropeptides and hormones. *Food Intake in Fish*, 269–296. doi:10.1002/9780470999516.ch12
- De Verdal, H., Vandeputte, M., Mekki, W., Chatain, B., Benzie, J. A. H. (2018). Quantifying the genetic parameters of feed efficiency in juvenile Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *BMC Genetics*, 19(1). doi:10.1186/s12863-018-0691-y
- Eguía, M. R. R., & Eguía, R. V. (1993). Growth response of three *Oreochromis niloticus* strains to feed restriction (Vol. 45, Issue 1) [Article]. Society of Israeli Aquaculture and Marine Biotechnology. <http://hdl.handle.net/10862/1416>
- El-Saidy, D. M. S. D., Gaber, M. M. A. (2002). Complete Replacement of Fish Meal by Soybean Meal with Dietary L-Lysine Supplementation for Nile Tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) Fingerlings. *Journal of the World Aquaculture Society*, 33(3), 297–306. doi:10.1111/j.1749-7345.2002.tb00506.x
- El-Sayed A.-F. M. (2006). *Tilapia Culture*. CABI Publishers, UK, p. 275.
- El-Zaeem S.Y., Ahmed M.M.M., Salama M.E., Darwesh S.M.F. (2012). Production of salinity tolerant tilapia through interspecific hybridization between Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and red tilapia (*Oreochromis sp.*) *Aquaculture* 247 (2005) 189–201.
- Esbaugh, A. J., & Cutler, B. (2016). Intestinal Na⁺, K⁺, 2Cl⁻ cotransporter 2 plays a crucial role in hyperosmotic transitions of a euryhaline teleost. *Physiological Reports*, 4(22), e13028. doi:10.14814/phy2.13028
- Falconer, D.S. (1989). *Introduction to Quantitative Genetics*. Department of Genetics, University of Edinburgh. Longman Scientific & Technical,
- FAO (2020a). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action*. Rome. <https://doi.org/10.4060/ca9229en>
- FAO (2020b). *Factores antinutricionales endógenos presentes en los productos alimenticios vegetales*. Roma. <http://www.fao.org/3/T0700S/T0700S06.htm>
- Figueiredo-Silva, C., Lemme, A., Sangsue, D., Kiriratnikom, S. (2014). Effect of DL-methionine supplementation on the success of almost total replacement of fish meal with soybean meal in diets for hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* × *Oreochromis mossambicus*). *Aquaculture Nutrition*, 21(2), 234–241. doi:10.1111/anu.12150
- Fox, B. K., Breves, J. P., Hirano, T., Grau, E. G. (2009). Effects of short- and long-term fasting on plasma and stomach ghrelin, and the growth hormone/insulin-like growth factor I axis in the tilapia, *Oreochromis mossambicus*. *Domestic Animal Endocrinology*, 37(1), 1–11. doi:10.1016/j.domaniend.2009.01.001
- Fox, B. K., Breves, J. P., Davis, L. K., Pierce, A. L., Hirano, T., Grau, E. G. (2010). Tissue-specific regulation of the growth hormone/insulin-like growth factor axis during fasting and re-feeding: Importance of muscle expression of IGF-I and IGF-II mRNA in the tilapia. *General and Comparative Endocrinology*, 166(3), 573–580. doi:10.1016/j.ygcen.2009.11.012
- Gobal Aquaculture Alliance. (2020). *Considerations for tilapia farming in saltwater environments*. Miami, Florida, US. <https://www.aquaculturealliance.org/advocate/considerations-tilapia-farming-saltwater-environments/>

- Gan, L., Xu, Z. X., Ma, J. J., Xu, C., Wang, X. D., Chen, K., ... Li, E. C. (2016). Effects of salinity on growth, body composition, muscle fatty acid composition, and antioxidant status of juvenile Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758). *Journal of Applied Ichthyology*, 32(2), 372–374. doi:10.1111/jai.12997
- García-Ulloa, M., Villa, R. L., Martínez, T. M. (2001). Growth and feed utilization of the tilapia hybrid *Oreochromis mossambicus*×*O. niloticus* Cultured at different salinities under controlled laboratory conditions. *Journal of the World Aquaculture Society*, 32(1), 117–121.
- Garduño-Lugo, M., Herrera-Solís, J. R., Angulo-Guerrero, J. O., Muñoz-Córdova, G., De la Cruz-Medina, J. (2007). Nutrient composition and sensory evaluation of fillets from wild-type Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus) and a red hybrid (Florida red tilapia, *O. niloticus*). *Aquaculture Research*, 38(10), 1074–1081. doi:10.1111/j.1365-
- Gargiulo, A. M., Ceccarelli, P., Dall'Aglio, C., & Pedini, V. (1998). Histology and Ultrastructure of the Gut of the Tilapia (*Tilapia spp.*), a Hybrid Teleost. *Anatomia, Histologia, Embryologia: Journal of Veterinary Medicine Series C*, 27(2), 89–94. doi:10.1111/j.1439-0264.1998.tb00162.x
- GEM Commodities, World Bank Group (2020). Harina de soja vs Harina de pescado - Price Rate of Change Comparison. Estados Unidos. IndexMundi. <https://www.indexmundi.com/es/precios-de-mercado/?mercancia=harina-de-soja&moneda=mxn&mercancia=harina-de-pescado>
- Goda, A. M. A.-S., Wafa, M. E., El-Haroun, E. R., Kabir Chowdhury, M. A. (2007). Growth performance and feed utilization of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) and tilapia galilae *Sarotherodon galilaeus* (Linnaeus, 1758) fingerlings fed plant protein-based diets. *Aquaculture Research*, 38(8), 827–837. doi:10.1111/j.1365-2109.2007.01731.x
- Ghosh, K., Ray, A. K., Ringø, E. (2018). Applications of plant ingredients for tropical and subtropical freshwater finfish: possibilities and challenges. *Reviews in Aquaculture*. doi:10.1111/raq.12258
- Grosell, M. (2010). The role of the gastrointestinal tract in salt and water balance. *The Multifunctional Gut of Fish*, 135–164. doi:10.1016/s1546-5098(10)03004-9
- Hamzah, A., Mekawy, W., Khaw, H. L., Nguyen, N. H., Yee, H. Y., Abu Bakar, K. R., ... Ponzoni, R. W. (2015). Genetic parameters for survival during the grow-out period in the GIFT strain of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and correlated response to selection for harvest weight. *Aquaculture Research*, 48(1), 47–55. doi:10.1111/are.12859
- Han, D., Shan, X., Zhang, W., Chen, Y., Wang, Q., Li, Z., Zhang, G., Xu P., Li J., Xie, S., Mai, K., Tang, Q, De Silva, S. S. (2016). A revisit to fishmeal usage and associated consequences in Chinese aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 10(2), 493–507. doi:10.1111/raq.12183
- Hardy, R. W. (2010). Utilization of plant proteins in fish diets: effects of global demand and supplies of fishmeal. *Aquaculture Research*, 41(5), 770–776. doi:10.1111/j.1365-2109.2009.02349.x
- Herath, S. S., Haga, Y., Satoh, S. (2018). Interactive effects of salinity and complete fishmeal replacement on growth, food consumption, and gene expression of hepatic IGF-I, IGF-II and growth hormone receptors in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). *Aquaculture Research*, 49(6), 2128–2139. doi:10.1111/are.13667

- Herkenhoff, M.E., Ribeiro, A.O., Costa, J.M., Oliveira, A.C., Dias, M.A.D., Reis Neto, R.V., Hilsdorf, A.W.S., Pinhal, D. (2020), Expression profiles of growth-related genes in two Nile tilapia strains and their crossbred provide insights into introgressive breeding effects. *Anim Genet*, 51: 611-616. doi:10.1111/age.12944
- Hernández C., González-Santos A., M. Valverde-Romero, Domínguez-Jiménez P. (2016). La sustitución parcial de harina de carne y huesos y el atún subproductos comida en dietas prácticas para juveniles de pargo manchado *Lutjanus guttatus*. *Lat. A.m. Aquat. Res.* 44 (1) DOI: 10.3856 / vol44-número5-texto completo-x
- Huang, W.B., Chiu, T.-S. (1997). Effects of stocking density on survival, growth, size variation, and production of Tilapia fry. *Aquaculture Research*, 28(3), 165–173. doi:10.1046/j.1365-2109.1997.t01-1-00843.x
- INAPESCA (2018). Gobierno de México. México: Acuicultura. Tilapia. Recuperado de <https://www.gob.mx/inapesca/acciones-y-programas/acuicultura-tilapia>
- Jaser, S. K. K., Dias, M. A. D., Lago, A. de A., Reis Neto, R. V., Hilsdorf, A. W. S. (2017). Single nucleotide polymorphisms in the growth hormone gene of *Oreochromis niloticus* and their association with growth performance. *Aquaculture Research*, 48(12), 5835–5845. doi:10.1111/are.13406
- Kamal, A. H. M. M., Mair, G. C. (2005). Salinity tolerance in superior genotypes of tilapia, *Oreochromis niloticus*, *Oreochromis mossambicus* and their hybrids. *Aquaculture*, 247(1-4), 189–201. doi:10.1016/j.aquaculture.2005.02.008
- Kammerer, B. D., Sardella, B. A., Kültz, D. (2009). Salinity stress results in rapid cell cycle changes of tilapia (*Oreochromis mossambicus*) gill epithelial cells. *Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological Genetics and Physiology*, 311A(2), 80–90. doi:10.1002/jez.498
- Krogdahl, Å., Bakke, A. M. (2015). Antinutrients. *Dietary Nutrients, Additives, and Fish Health*, 211–235. doi:10.1002/9781119005568.ch10
- Lago, A. de A., Rezende, T. T., Dias, M. A. D., Freitas, R. T. F. de, Hilsdorf, A. W. S. (2017). The development of genetically improved red tilapia lines through the backcross breeding of two *Oreochromis niloticus* strains. *Aquaculture*, 472, 17–22. doi:10.1016/j.aquaculture.2016.06.042
- Lam M.E. (2006). The ethics and sustainability of capture fisheries and aquaculture. *J Agric Environ Ethics* 29:35–65. DOI 10.1007/s10806-015-9587-2
- Larumbe-Moran, E., Hernandez, M.P., Olvera-Novoa, M.A., Perez-Rostro, C.I. (2010) Protein requirements of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry cultured at different salinities. *Aquaculture Research*, 41(8): 1150–1157 Kim T.
- Leithy, A., Ibrahim, N., Helmy, Z., Deeb, S. (2018). Can intraspecific variations be exploited to develop salinity tolerance of *Oreochromis niloticus*?. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*. 22. 75-85. 10.21608/ejabf.2018.7719.
- Lin, S., Luo, L. (2011). Effects of different levels of soybean meal inclusion in replacement for fish meal on growth, digestive enzymes and transaminase activities in practical diets for juvenile tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. aureus*. *Animal Feed Science and Technology*, 168(1-2), 80–87. doi:10.1016/j.anifeedsci.2011.03.012

- Lutz, C. G., Armas-Rosales, A. M., Saxton, A. M. (2010). Genetic effects influencing salinity tolerance in six varieties of tilapia (*Oreochromis*) and their reciprocal crosses. *Aquaculture Research*, 41(11), e770–e780. doi:10.1111/j.1365-2109.2010.02583.x
- Magdeldin, S., Uchida, K., Hirano, T., Grau, E. G., Abdelfattah, A., Nozaki, M. (2007). Effects of environmental salinity on somatic growth and growth hormone/insulin-like growth factor-I axis in juvenile tilapia *Oreochromis mossambicus*. *Fisheries Science*, 73(5), 1025–1034. doi:10.1111/j.1444-2906.2007.01432.x
- Mahmoud, M.M.A., Kilany, O.E., Dessouki, A.A. (2014) Effects of fish meal replacement with soybean meal and use of exogenous enzymes in diets of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) on growth, feed utilization, histopathological changes and blood parameters. *Life Science Journal*, 11(2): 6–18.
- Marshall, W. S., Grosell, M. (2006). Ion transport and osmoregulation in fish (ed. D. Evans). In *the Physiology of Fishes*. CRC Press. Boca Raton, FL. pp. 177-230
- McCormick, S. D. (2011). Hormonal control of metabolism and ionic regulation. The hormonal control of osmoregulation in teleost fish. *Encyclopedia of Fish Physiology*, 1466–1473. doi:10.1016/b978-0-12-374553-8.00212-4
- Montanhini Neto, R., Ostrensky, A. (2014). Evaluation of commercial feeds intended for the Brazilian production of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): nutritional and environmental implications. *Aquaculture Nutrition*, 21(3), 311–320. doi:10.1111/anu.12154
- Montoya-Camacho, N., Marquez-Ríos, E., Castillo-Yáñez, F. J., Cárdenas López, J. L., López-Elías, J. A., Ruíz-Cruz, S., Ocaño-Higuera, V. M. (2018). Advances in the use of alternative protein sources for tilapia feeding. *Reviews in Aquaculture*. doi:10.1111/raq.12243
- Moorman, B. P., Yamaguchi, Y., Lerner, D. T., Grau, E. G., Seale, A. P. (2016). Rearing Mozambique tilapia in tidally-changing salinities: Effects on growth and the growth hormone/insulin-like growth factor I axis. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 198, 8–14. doi:10.1016/j.cbpa.2016.03.014
- National Research Council. 2011. *Nutrient Requirements of Fish and Shrimp*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13039>.
- Naylor, R. L., Goldburg, R. J., Primavera, J. H., Kautsky, N., Beveridge, M. C. M., Clay, J., Folke C., Lubchenco J., Mooney H., Troell, M. (2000). Effect of aquaculture on world fish supplies. *Nature*, 405(6790), 1017–1024. doi:10.1038/35016500
- Ng, W.K., Romano, N. (2013). A review of the nutrition and feeding management of farmed tilapia throughout the culture cycle. *Reviews in Aquaculture*, 5(4), 220–254. doi:10.1111/raq.12014
- Oliveira-Zardin, A. M. da S., de Oliveira, C. A. L., de Oliveira, S. N., Yoshida, G. M., de Albuquerque, D. T., de Campos, C. M., Ribeiro, R. P. (2019). Growth curves by Gompertz nonlinear regression model for male and female Nile tilapias from different genetic groups. *Aquaculture*, 511, 734243. doi:10.1016/j.aquaculture.2019.734243
- Olsen, R. L., Hasan, M. R. (2012). A limited supply of fishmeal: Impact on future increases in global aquaculture production. *Trends in Food Science & Technology*, 27(2), 120–128. doi:10.1016/j.tifs.2012.06.003
- Petro-Sakuma, C., Celino-Brady, F. T., Breves, J. P., Seale, A. P. (2020). Growth hormone

regulates intestinal gene expression of nutrient transporters in tilapia (*Oreochromis mossambicus*). *General and Comparative Endocrinology*, 113464. doi:10.1016/j.ygcen.2020.113464

- Pirarat, N., Pinpimai, K., Endo, M., Katagiri, T., Ponpornpisit, A., Chansue, N. & Maita, M. (2011) Modulation of intestinal morphology and immunity in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) by *Lactobacillus rhamnosus* GG. *Research in Veterinary Science*, 91, e92-e97.
- Rahmah, S., Liew, H.J., Napi, N., Rahmat, S.A. (2020). Metabolic cost of acute and chronic salinity response of hybrid red tilapia *Oreochromis sp.* larvae. *Aquaculture Reports*, 16, 100233.
- Reinecke, M. (2010). Influences of the environment on the endocrine and paracrine fish growth hormone-insulin-like growth factor-I system. *Journal of Fish Biology*, 76(6), 1233–1254. doi:10.1111/j.1095-8649.2010.02605.x
- Riley, L. G., Richman III, N. H., Hirano, T., Gordon Grau, E. (2002). Activation of the growth hormone/insulin-like growth factor axis by treatment with 17 α -methyltestosterone and seawater rearing in the tilapia, *Oreochromis mossambicus*. *General and Comparative Endocrinology*, 127(3), 285–292. doi:10.1016/s0016-6480(02)00051-5
- Ronkin, D., Seroussi, E., Nitzan, T., Doron-Faigenboim, A., Cnaani, A. (2015). Intestinal transcriptome analysis revealed differential salinity adaptation between two tilapiine species. *Comparative Biochemistry and Physiology Part D: Genomics and Proteomics*, 13, 35–43. doi:10.1016/j.cbd.2015.01.003
- Rucinke D. S., Polo G., Borbón J., Mantilla, J. F. (2017). Anesthetic use of eugenol and benzocaine in red tilapia (*Oreochromis sp.*). *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 30(1), 60-66. <https://dx.doi.org/10.17533/udea.rccp.v30n1a07>
- Sae-Lim, P., Gjerde, B., Nielsen, H. M., Mulder, H., & Kause, A. (2015). A review of genotype-by-environment interaction and micro-environmental sensitivity in aquaculture species. *Reviews in Aquaculture*, 8(4), 369–393. doi:10.1111/raq.12098
- Sakamoto, T., McCormick, S. D. (2006). Prolactin and growth hormone in fish osmoregulation. *General and Comparative Endocrinology*, 147(1), 24–30. doi:10.1016/j.ygcen.2005.10.008
- SEMARNAT. (2018). Gobierno de México. México: Océanos y mares de México. Recuperado de: <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/oceanos-y-mares-de-mexico?idiom=es>
- Sklan, D., Prag, T., Lupatsch, I. (2004). Structure and function of the small intestine of the tilapia *Oreochromis niloticus x Oreochromis aureus* (Teleostei, Cichlidae). *Aquaculture Research*, 35(4), 350–357. doi:10.1111/j.1365-2109.2004.01020.x
- Tacon, A. G. J., Metian, M. (2008). Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: Trends and future prospects. *Aquaculture*, 285(1-4), 146–158. doi:10.1016/j.aquaculture.2008.08.015
- Tacon, A. G. J., Metian, M. (2015). Feed Matters: satisfying the feed demand of aquaculture. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 23(1), 1–10. doi:10.1080/23308249.2014.987209
- Tran-Ngoc, K. T., Dinh, N. T., Nguyen, T. H., Roem, A. J., Schrama, J. W., & Verreth, J. A. J. (2016). Interaction between dissolved oxygen concentration and diet composition on growth, digestibility and intestinal health of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 462,

101–108. doi:10.1016/j.aquaculture.2016.05.005

- Tran-Ngoc, Johan W. Schrama, Mai T.T. Le, Thinh H. Nguyen, Arjen J. Roem, Johan A.J. Verreth (2017a). Salinity and diet composition affect digestibility and intestinal morphology in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 469 36–43. DOI:10.1016/j.aquaculture.2016.11.037
- Tran-Ngoc (2017b). Feeds, water quality, gut morphology and digestion in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). PhD thesis, Wageningen University, Wageningen, the Netherlands. ISBN: 978-94-6343-148-4. DOI: 10.18174/410628. url: <http://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/520330>
- Tran-Ngoc, K. T., Haidar, M. N., Roem, A. J., Sendão, J., Verreth, J. A. J., Schrama, J. W. (2019). Effects of feed ingredients on nutrient digestibility, nitrogen/energy balance and morphology changes in the intestine of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture Research*. doi:10.1111/are.14214
- Urán, P., Schrama, J., Rombout, J., Obach, A., Jensen, L., Koppe, W. And Verreth, J. (2008), Soybean meal-induced enteritis in Atlantic salmon (*Salmo salar L.*) at different temperatures. *Aquaculture Nutrition*, 14: 324–330. doi:10.1111/j.1365-2095.2007.00534.x
- Valladão, GMR, Gallani, SU, Pala, G, *et al.* Practical diets with essential oils of plants activate the complement system and alter the intestinal morphology of Nile tilapia. *Aquac Res.* 2017; 48: 5640– 5649. <https://doi.org/10.1111/are.13386>
- Vázquez-Ortiz, F., Caire, G., Higuera-Ciapara, I., Hernández, G. 1995. High performance liquid chromatographic determination of free amino acids in shrimp. *Journal of Liquid Chromatography & Related Technologies* 18, 2059–2068.
- Velan, A., Hulata, G., Ron, M., Cnaani, A. (2011). Comparative time-course study on pituitary and branchial response to salinity challenge in Mozambique tilapia (*Oreochromis mossambicus*) and Nile tilapia (*O. niloticus*). *Fish Physiology and Biochemistry*, 37(4), 863–873.
- Ingh, T. S. G. A. M., Olli, J. J., & Krogdahl, A. (1996). Alcohol-soluble components in soybeans cause morphological changes in the distal intestine of Atlantic salmon, *Salmo salar L.* *Journal of Fish Diseases*, 19(1), 47–53. doi:10.1111/j.1365-2761.1996.tb00119.x
- Vera Cruz, E. M., Brown, C. L., Luckenbach, J. A., Picha, M. E., Bolivar, R. B., Borski, R. J. (2006). Insulin-like growth factor-I cDNA cloning, gene expression and potential use as a growth rate indicator in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture*, 251(2-4), 585–595. doi:10.1016/j.aquaculture.2005.06.039
- Vidal, L. V. O., Xavier, T. O., de Moura, L. B., Graciano, T. S., Martins, E. N., Furuya, W. M. (2015). Apparent digestibility of soybean coproducts in extruded diets for Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture Nutrition*, 23(2), 228–235. doi:10.1111/anu.12383
- Wong, M. K.-S., Pipil, S., Ozaki, H., Suzuki, Y., Iwasaki, W., Takei, Y. (2016). Flexible selection of diversified Na⁺/K⁺-ATPase α -subunit isoforms for osmoregulation in teleosts. *Zoological Letters*, 2(1). doi:10.1186/s40851-016-0050-7
- Xu, P., Ming, J. (2018). Status and Trends of the Tilapia Farming Industry Development. *Aquaculture in China*, 404–420.
- Yamaguchi, Y., Breves, J. P., Haws, M. C., Lerner, D. T., Grau, E. G., Seale, A. P. (2018). Acute

salinity tolerance and the control of two prolactins and their receptors in the Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and Mozambique tilapia (*O. mossambicus*): A comparative study. *General and Comparative Endocrinology*, 257, 168–176. doi:10.1016/j.ygcen.2017.06.018

Zhu, H., Liu, Z., Gao, F., Lu, M., Liu, Y., Su, H. ... Yi, M. (2018). Characterization and expression of Na⁺/K⁺-ATPase in gills and kidneys of the Teleost fish *Oreochromis mossambicus*, *Oreochromis urolepis hornorum* and their hybrids in response to salinity challenge. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 224, 1–10. doi:10.1016/j.cbpa.2018.05.017

Zou, Q., Huang, Y., Cao, J., Zhao, H., Wang, G., Li, Y., Pan, Q. (2017). Effects of four feeding stimulants in high plant-based diets on feed intake, growth performance, serum biochemical parameters, digestive enzyme activities and appetite-related genes expression of juvenile GIFT tilapia (*Oreochromis sp.*). *Aquaculture Nutrition*, 23(5), 1076–1085. doi:10.1111/anu.12475.