



Universidad Nacional del Nordeste
Facultad de Ciencias Veterinaria
Corrientes – Argentina
TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN
-MÓDULO DE INTENSIFICACIÓN PRÁCTICA-

OPCIÓN: Producción Animal.

TEMA: Efectos de la administración de dosis sub-terapéuticas de antibióticos sobre parámetros biométricos de Pacú (*Piaractus mesopotamicus*).

TUTOR EXTERNO: Dr. Guidoli, Marcos Gabriel

TUTOR INTERNO: M.V. Amable, Valeria Inés

RESIDENTE: Salas, Paula Lucía

e-mail: paulasalas0692@gmail.com

-2020-

AGRADECIMIENTOS

A Marcos, Valeria y Majo, esenciales en la realización del trabajo.

A mi familia.

ÍNDICE

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
HIPÓTESIS	8
OBJETIVOS	8
LUGAR DE TRABAJO	8
MATERIALES Y MÉTODOS	9
RESULTADOS	11
DISCUSIÓN	15
CONCLUSIÓN	17
BIBLIOGRAFÍA	19

RESUMEN

Debido al crecimiento en la producción acuícola de pacú (*Piaractus mesopotamicus*) en los últimos años por el gran interés de los productores, las cualidades de su carne y la inserción positiva en el mercado, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el incremento en los parámetros biométricos de ejemplares alimentados con dosis subterapéuticas de oxitetraciclina y enrofloxacin. Este se enmarca dentro de un proyecto de investigación más amplio que pretende conocer el impacto del uso indiscriminado de antibióticos en acuicultura. A tal fin, juveniles de pacú de $29,08 \pm 6,29$ g fueron distribuidos en peceras de 70 L con recambio de agua constante y aireación forzada, alimentados *ad libitum* con alimento balanceado comercial (C) o adicionado con 10 mg/kg de pez por día de enrofloxacin (E) o con 75 mg/kg de pez por día de oxitetraciclina (O). Se evaluaron los parámetros biométricos (peso medio, largo estándar y sobrevida) cada 30 días durante 120 días. El análisis estadístico del parámetro peso medio mostró que el grupo tratado con oxitetraciclina tuvo valores superiores desde el día 60 con respecto a los tratados con enrofloxacin que presentaron valores intermedios y los controles tuvieron los valores más bajos, a pesar de estos resultados al finalizar el ensayo no se obtuvieron diferencias significativas. El largo estándar fue aumentando a lo largo del ensayo, al día 30 no había diferencias entre grupos, en cambio desde el día 60 al 90 el tratamiento O superó al tratamiento C pero no se diferenció del E. Al llegar al día 120 las diferencias fueron significativas para el grupo O (145 mm) con respecto al E (138,75 mm) y C (136,82 mm). La sobrevida no evidenció diferencias significativas entre los tratamientos en ninguna de las biometrías. El trabajo permite demostrar que los antibióticos funcionan como promotores de crecimiento en el cultivo de *Piaractus mesopotamicus*, siendo oxitetraciclina mejor promotor de crecimiento que enrofloxacin.

INTRODUCCIÓN

El término “acuicultura” engloba al conjunto de actividades, técnicas y conocimientos del cultivo de especies acuáticas vegetales y animales. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Comisión Europea (CE) la definen como el cultivo de organismos acuáticos, incluyendo peces, moluscos, crustáceos y plantas acuáticas, lo cual implica la intervención del hombre en el proceso de cría para aumentar la producción mediante operaciones como la siembra, la alimentación o la protección frente a depredadores. Hoy en día, la acuicultura se ha convertido en una verdadera ganadería de agua en franca expansión, utilizando procesos productivos cada vez más perfeccionados y tecnificados para el cultivo de diferentes organismos (Rueda González, 2011).

El consumo mundial de pescado para la alimentación aumentó a una tasa anual promedio del 3,1 % entre 1961 y 2017, aproximadamente el doble que el crecimiento anual de la población mundial (1,6 %) durante el mismo período, y más alta que la de todos los demás alimentos de proteína animal (carne, lácteos, leche, etc.), que se incrementó en un 2,1 % anual. En 2017, el consumo de pescado representó el 17 % de la ingesta de proteínas animales de la población mundial y el 7 % de todas las proteínas consumidas (FAO, 2020).

Los avances científicos de los últimos 50 años han llevado a una mejor comprensión del funcionamiento de los ecosistemas acuáticos y a una conciencia mundial de la necesidad de gestionarlos de manera sostenible, llevando a un estancamiento en la obtención de pescado a partir de la pesca. Es por ello que la FAO estima que, en 2030, el 65% de los animales acuáticos destinados al consumo humano procederán de la acuicultura. En 2018 la producción mundial de pescado alcanzó alrededor de 179 millones de toneladas, de las cuales, 82 millones (46%) provinieron de producción acuícola. A su vez, del total, 156 millones se utilizaron para el consumo humano (52% procedente de la acuicultura y 48% de la pesca), lo que equivale a un suministro anual estimado de 20,5 kg per cápita. Las 22 millones de toneladas restantes se destinaron a usos no alimentarios, principalmente a la producción de harina y aceite de pescado (FAO, 2020).

El crecimiento de la actividad en Argentina se produjo de forma lenta y escalonada hasta una producción máxima alcanzada en el año 2014, donde apenas superó las 4.000 toneladas, valor que fue reduciéndose gradualmente en años posteriores hasta las

2.592,19 toneladas obtenidas en 2019. Esta disminución puede atribuirse a factores económicos y de mercado, variables climáticas, problemas de disponibilidad de ejemplares y/o productores que han abandonado la actividad, entre otros. Si bien, las tecnologías para la cadena piscícola ya se encuentran validadas, tanto en la Región NEA como en el Norte de la Patagonia, aún falta desarrollar una actividad piscícola productiva, con agregado de valor en origen y ocupación de mano de obra e incentivar a la población para aumentar el nivel de consumo de carne de pescado (Panné Huidobro, 2019).

P. mesopotamicus, pacú, es una especie autóctona subtropical, omnívora (de amplio espectro alimentario), muy demandada (Henning, Curto, Zeballos Bianchi y Asoli, 2017). El cultivo viene creciendo hace varios años en la región del NEA debido al gran interés mostrado por los productores agropecuarios en la diversificación de sus producciones y porque existe tecnología para llevarla a cabo. Al tratarse de un pez de hábitos omnívoros, aun cuando se lo deba cultivar hasta un peso elevado (1,5 a 2,0 Kg), para considerar su venta a consumo, el costo operativo de la producción es menor que para el caso de peces carnívoros. Las piezas provenientes de cultivo presentan una carne sabrosa, de alto contenido proteico (20%), sin contenido excesivo de grasa (4,7%) y que podría inclusive modificarse posteriormente según fórmulas alimentarias, además posee ácidos grasos de la serie omega 3 y omega 6, aptos para la salud humana (Luchini y Wicki, 2002).

Su cultivo, ubicado en la cuenca templado-cálida y subtropical del noreste argentino, es la segunda producción con mayor volumen del país, después de la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*), con un volumen en el año 2019 de 1.063,05 toneladas y el 41,01 % de participación en el total nacional. Su producción se realiza en sistemas semi-intensivos realizados en estanques excavados en tierra arcillosa, siendo sus principales productores empresas yerbateras y arroceras, existiendo también una producción realizada por pequeños productores (Panné Huidobro, 2019).

Para un buen desarrollo de los peces y obtener una buena producción se tiene que tener un control del medio ambiente o sea el agua de los estanques. Los parámetros a tener en cuenta son: temperatura, un rango óptimo entre 26 y 28 grados; pH, rango entre 6 y 9, óptimo entre 7 y 8, y por último el oxígeno disuelto entre 6 y 8 mg/L (Pacic, 2010).

Un importante factor que influye en el crecimiento del cultivo de peces de esta región es la cultura de consumo de pescado, factor que no está presente en otras regiones del país

(Fernández Cirelli, Schenone, Pérez Carrera y Volpedo, 2010). Sin embargo, debido a la tradición de consumir ejemplares con tallas mayores a 1,2 kg, en la zona subtropical son necesarios 16 meses de cultivo y densidades de engorde final bajas (0,2 individuos/m²), dado que la especie presenta una alta dependencia del peso final con respecto de la densidad (Wicki, Rossi, Panné Huidobro, y Luchini, 2007). A su vez, el pacú se adapta al cultivo en jaulas en conjunto con dos o más especies.

En los sistemas de producción animal, conseguir una tasa de natalidad elevada, así como una mayor rapidez en la capacidad de engorde y en el crecimiento de la producción son actualmente los principales objetivos en las grandes explotaciones. Al mismo tiempo, la mezcla de animales destinados al consumo con diferentes procedencias en lugares reducidos de estas explotaciones, favorece el contacto y la persistencia con agentes parasitarios e infecciosos (Cancho Grande, García Falcón y Simal Gándara, 2000) para evitar estos contratiempos se elige el uso de antibióticos.

En el caso de la acuicultura, las afecciones parasitarias y bacterianas son consideradas como causa importante de pérdidas de la productividad, debido a daños tales como mortalidad de los peces, reducción de los niveles de producción y productividad, alteraciones reproductivas y altos costos en el control de estas enfermedades. Al ser los antibióticos sustancias químicas, producidas por diferentes especies de microorganismos, que suprimen el crecimiento de otros microorganismos y pueden, eventualmente, destruirlos (Cancho Grande y col, 2000), es que surgen como una de las alternativas para contrarrestar las enfermedades infecciosas, las cuales pueden ser producidas por un inadecuado manejo técnico (los peces están sometidos a estrés), su alta densidad en un espacio limitado, condiciones ambientales, etc., que permiten el desarrollo de los patógenos (Carranza Dávila, Galecio Regalado y Escobar, 2019).

Los piensos medicamentosos son una de las vías más usadas para administrar el fármaco, siendo incorporados en forma de premezclas sólidas o líquidas (Errecalde, 2004). Los alimentos utilizados para tratar o prevenir enfermedades contienen, en general, concentraciones relativamente elevadas (del orden de 100 a 1000 mg/L) y se administran durante períodos bastante cortos, en cambio cuando el antibiótico es usado como promotor del crecimiento se incorpora al pienso en forma de aditivo y en concentraciones subterapéuticas (Cancho Grande y col., 2000), a los efectos de mejorar la calidad del producto final (una menor proporción de grasa y una mayor proporción de proteínas) (Errecalde, 2004).

Las tetraciclinas son los antibióticos más utilizados mundialmente en producción animal debido a su amplio espectro de acción (Occhi, 2013). Son drogas bacteriostáticas, que inhiben las síntesis proteica, uniéndose a la subunidad ribosómica 30S (Rubio, Boggio, 2009). En mamíferos, la absorción de la oxitetraciclina por vía oral es de 60-80%. Se distribuyen ampliamente en el organismo, en secreciones incluida la orina y líquido prostático. Se acumula en células reticuloendoteliales de hígado, bazo, y médula ósea; en hueso, dentina y esmalte de dientes que no han brotado. Se logran concentraciones apropiadas en líquido cefalorraquídeo y sinovial, así como en lágrimas, saliva y leche. Cruzan la barrera placentaria, llegan al tejido fetal y al líquido amniótico. Se unen en un 40 a 80% a las proteínas del plasma. Se eliminan principalmente por vía renal y por bilis, aunque algunas son reabsorbidas por la circulación enterohepática. La oxitetraciclina tiene una vida media de 6 a 12 h (Patiño, Campos Sepúlveda, 2008). Se considera como el único antibiótico permitido para su uso en acuicultura en el cultivo de peces en Canadá y Estados Unidos de Norteamérica (Almada y Plascencia, 2016).

La enrofloxacin, antibiótico del grupo de fluorquinolonas, efectivo contra bacterias Gram positivas y Gram negativas, se utiliza ampliamente en acuicultura para combatir cuadros infecciosos (Zambrano, Espinosa, Conte-Junior y De La Torre, 2018). La acción antibacteriana la producen por inhibición de la topoisomerasa II (ADN girasa). En mamíferos, las fluorquinolonas incluyendo la enrofloxacin, muestran una rápida absorción digestiva, alcanzando niveles sanguíneos máximos entre 2 a 5 horas, dependiendo la especie animal. La biodisponibilidad es elevada, un 80% de la dosis se absorbe a circulación sistémica. Presentan valores elevados de distribución, con un bajo porcentaje de unión a proteínas plasmáticas, exhibiendo valores de tiempo medio de eliminación significativamente altos. Se excretan por vía urinaria, biliar y hepática (García Ovando, Errecalde, Prieto, Luders, Puella, Berecochea, Fernández, 1996). El tiempo de retirada en vacas de lactación es de 2 días y en carne varía según el preparado (Rubio, Boggio, 2009).

En los peces el período de excreción de los fármacos es dependiente de la temperatura del agua (Carranza Dávila y col, 2019).

Los beneficios del uso de los antimicrobianos como promotores de crecimiento están directamente relacionados con la intensificación productiva. El mecanismo de acción de los antibióticos utilizados como promotores de crecimiento (AGP, por su sigla en inglés “antibiotic-based growth promoters”) puede ser explicado de varias maneras. Se ha

propuesto que reducen la incidencia y severidad de infecciones subclínicas, reducen el uso de nutrientes por parte de la flora intestinal no deseable, mejoran la absorción de nutrientes mediante el adelgazamiento de la pared intestinal y reducen la cantidad de metabolitos producidos por bacterias que ocasionan reducción del crecimiento. También se cree que la reducción de infecciones intestinales disminuiría la producción de citoquinas liberadas durante el proceso inmune, las cuales a su vez estimulan la liberación de hormonas catabólicas que reducen la masa muscular. En suma, la principal forma de actuar de los antibióticos como promotores de crecimiento consiste en mantener un equilibrio óptimo de los microorganismos Gram positivos y Gram negativos de la microbiota intestinal. Si este control no existiese, podrían ocurrir alteraciones digestivas o episodios de estrés en los que aparecen y/o aumenta el número de microorganismos Gram negativos, como por ejemplo *Escherichia coli*, que proliferan y se adhieren a la mucosa, disminuyendo la absorción de nutrientes y retrasando el crecimiento y la producción (Ardoino, Toso, Toribio, Álvarez, Mariani, Cachau, Mancilla, 2017).

Las explotaciones acuícolas son fuentes importantes de contaminación por antibacterianos. En la acuicultura moderna, las cajas y jaulas flotantes se encuentran, por lo general, en ambientes acuáticos, ya sean naturales o artificiales, habitadas por peces nativos y mariscos usados también para consumo humano. Algunas de estas especies se nutren de los alimentos no consumidos o de las heces de los peces cultivados que se acumulan debajo de las jaulas; de esta forma, diferentes especies nativas de peces y moluscos pueden ser involuntariamente expuestas a varios antibacterianos, con la capacidad de transmitirlos al tracto digestivo de sus respectivos consumidores (Hernández Barrera, Angarita Merchán y Prada Quiroga, 2017).

El ambiente acuático es de gran importancia en la transferencia y mantención de los determinantes genéticos de resistencia a antibióticos en las bacterias. Este ambiente se ha propuesto como un nexo en el traspaso de información (Concha Pujado, 2018). La utilización de antibióticos de forma indiscriminada en el ambiente marino ha producido selección de bacterias resistentes, ya que se ha descrito que por lo menos el 90% de las bacterias marinas presentan genes que confieren resistencia a más de un antibiótico y por lo menos un 20% presenta genes que confieren resistencia hasta a cinco antibióticos, lo que conlleva a una reducción de las bacterias susceptibles a los antibióticos en el

medio acuático y permite la proliferación de bacterias resistentes, llegando a convertirse en algún momento en un problema de salud animal y humana (Concha Pujado,2018).

Las metodologías para administrar antibióticos en cultivos de peces, es utilizar el antibiótico mezclado en el alimento o en baños de inmersión, pero no todo el alimento se ingiere y otra parte termina en el medio ambiente circundante, ya sea como antimicrobianos metabolizados, y no metabolizados por la orina y las heces de los peces, los que pueden seleccionar bacterias resistentes a los antimicrobianos en el sedimento y la columna de agua, y que también pueden influir en la diversidad microbiana no sólo mediante la eliminación de bacterias susceptibles, sino que también actúan sobre otros microorganismos (Concha Pujado,2018).

Los compartimientos acuáticos y terrestres carecen de fronteras respecto del flujo de genes de resistencia a antibióticos y el fenómeno de resistencia es un fenómeno global, ya que el uso de antibióticos en un ambiente tendrá, a lo largo del tiempo, repercusiones en otros ambientes aparentemente lejanos. El traslado de peces de ambientes de agua dulce como lagos y ríos a ambientes marinos, crea las condiciones para la migración de bacterias resistentes a los antibióticos entre estos ambientes y facilitan la diseminación de estas bacterias entre nichos ecológicos geográficamente lejanos. Muchos determinantes de resistencia en patógenos de peces son portados en plásmidos R transferibles. La diseminación horizontal de plásmidos de resistencia de patógenos de peces puede, por lo tanto, transferir genes de resistencia a otras bacterias, incluyendo aquellas que son patógenas de humanos (Bello López, 2006).

A los antibióticos utilizados como promotores de crecimiento en animales productores de alimentos se les atribuyen la mayor parte de resistencias de aquellos gérmenes patógenos que afectan al hombre. Una posible explicación es que la presencia de microorganismos resistentes en los tejidos animales puede transferir su información genética a los gérmenes presentes en el intestino del hombre a través de la cadena alimentaria, existiendo entonces un riesgo para la salud humana por lo que se desaconseja su uso en producción animal destinada al consumo humano (Cancho grande y col., 2000).

Si bien se conoce extraoficialmente sobre el uso de este tipo de sustancias en la producción piscícola, su uso empírico no solo puede causar mayores inconvenientes en la producción (mortalidad de animales o efectos no deseados) sino que también puede afectar el medio ambiente e incluso llegar a ocasionar inconvenientes en los seres

humanos que consumen los productos. Es un criterio a evaluar los beneficios que se obtienen del agregado de estos antimicrobianos en función de las desventajas o inconvenientes que podría conllevar el uso de los mismos (Suxu, Quanim, Shuning, Chao, Xiaoze, Zhen y Zhigan, 2017).

HIPÓTESIS

Por todo lo citado anteriormente, la hipótesis del presente trabajo fue que "la administración prolongada de alimento balanceado adicionado con dosis sub-terapéuticas de oxitetraciclina y enrofloxacina induce un incremento de los parámetros biométricos de juveniles de *Piaractus mesopotamicus* en condiciones de laboratorio".

OBJETIVOS

En base a los antecedentes y la hipótesis descrita, se plantearon los siguientes objetivos:

Objetivo general

Evaluar el efecto de dosis sub-terapéuticas de enrofloxacina y oxitetraciclina sobre los parámetros biométricos de sobrevida, peso y largo estándar de *Piaractus mesopotamicus*.

Objetivos particulares

- Estandarizar la preparación de alimento balanceado, adicionando los antibióticos correspondientes y los controles con agua destilada estéril.
- Realizar mediciones de los parámetros biométricos de juveniles de pacú alimentados con los fármacos descritos y los respectivos controles.
- Evaluar los parámetros de calidad de agua en las unidades experimentales.
- Determinar si el uso de enrofloxacina y oxitetraciclina modifica los parámetros biométricos de los peces.
- Correlacionar los resultados obtenidos con la bibliografía adecuada a fin de definir si el uso de los compuestos en la especie en estudio modifica significativamente los parámetros biométricos y podría representar una mejora para los índices de productividad.

LUGAR DE TRABAJO

Si bien el ensayo del presente trabajo se realizó entre los meses de febrero y junio, mi participación activa en el mismo corresponde a los meses de mayo y junio del año 2019, incluyendo la recopilación y análisis de datos del ensayo en su totalidad. El mismo se llevó a cabo en las instalaciones del Instituto de Ictiología del Nordeste (INICNE), ubicado en la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad Nacional del Nordeste. Sargento Cabral 2139 Corrientes, Argentina.

MATERIALES Y MÉTODOS.

1. Preparación de los alimentos.

El alimento balanceado comercial se pesó y adicionó con agua destilada estéril (tratamiento control o tratamiento C) o la cantidad suficiente de antibiótico para lograr una concentración de: **a)** 75 mg/kg de pez de oxitetraciclina (tratamiento O) y **b)** 10 mg/kg de pez de enrofloxacin (tratamiento E). Luego de preparado, el alimento se secó en estufa a 60° C hasta la eliminación total de restos de humedad y se lo conservó cerrado herméticamente a temperatura ambiente hasta su uso (**Figura 1**).



Figura 1- A) Frascos conteniendo los alimentos de los diferentes tratamientos. B) Alimento balanceado comercial perteneciente al grupo control.

2. Ensayos in vivo.

Se trabajó con un total de 108 ejemplares juveniles de pacú (*Piaractus mesopotamicus*) con un peso de $29,08 \pm 6,29$ g. Los mismos fueron distribuidos en 18 unidades experimentales conformadas por peceras de 70 litros con recambio de agua constante y aireación forzada (**Figura 2**). Los animales fueron alimentados dos veces al día con una cantidad de alimento correspondiente al 5% de la biomasa. Luego de un período de adaptación de 15 días las unidades experimentales se dividieron aleatoriamente en 6 grupos y se comenzó con la administración de los alimentos balanceados correspondientes a los distintos tratamientos.



Figura 2- Unidades experimentales.

La calidad del agua fue evaluada los días 0, 25, 55, 85 y 115 de ensayo, tomándose los parámetros de:

- Temperatura y oxígeno disuelto con un oxímetro YSI modelo 55.
- pH y conductividad con un medidor Milwaukee modelo 1413.

Los días 0, 30, 60, 90 y 120 los animales fueron contados, pesados y medidos a fin de determinar los parámetros biométricos de sobrevivencia, peso medio y largo estándar. Todos los datos obtenidos se registraron en planillas para su posterior evaluación. **(Figura 3).**

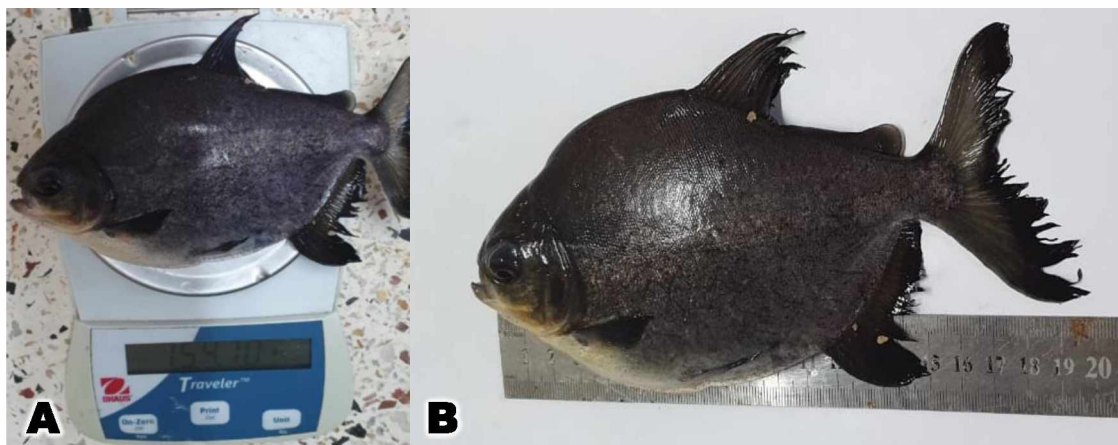


Figura 3- A) Pesaje y B) Medición de los ejemplares de pacú.

3. Análisis estadístico.

Cada tratamiento se realizó por triplicado y fue asignado por un modelo completamente aleatorizado. Los resultados fueron analizados estadísticamente por ANOVA y los test *pos hoc* correspondientes mediante el uso del programa Infostat ®.

RESULTADOS

La **figura 4** muestra la progresión en los valores de sobrevida del control y los tratamientos a lo largo de los 120 días de ensayo. Las unidades experimentales en las que se alimentó a los animales sin ningún antimicrobiano y con enrofloxacin mostraron disminuciones en el número de animales, siendo la sobrevida más baja en el día 120 la del tratamiento E con un 84,17%. El tratamiento O fue el único que no mostró disminuciones en los valores de sobrevida. Sin embargo, el análisis estadístico no indicó diferencias significativas ($p>0,05$) entre tratamientos en ninguna de las biometrías.



Figura 4 - Sobrevida de juveniles de *Piaractus mesopotamicus* alimentados durante 120 días con balanceado con el agregado de agua estéril (C), oxitetraciclina (O) y enrofloxacin (E).

En cuanto al peso medio, los animales pertenecientes al grupo control mostraron los valores más bajos en la última biometría (105,07 g). El grupo al que se le administró oxitetraciclina mostró valores promedios superiores desde la biometría del día 60 con un peso de 119,85 g para el día 120. Por su parte, los animales del tratamiento E mostraron valores intermedios con una media de 110,7 g en la última biometría (**Figura 5**).

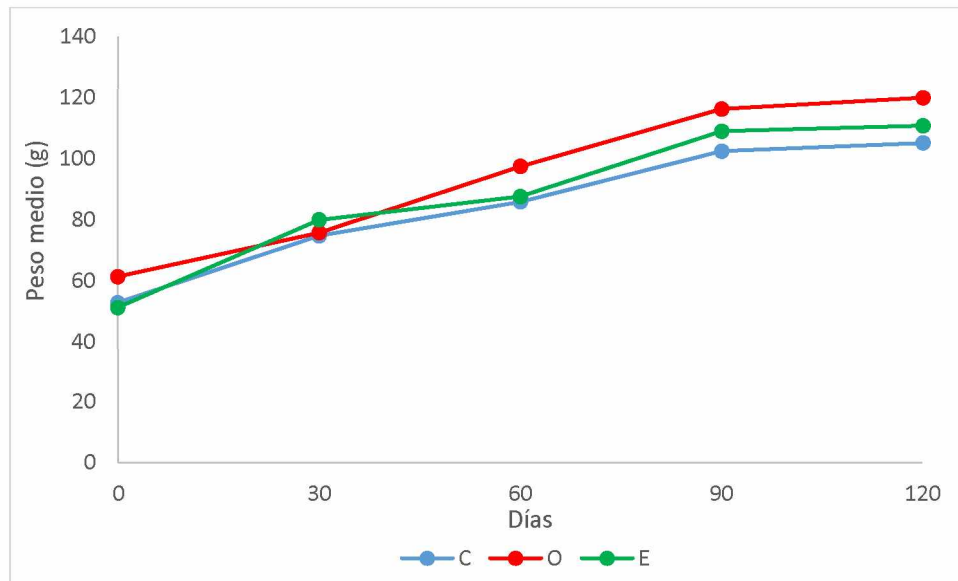


Figura 5 – Peso medio de juveniles de *Piaractus mesopotamicus* alimentados durante 120 días con balanceado con el agregado de agua estéril (C), oxitetraciclina (O) y enrofloxacina (E).

De las 5 biometrías, solamente aquellas realizadas los días 60 (**Figura 6A**) y 90 (**Figura 6B**) mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$) de los valores de peso medio, con los valores del tratamiento O diferenciándose significativamente del grupo control, y el tratamiento E sin diferenciarse de uno ni otro. Los valores de peso medio al día 120 no mostraron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre tratamientos ni con el grupo control.

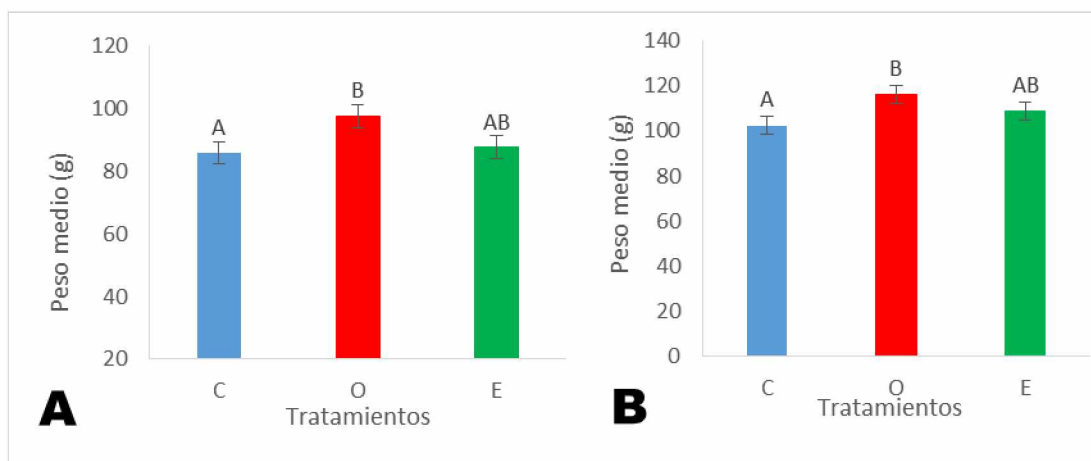


Figura 6 – Peso medio de juveniles de *Piaractus mesopotamicus* alimentados durante 60 (A) y 90 (B) días con balanceado con el agregado de agua estéril (C), oxitetraciclina (O) y enrofloxacina (E). Las barras verticales indican error estándar y letras distintas indican diferencias significativas.

Con respecto a los resultados del largo estándar, dicho parámetro se incrementó a lo largo del ensayo en todos los tratamientos. Con excepción del día 0, los valores de largo estándar del grupo alimentado con oxitetraciclina siempre fueron superiores al resto de los tratamientos (**Figura 7**).

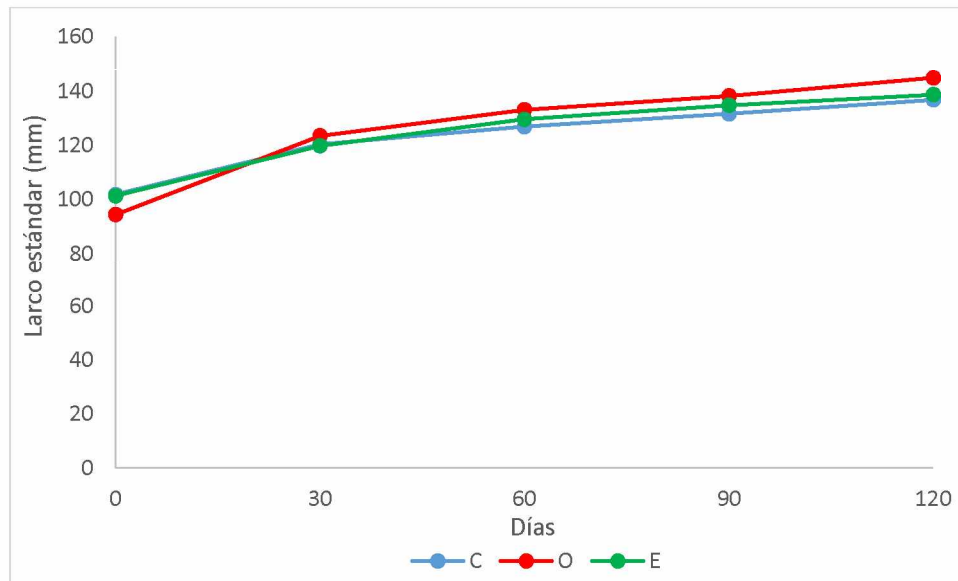


Figura 7 – Largo estándar de juveniles de *Piaractus mesopotamicus* alimentados durante 120 días con balanceado con el agregado de agua estéril (C), oxitetraciclina (O) y enrofloxacina (E).

Si bien se realizaron divisiones de los animales en las unidades experimentales a fin de lograr una mayor homogeneidad, al inicio del ensayo los animales del tratamiento O presentaban valores de largo estándar significativamente menores ($p < 0,05$) al grupo control y al tratamiento E (**Figura 8A**). Dichas diferencias disminuyeron en la biometría del día 30, mientras que en las biometrías de los días 60 y 90 el largo estándar de los animales del tratamiento O fue significativamente mayor ($p < 0,05$) al de los animales del grupo control sin diferenciarse de los del tratamiento E (**Figuras 8B y 8C**). Finalmente, al día 120, el largo estándar de los animales alimentados con oxitetraciclina resultó significativamente mayor ($p < 0,05$) al de los animales alimentados con enrofloxacina y sin adición de antimicrobianos (**Figura 8D**).

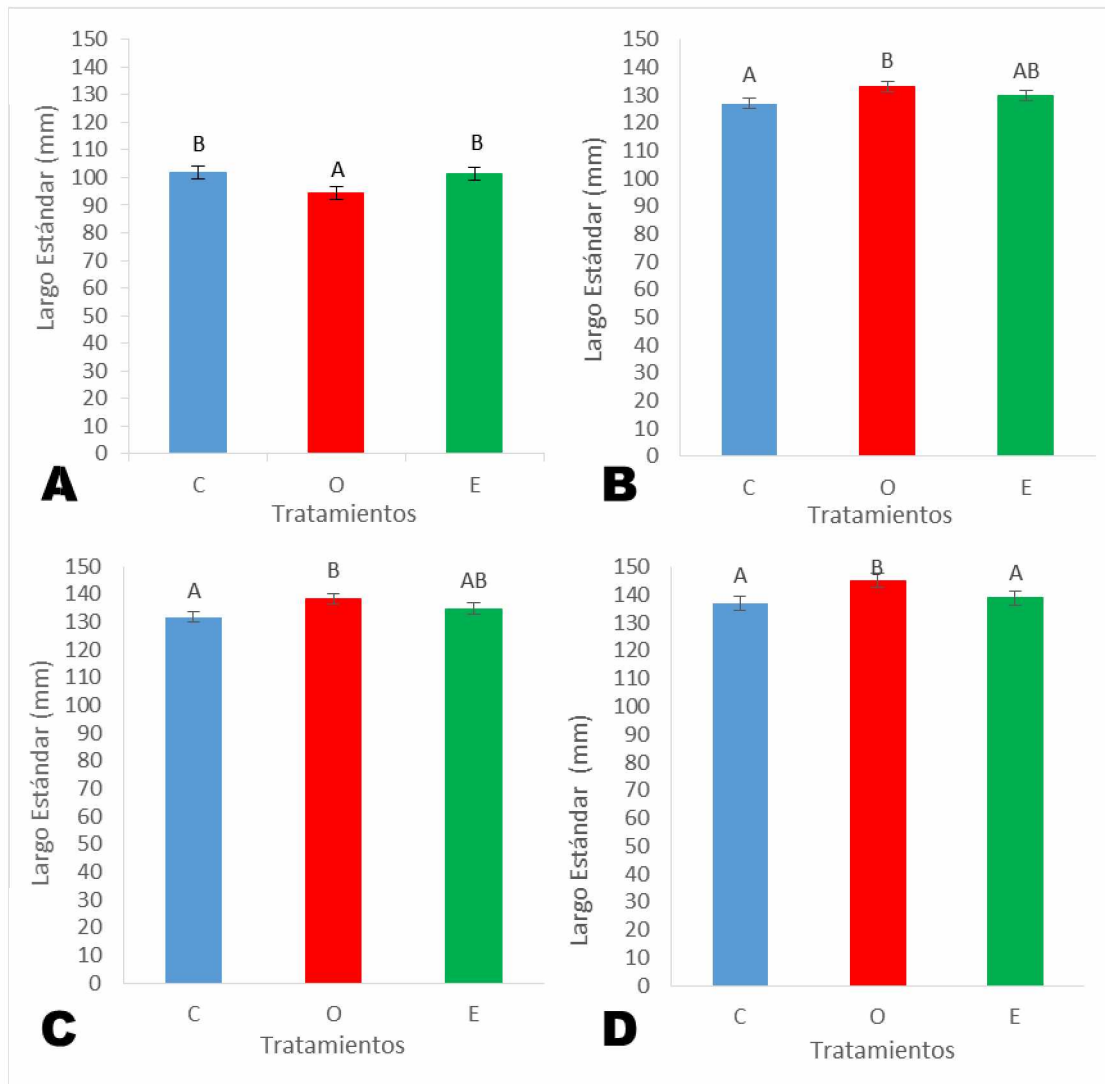


Figura 8 – Largo estándar de juveniles de *Piaractus mesopotamicus* alimentados durante 0 (A), 60 (B), 90 (C) y 120 (D) días con balanceado con el agregado de agua estéril (C), oxitetraciclina (O) y enrofloxacin (E). Las barras verticales indican error estándar y letras distintas indican diferencias significativas.

DISCUSIÓN

Los resultados de los animales alimentados con oxitetraciclina evidenciaron valores promedios superiores al grupo control y al tratamiento E en todos los parámetros evaluados. Estos datos fueron llamativos debido a que los tratamientos C y E sufrieron disminución de la sobrevida, situación que podría haber influido en que los ejemplares tratados con oxitetraciclina tengan mayores valores de peso medio y largo estándar ya que su sobrevida fue del 100%. Es por esto que los datos del presente trabajo indicarían que los animales tratados con oxitetraciclina no sólo tienen una menor tendencia a la disminución en el número de ejemplares, si no que muestran un crecimiento igual o superior al de aquellos tratamientos con menos animales por pecera.

En cuanto a la administración de dosis subterapéuticas de antibióticos como promotores de crecimiento en pacú, no se encontraron antecedentes bibliográficos. Sin embargo, aunque escasos, sí se obtuvieron resultados al analizar otras especies de animales acuáticos.

Vargas, Auro, Fragroso y Ocampo (1993) evaluaron el uso de la bacitracina-zinc en tilapia híbrida (*Oreochromis sp*), concluyendo que sólo hubo incrementos significativos para el grupo control. Por otra parte, Treviño Carillo (1994) evaluó el uso de diferentes dosis de virginiamicina como promotor de crecimiento en camarón blanco (*Penaeus vannamei*), demostrando una mayor tasa de crecimiento en los grupos tratados con las mayores dosis, pero sin mostrar diferencias estadísticamente significativas.

Li, Wang, Mai, Ai, Zhang y Zhang (2014) analizaron el uso de olaquinox (OLA) en corvina amarilla grande (*Pseudosciaena crocea R.*), concluyendo que los grupos tratados con OLA tuvieron una mayor ganancia de peso que el grupo control y que resultaron en diferencias estadísticamente significativas.

Flores, Escobar Briones y Olvera Novoa (2002) compararon el uso de terramicina al 0,1% con probióticos en tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) como promotores de crecimiento, sin embargo, no se obtuvieron diferencias significativas con la administración del antibiótico.

Entre las recomendaciones de la Conferencia del 39º período de Sesiones de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) se elaboró un documento en el cual, además de encomendar el trabajo conjunto entre FAO, OMS (Organización Mundial de la Salud) y OIE (Organización mundial de Sanidad) para

encontrar solución al problema de la resistencia a los antimicrobianos, se insta a “fomentar y respaldar la investigación y el desarrollo para hacer frente a la resistencia a los antimicrobianos y promover el uso responsable de los antimicrobianos en la agricultura”. Idealmente, las opciones para el reemplazo de los antimicrobianos como promotores de crecimiento deberían brindar tan buenos resultados como ellos. Ninguno de los compuestos propuestos hasta el momento para reemplazar a los antimicrobianos en su función de promotores de crecimiento compensa totalmente las pérdidas ocasionadas por el retiro de los AGP, usados individualmente. Entre las alternativas propuestas figuran: enzimas exógenas, ácidos orgánicos, probióticos, prebióticos y fitogénicos (Ardoino y col, 2017).

González (2020) analizó el efecto prebiótico, probiótico y/o como alimento funcional de una cepa de moho en *Piaractus mesopotamicus*, los parámetros que observó fueron sobrevivencia, peso medio, biomasa total producida y tasa de crecimiento específica, estos fueron tomados a los días 0, 12, 24, 36, 48. Los resultados obtenidos indican que si bien hubo aumentos de los tratamientos con respecto al control, ninguno afecta de manera significativa a los parámetros evaluados.

Similares resultados obtuvimos en la realización de este trabajo, aunque las diferencias tampoco fueron significativas.

CONCLUSIÓN

El agregado de dosis subterapéuticas de antibióticos como promotores de crecimiento en acuicultura ha demostrado incrementos en el crecimiento y la eficiencia de la conversión de alimentos. Sin embargo, y debido a la creciente preocupación del aumento de la resistencia antibiótica a nivel mundial, diferentes países y regiones del mundo como la Unión Europea y los Estados Unidos han prohibido el uso de antibióticos como promotores de crecimiento en animales destinados al consumo humano.

Datos extraoficiales obtenidos por diferentes grupos de investigación indicarían que en la actualidad este tipo de prácticas continúan existiendo. El marco de ilegalidad e incertidumbre en cuanto a su nocividad, entre otros factores, inducen que esta técnica se realice de manera empírica y con resultados aleatorios. Es por ello que, en el marco de un trabajo de investigación más grande, se planteó para el presente trabajo final de graduación evaluar si verdaderamente la administración de dosis sub-terapéuticas de enrofloxacin y oxitetraciclina induce un incremento sobre los parámetros biométricos de sobrevivencia, peso y largo estándar en *Piaractus mesopotamicus*. Estudios anexos del plan madre del que se desprende este trabajo indicarán, además, si existen residuos de dichos antibióticos en la carne de los animales y si se producen incrementos en el número de microorganismos resistentes a antibióticos en el tracto gastrointestinal de los peces.

Los resultados del presente trabajo permiten demostrar que la administración de dosis sub-terapéuticas de oxitetraciclina incrementa significativamente los valores promedio de peso medio y largo estándar de juveniles de *Piaractus mesopotamicus*, sin mostrar disminuciones en el número de animales, pero sin evidenciar diferencias significativas respecto de la sobrevivencia con los demás tratamientos. Dichos resultados permiten afirmar la hipótesis de que “la administración prolongada de alimento balanceado adicionado con dosis sub-terapéuticas de oxitetraciclina y enrofloxacin induce un incremento de los parámetros biométricos de juveniles de *Piaractus mesopotamicus* en condiciones de laboratorio”.

Además, en concordancia con el objetivo general planteado, y en base a los resultados obtenidos, se puede aseverar que el uso de oxitetraciclina en dosis subterapéuticas

induce incrementos significativos del peso medio (entre los días 60 y 90) y largo estándar (desde el día 60 en adelante) de juveniles de *Piaractus mesopotamicus*.

Con respecto al último objetivo particular y correlacionando los resultados de la investigación con los de diferentes bibliografías, en distintas especies acuáticas, se observó que hubo aumentos en los grupos tratados con antibióticos, pero ninguno llegó a ser significativo.

BIBLIOGRAFÍA

-ALMADA, M. D. C. B., Y PLASCENCIA, A. E. (2016). Antibióticos en la producción de alimentos de origen animal. *ANÁLISIS, CALIDAD Y PROCESAMIENTO DE LOS ALIMENTOS EN MÉXICO*.

-ARDOINO, S.M.; TOSO, R.E.; TORIBIO M.S.; ÁLVAREZ, H.L.; MARIANI, E.L.; CACHAU, P.D.; MANCILLA, M.V.; ORIANI, D.S. (2017). Antimicrobianos como promotores de crecimiento (AGP) en alimentos balanceados para aves: uso, resistencia bacteriana, nuevas alternativas y opciones de reemplazo. *CIENCIAS VETERINARIAS*, Vol. 19, N° 1, enero-junio 2017, ISSN 1515-1883 (impreso) E-ISSN 1853-8495 (en línea), pp. 50-66. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.19137/cienvet-20171914>

-BELLO LÓPEZ, J.M. (2006). TRANSFERENCIA DE MATERIAL GENÉTICO ENTRE BACTERIAS EN AMBIENTES ACUÁTICOS ¿UN PROBLEMA DE SALUD PÚBLICA?. *Revista digital universitaria*. 10 de noviembre de 2006. Volumen 7. Número 11. ISSN 1067-6079 (En Línea). Disponible en: http://ru.tic.unam.mx/bitstream/handle/123456789/1205/nov_art89_2006.pdf?sequence=1&isAllowed=y

-CANCHO GRANDE, B., GARCIA FALCÓN, M.S., SIMAL GANDARA, J. (2000). El uso de los antibióticos en la alimentación animal: perspectiva actual. *CYTA - Journal of Food*, 3:1, 39-47 (En línea). Disponible en: <https://doi.org/10.1080/11358120009487647>

- CARRANZA DÁVILA, M. A., GALECIO REGALADO, F.S., ESCOBAR, B. (2019). Concentración y eliminación de florfenicol y enrofloxacin en músculo, piel y hueso de juveniles de Tilapia Nilótica (*Oreochromis niloticus*). *Anales Científicos* 80 (1): 160- 167. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.

-CONCHA PUJADO, C. E. (2018). Caracterización molecular de la resistencia a quinolonas de la microbiota resistente asociada al cultivo de salmónidos en Chile". *Facultad de Ciencias del Mar. Universidad Católica del Norte. Coquimbo 2018* (En Línea). Disponible en <http://repositorio.conicyt.cl/bitstream/handle/10533/215239/Christopher%20Concha%20Pujado%2021130017.pdf?sequence=1>

-ERRECALDE, J. (2004). Uso de antimicrobianos en animales de consumo, incidencia del desarrollo de resistencias en salud pública. *FAO: producción y sanidad animal 2004*.

- FAO (2020). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020, Roma (En Línea). Disponible en: <http://www.fao.org/documents/card/en/c/ca9229es>
- FERNANDEZ CIRELLI, A., SCHENONE, N., PÉREZ CARRERA, A. L., & VOLPEDO, A. V. (2010). Calidad de agua para la producción de especies animales tradicionales y no tradicionales en Argentina. *AUGMDOMUS*, 1, 45-66 (En Línea). Disponible en: <https://revistas.unlp.edu.ar/domus/article/view/89/72>
- FLORES, M, L., BRIONES, L., OLVERA NOVOA, M., (2002). Avances en la utilización de probióticos como promotores de crecimiento en tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*). Avances en nutrición acuícola (En línea). Disponible en: <http://nutricionacuicola.uanl.mx/index.php/acu/article/view/245/243>
- GARCÍA OVANDO, H., ERRECALDE, C., PRIETO, G., LUDERS, C., PUELLES, I., Berecoechea, C., FERNÁNDEZ, W. (1996). Farmacocinética de enrofloxacin en terneros. Cátedra de farmacología y terapéutica. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto.
- GONZALEZ, J. (2020). Efecto Prebiótico, Probiótico y/o Alimento Funcional de una cepa de mohos en *Piaractus mesopotamicus* (Pacú). Facultad de Ciencias Veterinarias. Universidad Nacional del Nordeste.
- HENNING, H. H., CURTO, A. E., ZEBALLOS BIANCHI, B., & ASOLI, C. D. J. (2017). *INTA y el desarrollo de la piscicultura en Argentina. Experiencias de tecnología organizacional y de agregado de valor en origen*. Ediciones INTA (En línea). Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/piscicultura_en_pdf_liviano.pdf
- HERNÁNDEZ-BARRERA, J.C, ANGARITA-MERCHÁN, M., & PRADA-QUIROGA, C. F. (2017). Impacto del uso de antimicrobianos en medicina veterinaria. *Revista Ciencia y Agricultura (Rev. Cien. Agri.)* Vol. 14 (2). ISSN 0122-8420. Julio - Diciembre 2017, pp. 27-38. Tunja (Boyacá) – Colombia (En línea). Disponible en: https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencia_agricultura/article/view/7146/5539
- LI, H., WANG, W., MAI, K., AI, Q., ZHANG, C., ZHANG, L. (2014). Effect of Dietary Olaquinox on the Growth of Large Yellow Croaker (*Pseudosciaena crocea* R.) and the Distribution of Its Residues in Fish Tissues. Ocean University of China.
- LUCHINI, L., WICKI, G. (2002). Alternativas para el programa de diversificación en la región yerbatera: posibilidades de la acuicultura. Dirección de acuicultura.

Subsecretaría de pesca y acuicultura (En línea). Disponible en: http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_peces/piscicultura/64-yerbatera.pdf

-OCCHI, H. L. J. (2013). Métodos para la detección de residuos de antibióticos en leche para ser utilizado en el tambo (En línea). Disponible en: <https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/bitstream/handle/11185/417/tesis.pdf?sequence=3&isAllowed=y>.

-PACIC, A. (2010). Cría de pacú en cautiverio. INTA. Centro regional Chaco-Formosa. Estación Experimental Agropecuaria. Sáenz Peña (En línea). Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-cra_del_pacu.pdf

-PANNÉ HUIDOBRO, S (2019). Producción de acuicultura destinada al consumo humano en Argentina durante el año 2019. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca.

-PATIÑO MENDOZA, N., CAMPOS SEPÚLVEDA, A, E. (2008). Actualidades farmacológicas. Tetraciclinas. Departamento de farmacología. Facultad de Medicina. UNAM. Rev Fac Med UNAM Vol. 51 No. 1 Enero-Febrero, 2008 (En línea). Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/facmed/un-2008/un081g.pdf>

-RUBIO, M.R; BOGGIO, J.C (2009). Farmacología Veterinaria. Segunda edición. Editorial de la Universidad Católica de Córdoba (2009).

-RUEDA GONZÁLEZ, F.M (2011). Breve historia de una gran desconocida: la acuicultura. Revista Eubacteria: especial biología marina (Noviembre 2011) Nro 26. Pag 1. Disponible en: <https://www.um.es/eubacteria/acuicultura.pdf>

-SUXU, H., QUANIM, W., SHUNING, L., CHAO, R., XIAOZE, G., ZHEN, Z. & ZHIGAN, Z. (2017). Antibiotic growth promoter olaquinox increases pathogen susceptibility in fish by inducing gut microbiota dysbiosis.

-TREVINO CARILLO, M (1994). Evaluación del uso de virginiamicina como aditivo promotor de crecimiento en el camarón blanco (*Penaeus vannamei*). Universidad autónoma de Nuevo León. Facultad de ciencias biológicas.

-VARGAS, J; AURO, A; FRAGROSO, M; OCAMPO, L (1993). Evaluación de bacitracina zinc en tilapia híbrida (*Oreochromis sp.*). Departamento de Producción Acuícola, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Nacional

Autónoma de México (en línea). Disponible en:
<https://www.medigraphic.com/pdfs/vetmex/vm-1993/vm931f.pdf>

-WICKI, G., ROSSI, F., PANNÉ HUIDOBRO, S., & LUCHINI, L. (2007). *Alimento sin complemento vitamínico en producción de pacú en sistema semiintensivo. Compendio de trabajos e informes sobre acuicultura y pesca continental* (No. SA M01 DAC 17942). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos, Buenos Aires (Argentina). Dirección de Acuicultura. Centro Nacional de Desarrollo Acuícola.

-ZAMBRANO, P. E. L. R., ESPINOSA, J. A., CONTE-JUNIOR, C. A., & DE LA TORRE, C. A. L. (2018). Determinación de residuos de antibióticos veterinarios en productos de origen animal mediante cromatografía líquida. *Vigilância Sanitária em Debate: Sociedade, Ciência & Tecnologia*, 6(2), 122-136 (En línea). Disponible en:
<https://visaemdebate.incqs.fiocruz.br/index.php/visaemdebate/article/view/970/440>