

Jhon Clinton

Evaluación de la Concentración de residuos Betalactámicos en Pejerrey (*Basilichthys bonariensis*) y T

 Universidad Peruana Union

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::29566:440450240

Fecha de entrega

18 mar 2025, 9:58 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

18 mar 2025, 10:01 a.m. GMT-5

Nombre de archivo

Evaluación de la Concentración de residuos Betalactámicos en Pejerrey (*Basilichthys bonariensis*....pdf

Tamaño de archivo

532.7 KB

21 Páginas

5688 Palabras

30.198 Caracteres

7% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Filtered from the Report

- Bibliography
- Quoted Text
- Cited Text
- Small Matches (less than 10 words)

Top Sources

- 5%  Internet sources
- 2%  Publications
- 4%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

Top Sources

- 5% Internet sources
- 2% Publications
- 4% Submitted works (Student Papers)

Top Sources

The sources with the highest number of matches within the submission. Overlapping sources will not be displayed.

1	Internet	elconsumo.blogspot.com	<1%
2	Publication	Nicola Tarque, Erika Pancca-Calsin. "Building constructions characteristics and m...	<1%
3	Internet	cdn.www.gob.pe	<1%
4	Internet	icra.cat	<1%
5	Internet	rdu.unc.edu.ar	<1%
6	Internet	rua.ua.es	<1%
7	Submitted works	National Institute of Food Technology Entrepreneurship and Management on 201...	<1%
8	Internet	repositorio.unap.edu.pe	<1%
9	Internet	repositorioacademico.upc.edu.pe	<1%
10	Internet	revistas.unl.edu.ec	<1%
11	Internet	www.coursehero.com	<1%

12	Internet	hdl.handle.net	<1%
13	Internet	repositorio.upch.edu.pe	<1%
14	Internet	rlc.fao.org	<1%
15	Submitted works	ucss on 2024-08-25	<1%
16	Submitted works	Universidad Cesar Vallejo on 2024-11-08	<1%
17	Submitted works	Universidad de Las Palmas de Gran Canaria on 2021-08-16	<1%
18	Submitted works	Universidad del Valle de Guatemala on 2024-10-13	<1%
19	Internet	dspace.espol.edu.ec	<1%
20	Internet	repositorio.unbosque.edu.co	<1%
21	Internet	repositorioinstitucional.uabc.mx	<1%



Artículo

Evaluación de la Concentración de residuos Betalactámicos en Pejerrey (*Basilichthys bonariensis*) y Trucha Arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en el Lago Titicaca, Puno - Perú

Evaluation of the Concentration of Beta-lactam residues in Pejerrey (*Basilichthys bonariensis*) and Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) in Lake Titicaca, Puno – Peru

Yamile N. Coaquira Coila a; Sadith P. Yapura Choquehuenca; Jhon C. Quilla Calcina

¹Universidad Peruana Union, Campus Juliaca.

²Facultad de Ingeniería y Arquitectura /Universidad Peruana Union, Chullunquiani, Av. Heroes de la Guerra del Pacifico, Juliaca, Puno, Perú

³Facultad de ingeniería y Arquitectura /Universidad Peruana Union, Chullunquiani, Av. Heroes de la Guerra del Pacifico, Juliaca, Puno, Perú

⁴Facultad de ingeniería y Arquitectura /Universidad Peruana Union, Chullunquiani, Av. Heroes de la Guerra del Pacifico, Juliaca, Puno, Perú

Resumen

El objetivo de la investigación fue analizar la presencia de residuos antibióticos en la trucha (*Oncorhynchus mykiss*) y pejerrey (*Odontesthes bonariensis*). Para ello se investigó la presencia de 17 antibióticos pertenecientes principalmente a la familia de los betalactámicos, específicamente, las penicilinas y cefalosporinas; ello mediante HPLC-MS/MS en el músculo de la línea lateral. Y como resultados 8 antibióticos están por debajo del Límite demostrando que no generan impacto en las especies, sin embargo dos de estos medicamentos Ampicillin y Amoxicillin están al límite aceptable según la Normativa Reglamento (UE) N° 37/2010, por otro lado los antibióticos del grupo cefalosporina son los que sobrepasan



4 el LMR donde nos indica que su presencia debe ser 0 o nula, el Cefalexin tiene mayor porcentaje de presencia debido a que es un antibiótico de fácil acceso y el más común para tratar enfermedades. Estos valores nos indican que están afectando el ecosistema y a los peces que generan un desequilibrio bacteriano, al eliminar bacterias buenas y malas, como también altera el delicado equilibrio bacteriano en el agua, esencial para la vida acuática. Es importante investigar más sobre el impacto, el riesgo de la presencia de antibióticos en el medio acuático y como esto repercute en la salud humana; para ello se propone realizar de forma constante monitoreos en otros puntos del lago.

Palabras clave: residuos farmacéuticos, antibióticos, betalactámicos, lago, trucha, pejerrey

8 Abstract

4 The objective of the research was to analyze the presence of antibiotic residues in trout (*Oncorhynchus mykiss*) and silverside (*Odontesthes bonariensis*). For this purpose, the presence of 17 antibiotics belonging mainly to the beta-lactam family, specifically penicillins and cephalosporins, was investigated by means of HPLC-MS/MS in the muscle of the lateral line. And as results 8 antibiotics are below the limit demonstrating that they do not generate impact on the species, however two of these drugs Ampicillin and Amoxicillin are at the acceptable limit according to the Regulation (EU) No. 37/2010, on the other hand the antibiotics of the cephalosporin group are those that exceed the MRL where it indicates that its presence should be 0 or null, Cephalexin has a higher percentage of presence because it is an antibiotic of easy access and the most common to treat diseases. These values indicate that they are affecting the ecosystem and the fish that generate a bacterial imbalance, by eliminating good and bad bacteria, as well as altering the delicate bacterial balance in the water, essential for aquatic life. It is important to investigate more about the impact, the risk of the presence of antibiotics in the aquatic environment and how this affects human health; for this it is proposed to carry out constant monitoring at other points of the lake.

Keywords: pharmaceutical residues, antibiotics, beta-lactams, lake, trout, silverside.



Introducción

16 Los contaminantes emergentes son una creciente preocupación, ya que incluyen compuestos químicos de diversas naturalezas cuya presencia en el medio ambiente, aun no nueva, se manifiesta en diferentes concentraciones en el agua. Esta situación se ha convertido en un grave problema de contaminación con consecuencias alarmantes para los ecosistemas y la salud pública (Martínez-Alcalá et al., 2020). Cuando un animal consume antibióticos, estos se metabolizan solo parcialmente y se excretan en forma de compuestos químicos a través de la orina y las heces. Entre el 10 y el 90 % de los antibióticos consumidos suelen eliminarse con su estructura original, lo que permite su liberación directa al medio ambiente (Amé, 2023). Estos CE (contaminantes emergentes) no se encuentran regulados y no cuentan con un límite establecido de descarga por alguna institución, por lo que su presencia en cuerpos hídricos y suelos puede exceder los límites permitidos (Urbina & Solano, 2020). Es por esto que las organizaciones reguladoras los clasifican como un problema prioritario, debido a que causan un efecto negativo a largo plazo en la biodiversidad, los hábitats, el desarrollo de resistencias bacteriológicas, entre otras (Zarazúa-Morin et al., 2024).

Los antibióticos son fármacos usados para el tratamiento de enfermedades infecciosas de origen microbiano en humanos y animales, estos contaminantes emergentes son encontrados en ambiente generando un impacto negativo, los antibióticos de mayor consumo son los betalactámicos, principalmente la Amoxicilina, Ampicilina y cefalosporinas, estos fármacos de mayor consumo presentan niveles de excreción en la orina superiores al 30%, encontrándose con alta frecuencia en las aguas residuales. (Serna Galvis, Martínez Mena, Porras, & Torres Palma, 2021)

La contaminación del agua con residuos antibióticos es afectada directamente a los peces, lo que puede conllevar a la generación de bacterias resistentes o genes de resistencia que podrían transferir al humano mediante el consumo, así mismo las infecciones causadas por estas bacterias ocasionan problemas de salud debido a su limitación cada vez más los tratamientos de personas que requieren antibióticos debido a que estos microorganismos son mas resistentes. (Bastidas, 2022)

Las principales fuentes de contaminación provienen de aguas residuales industriales, comolas de la industria farmacéutica, efluentes hospitalarios y las actividades ganaderas, donde se utilizan medicamentos (Torres, 2022).



Las aguas dulces del lago Titicaca, son una fuente esencial de recursos naturales, turismo y abastecimiento para la población. Su biodiversidad se encuentra amenazada debido al aumento y la presencia de residuos antibióticos en el ecosistema (Pérez et al., 2020). El uso y aplicación de antibióticos constituyen uno de los principales problemas de salud pública, ya que su uso excesivo, tanto de forma terapéutica como profiláctica para combatir infecciones bacterianas, puede provocar su acumulación en los tejidos de los animales. Esto representa un riesgo significativo para la salud pública, al posibilitar que los residuos de estos fármacos lleguen al consumidor final a través de la carne (Huanambal, 2020).

En ese sentido, el objetivo principal de esta investigación es analizar la presencia de residuos de antibióticos en las especies de peces trucha (*Oncorhynchus mykiss*) y pejerrey (*Odontesthes bonariensis*) del Lago Titicaca, específicamente en sus músculos. Para ello, se llevará a cabo una evaluación exhaustiva de 17 antibióticos utilizando la técnica de Cromatografía Líquida de Alta Resolución acoplada a Espectrometría de Masas (HPLC-MS/MS). Los objetivos específicos incluyen: identificar la concentración de los antibióticos en los peces muestreados, comparar los resultados con los límites máximos de residuos establecidos por las normativas nacionales e internacionales, y evaluar los posibles riesgos para la salud pública derivados del consumo de estos productos contaminados. Además, se propone realizar un seguimiento continuo para monitorear la presencia de contaminantes emergentes y contribuir con información relevante para la seguridad alimentaria y el manejo de los ecosistemas acuáticos en la región.

Materiales y métodos

Zona de muestreo

Para la investigación se delimito un área cuadrangular de 50 m² en el Lago Titicaca ubicado en la provincia y departamento de Puno a 3812 msnm, dónde se encuentran el pez denominado trucha (*Oncorhynchus mykiss*) y pejerrey (*Odontesthes bonariensis*), en la tabla 1 están delimitados los 4 puntos tomados para formar el área de monitoreo para poder hacer la colecta de 3 truchas y 3 pejerreys, siendo esta zona elegida principalmente porque es una de las áreas donde mayor pesca existe por pescadores artesanales que comercializan estos peces para venta y



consumo, así mismo porque es la zona mas cercana cerca de la bahía donde habitan peces.

Tabla 1. Delimitación del área de muestreo

Delimitación del área de muestreo		
Punto 1	(15° 49' 2.865" S	69° 55' 54.285" W)
Punto 2	(15° 49' 2.293" S	69° 55' 47.521" W)
Punto 3	(15° 49' 10.017" S	69° 55' 47.150" W)
Punto 4	(15° 49' 10.231" S	69° 55' 54.285" W)

Técnicas de muestreo

3 Para poder realizar el muestreo se adoptó la normativa "Procedimiento técnico sanitario para el muestreo y envío al laboratorio de recursos hidrobiológicos para el diagnóstico de enfermedades" de la Resolución N° 2020-SANIPES-PE del Ministerio de producción, adecuando este método bajo los requerimientos de nuestra investigación, el uso de equipamiento adecuado y esterilizado era fundamental, como redes de cerco para la captura de peces, bolsa de polietileno de primer uso, plumón para el rotulado, fichas de muestreos y coolers con gel refrigerante para mantener la cadena de frío, y material de protección personal, que consistía en guantes de neopremo, botas de neopreno, mascarilla Kn95 y mamelucos impermeables.

La toma de muestras se llevó a cabo desde una noche anterior donde se dejó el cerco de redes y al amanecer para poder recoger las 6 muestras, momento en que se extrajeron un total de tres truchas (*Oncorhynchus mykiss*) y tres pejerreyes (*Odontesthes bonariensis*) en el área seleccionada. Posteriormente, se registraron los datos en la ficha de muestreo.

Las 6 muestras luego de su recolección se trasladaron a un laboratorio especializado y acreditado, donde las muestras fueron diseccionadas, procesadas y evaluadas para poder realizar el análisis y la detección de la presencia de residuos de los 17 antibióticos elegidos mediante la técnica HPLC-MS/MS (Cromatografía Líquida de Alta Resolución).

17 Para el transporte las muestras se colocaron en bolsas de polietileno selladas y rotuladas con marcador permanente negro como se observa en la figura 2, luego se colocaron todas las truchas en el cooler y todos los pejerreyes en otro cooler con el gel refrigerante. Por último, Se mantuvo la temperatura adecuada durante el transporte hacia el laboratorio en Lima.



Figura 2. Colecta y conservación de las muestras de peces.

Análisis de Laboratorio

Las muestras fueron procesadas en el laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C donde se procedió a preparar las muestras, se tuvo que eviscerar y conservar el tejido muscular disecado, específicamente de la línea lateral, y almacenarlo en recipientes herméticos bajo condiciones de refrigeración a -20°C , para su traslado un laboratorio en Alemania. Donde se utilizó la técnica por HPLC (Cromatografía Líquida de Alta Resolución) acoplada con una máquina de Espectrometría de Masas en Tándem (HPLC-MS/MS) para poder detectar y cuantificar los residuos antimicrobianos en los tejidos seleccionados de ambos peces.

Para analizar los datos se determinó la presencia y concentración específica de antibióticos en las muestras de *Oncorhynchus mykiss* y *Odontesthes bonariensis* mediante comparación con los límites máximos de residuos (LMR) del Reglamento Europeo N° 37/2010.

Proceso experimental

Los peces colectados fueron transportados a 4°C al laboratorio "Eurofins Scientific" situado en Alemania, el protocolo se basó en el método validado de *Journal of Chromatography A*, 1258 (2012) 43-54, con modificaciones para adaptarlo al tipo de muestra.

En el laboratorio, las muestras fueron descongeladas hasta alcanzar la temperatura ambiente y homogenizadas utilizando un molino criogénico. Se pesaron aproximadamente 2.00 g de músculo de la línea lateral de la



muestra en tubos de centrífuga y se añadió 10 mL una solución de acetonitrilo/EDTA 0.1 M en agua (4:1, v/v). La mezcla fue sometida a agitación en vortex durante 5 minutos y centrifugada a 4000 rpm por 5 minutos. El sobrenadante fue transferido a tubos de 50 mL que contenían 300 mg de adsorbente C18 para purificación.

Se añadieron 10 mL de hexano presaturado en acetonitrilo, se agitó por 30 segundos y se centrifugó nuevamente. La fase hexano fue retirada cuidadosamente con una pipeta Pasteur. El extracto purificado (5 mL) fue concentrado a sequedad a 45 °C mediante evaporación asistida por nitrógeno. Posteriormente, se reconstituyó en 1 mL de fase móvil A (solución acuosa de ácido fórmico al 0.1 %).

Finalmente, el extracto fue filtrado utilizando membranas de PDVF de 0.2 µm y transferido a viales ámbar para su inyección en el sistema HPLC-MS/MS, empleando un volumen de inyección de 2 µL.

Resultados

Descripción de las muestras

Para la toma de muestras de trucha arcoíris la cual pertenece a la familia Salmonidae, un grupo conocido por su alto valor comercial y su adaptabilidad en sistemas de cultivo, se escogieron peces que tuvieran un tamaño parejo y sea un tamaño promedio de todas las truchas capturadas para poder tener una longitud estándar igual en las tres muestras como se observa en la tabla 2. Esta especie es destaca por su coloración iridiscente con bandas rosadas, adaptándose a condiciones frías, siendo una fuente principal de alimento en la ciudad de Puno.

Tabla 2. Evaluación de longitud y altura de la trucha (*Oncorhynchus mykiss*)

Parámetro	Muestra T1	Muestra T2	Muestra T3
Longitud Total (cm)	25	27	27
Longitud Estándar (cm)	22.5	22.5	22.5



Altura (cm)	5.5	7.5	7.5
-------------	-----	-----	-----

La tabla 2, según los datos, las muestras T1, T2 y T3 presentan longitudes totales de 25, 27 y 27 cm, respectivamente, con longitudes estándar de 22.5 cm en todas. Sus alturas varían entre 5.5 y 7.5 cm.

Asi mismo para esoger las 3 muestras de pejerrey de la familia Atherinopsidae se opto por buscar peces de la misma longitud, sin embargo debido a la temporada de pesca no se encontró peces de la misma medida como en el anterior caso con la trucha, variando las medidas como se observa en la tabla 3. La especie es ampliamente consumida en la región

Tabla 3. Evaluación de longitud y altura del pejerrey (*Odontesthes bonariensis*)

Parámetro	Muestra P1	Muestra P2	Muestra P3
Longitud Total (cm)	33	29	24
Longitud Estándar (cm)	28	24	19
Altura (cm)	9.5	8.5	8

En la tabla 3, se describe al pejerrey, es conocido por su cuerpo alargado y escamas plateadas. Las muestras P1 y P2 son de tamaño considerable, con longitudes totales de 33 cm y 29 cm, respectivamente, mientras que P3 es notablemente más pequeña, con 24 cm. La longitud estándar varía entre 19 y 28, y las alturas oscilan de 8 a 9.5 cm. Estas diferencias sugieren diversidad de edades y estados de desarrollo.

Normativa para la comparación de resultados

La normativa para poder realizar la comparativa con los resultados fue elaborada a partir de la información internacional de reglamento (UE) N° 37/2010 de la comisión del 22 de Diciembre del 2009 relativo a las sustancias farmacológicos activas y su clasificación por lo que se refiere a los límites máximos de residuos en los productos alimenticos de origen animal (La comision Europea, 2010), para la normativa peruana no se encontré ningún reglamento de valores permitidos de fármacos en los peces. En la tabla 4 se observa los LMR nacional y los LMR internacional, teniendo esta comparativa de normativas se decidio usar solo la normativa internacional

Tabla 4. Normativa para el Límite máximo de residuo



Parámetro	LMR NACIONAL	LMR (Reglamento Europeo N° 37/2010) µg/Kg
Penicillin	-	50
Cefapirin	-	0
Methicillin	-	0
Penicillin G	-	50
Cloxacillin	-	300
Cefquinone	-	0
Cephalonium	-	0
Oxacilin	-	300
Dicloxacillin	-	300
Ampicillin	-	50
Nafcilline	-	300
Ceftiofur	-	0
Amoxicillin	-	50
Cefoperazon	-	0
Cefazolin	-	0
Cefalexin	-	0
Desacetylcephapirin	-	0

Nota. Elaborado a partir de la información del reglamento (UE) N° 37/2010

Resultados

El análisis de las muestras de las truchas nos dan resultados iguales en las tres muestras, revelando también que estos 17 fármacos están presentes algunos con bajas cantidades y otros fármacos mas conocidos elevados cerca al límite y otros fármacos que sobre pasan el reglamento debido a que su tolerancia es 0 o nula, en la tabla 4 se observa la comparativa de los resultados de las 3 muestras junto al LMR según el reglamento Reglamento (UE) n° 37/2010 de la Comisión de 22 de diciembre de 2009 relativo a las sustancias farmacológicamente activas y su clasificación por lo que se refiere a los límites máximos de residuos en los productos alimenticios de origen animal.



Tabla 5. Evaluación de antibióticos emergentes en las truchas

Parametros	Unidad	Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3		LMR (Reglamento Europeo N° 37/2010) µg/Kg
		Trucha 1	Pejerrey 1	trucha 2	Pejerrey 2	Trucha 3	Pejerrey 3	
Penicillin	µg/Kg	19.5	19.7	19.5	19.5	19.5	19.4	50
Cefapirin	µg/Kg	39.5	39.7	39.5	39.5	39.5	39.4	0
Methicillin	µg/Kg	29.5	29.7	29.5	29.5	29.5	29.4	0
Penicillin G	µg/Kg	19.5	19.7	19.5	19.5	19.5	19.4	50
Cloxacillin	µg/Kg	29.5	29.7	29.5	29.5	29.5	29.4	300
Cefquinone	µg/Kg	29.5	29.7	29.5	29.5	29.5	29.4	0
Cephalonium	µg/Kg	59.5	59.7	59.5	59.5	59.5	59.4	0
Oxacilin	µg/Kg	29.5	29.7	29.5	29.5	29.5	29.4	300
Dicloxacillin	µg/Kg	29.5	29.7	29.5	29.5	29.5	29.4	300
Ampicillin	µg/Kg	49.5	49.7	49.5	49.5	49.5	49.4	50
Nafcilline	µg/Kg	29.5	29.7	29.5	29.5	29.5	29.4	300
Ceftiofur	µg/Kg	59.5	59.7	59.5	59.5	59.5	59.4	0
Amoxicillin	µg/Kg	49.5	49.7	49.5	49.5	49.5	49.4	50
Cefoperazon	µg/Kg	59.5	59.7	59.5	59.5	59.5	59.4	0
Cefazolin	µg/Kg	59.5	59.7	59.5	59.5	59.5	59.4	0
Cefalexin	µg/Kg	150	152	140	150	140	148	0
Desacetylcephapirin	µg/Kg	39.5	39.7	39.5	39.5	39.5	39.4	0



En la tabla 4, se exponen los resultados obtenidos de las 6 muestras divididas en 3 categorías: Muestra1, Muestra 2 y Muestra 3, donde la Muestra 1 engloba a la Trucha 1 y Pejerrey 1. la Muestra 2 engloba la Trucha 2 y Pejerrey 2 y finalmente la Muestra 3 engloba la Trucha 3 y Pejerrey 3. De los resultados obtenidos se puede interpretar que 6 Fármacos "Penicillin, Penicillin G, Cloxacillin, Oxacilin, Dicloxacillin, Nafcilline" están por debajo del LMR según la normativa Europea, esto implica que las cantidades detectadas de cada uno de estos compuestos son bajas, lo que minimiza cualquier riesgo asociado a su consumo para la salud humana. Sin embargo en la Ampicillin y Amoxicillin en las 3 Truchas los niveles encontrados con un promedio de 49.5 µg/Kg y en los 3 Pejerreyes teniendo niveles de 49,7 µg/Kg , 49,5 µg/Kg y 49.4 µg/Kg mostrando que ambos fármacos están cerca al límite establecido de 50 µg/Kg, que aun estando por debajo del límite la concentración nos indica que se necesita seguimiento y monitoreo, debido a que estos 2 fármacos son los más recetados para poder tratar las enfermedades, y los valores incluso pueden sobrepasar el límite en temporadas donde el clima es más frío.

Los otros 9 Farmacos pertenecientes a la clase cefalosporina como " Cefapirin, Methicillin, Cefquinone, Cephalonium, Ceftiofur, Cefoperazon, Cefazolin, Cefalexin y Desacetylcephapirin" según la normativa el LMR para estos fármacos mencionados es nula, es decir que su tolerancia es de 0 µg/Kg, debido a que estos fármacos no deben de encontrarse en ningún pez , pero en las Truchas y en los Pejerreyes se encontraron presencia de todos estos fármacos por encima de los 29.4 µg/Kg , destacándose el Cefalexin entre todos estos fármacos debido a que está muy por encima de los demás con un valor de 150 µg/Kg en las tres truchas y en los pejerreyes con valores desde 148 µg/Kg a 152 µg/Kg, debido a que este fármaco es comúnmente el mas vendido incluso sin receta médica, siendo su consumo muy alto debido a su facilidad de obtenerlo. En el caso de Cefalexin los niveles fueron los mas altos por lo que representa una preocupación para estos peces y para los consumidores.

De forma general los resultados obtenidos evidencian que tanto las truchas y los pejerreyes del Lago Titicaca contienen los 17 antibióticos analizados encontrándose fármacos que están por debajo de los límites y otros fármacos preocupantes, la presencia de estos fármacos sugiere la importancia de seguir monitoreando este tipo de compuestos para garantizar la seguridad alimentaria y la seguridad en los peces.

Parámetros

En las figuras 2 y 3, realizadas a partir de la tabla 5, se hace el análisis por cada parámetro evaluado para saber si hubo presencia de antibióticos



tanto en la trucha como en el pejerrey, donde en los casos, se obtuvieron valores donde 8 fármacos están por debajo del límite máximo de residuos (LMR) de esa manera descriptivamente no se encontró presencia preocupante de los antibióticos, y donde 9 fármacos están encima de los LMR siendo los valores muy por encima de 0, que es lo que el reglamento nos indica sobre estos fármacos. Asimismo, se comparó con los límites establecidos la tabla 4.



Figure 2. Evaluación de presencia de antibióticos Penicillin, Penicillin G, Cloxacillin, Oxacillin, Dicloxacillin, Nafcillin, Ampicillin y Amoxicillin tanto de la trucha como del pejerrey.



Figure 3. Evaluación de presencia de antibióticos Cefapirin, Methicillin, Cefquinone, Cephalonium, Ceftiofur, Cefoperazon, Cefazolin, Cefalexin y Desacetylcephapirin tanto de la trucha como del pejerrey



Discusión

Los análisis realizados en la investigación en ambas especies Trucha y Pejerrey salvajes con edad adulta extraídas del Lago Titicaca Puno donde se realizó un monitoreo de 17 antibióticos de la familia Betalactámicos, dieron como resultados 8 antibióticos por debajo del Límite demostrando que no generan impacto en las especies, sin embargo dos de estos medicamentos Ampicillin y Amoxicillin están al límite según la Normativa Reglamento (UE) n° 37/2010, lo que nos indica una preocupación y la necesidad de seguir monitoreando, por otro lado los antibióticos del grupo cefalosporina son los que sobrepasan el LMR donde nos indica que su presencia debe ser 0 o nula, en estos se encuentran el Cefapirin con 7.5%, Methicillin 5.6%, Cefquinone 5.6%, Cephalonium 11.3% , Ceftiofur 11.3%, Cefoperazon 11.3%, Cefazolin 11.3, Cefalexin 28.5% y Desacetylcephapirin 7.5%, el Cefalexin tiene mayor porcentaje de presencia debido a que es un antibiótico de fácil acceso y el más común para tratar enfermedades, siendo también el valor más preocupante obtenido.

En el estudio realizado por Yipe et al. (2017), se realizó un monitoreo de 37 antibióticos de diferentes clases, incluyendo tetraciclinas, fluoroquinolonas, macrólidos, penicilinas, sulfonamidas, cefalosporinas y anfenicoles en tres diferentes especies trucha arcoiris, lubina, dorada, besugo. Los antibióticos que se detectaron con mayor presencia como residuo fueron el enrofloxacin (6,7 %), tilmicosina (8 %), oxitetraciclina (9,3 %), danofloxacin (9.3 %), tetraciclina (10,7 %), marbofloxacin (12 %) y norfloxacin (18,7 %), los cuales superaron los límites máximos de residuos (LMR). De igual forma en la investigación de Griboff et al. (2020), se evaluó la presencia de 46 antibióticos (cefalosporinas, anfenicoles, inhibidores del dihidrofolato reductasa, macrólidos, fluoroquinolonas, nitrofuranos, quinolonas, penicilinas, tetraciclinas y sulfamidas) en pescados que se comercializan en Argentina mediante el método de UPLC-MS-MS. Se excedieron los Límites Máximos Residuales en un 82% de las muestras de pacú, el 57% de las de trucha, el 57% de las de sábalo y el 50% de las de salmón. Se detectaron los antibióticos de cloranfenicol (41 %), furazolidona (22 %) y nitrofurantoína (4 %) (compuestos que se encuentran prohibidos en alimentos). Así mismo en la investigación de Cabezas et al. (2017) se realizó una evaluación de antibióticos en el Salmón Rosado, el 66 % de las muestras analizadas resultaron positivas a la presencia de residuos antibióticos por encima del



7 límite máximo residual, en la especie Villa Crespo con una presencia del 5 %, Almagro (8 %), Boedo (8 %), Recolecta (12 %), Caballito (14 %), Palermo 16 %, Belgrano 22 % y en otras especies un 15 %. Asimismo, en otra investigación llevada a cabo en España se evaluaron residuos de ATB en muestras de procedencia española, productos acuáticos vendidos en supermercados (Serra-Compte et al., 2017). En Argentina, en la provincia de Misiones, se identificaron ATB en los ríos Paraná y Acaraguá. musculatura del bagre negro, anciana del agua, tararira de color azul y sábalo. Los ATB identificados fueron: Encontrada la concentración máxima de eritromicina, 1,90 $\mu\text{g.kg}^{-1}$, sulfametoxazole (1,87 $\mu\text{g.kg}^{-1}$), sulfatiazol (2,43 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) y trimetropina (4,05 $\mu\text{g.kg}^{-1}$). Los disolventes utilizados para la extracción fueron MeOH y ácido acético 0,1 M, y los extractos fueron centrifugados antes de ser detectados con LC-MS/MS. No se utilizó QuEChERS o SPE en este caso (Ondarza et al., 2019). En ejemplares de tilapias de granja procedentes del estado de Mina Giráis (Brasil), se identificó la presencia de tilapias en granjas. enrofloxacino con un nivel máximo de 19 $\mu\text{g.kg}^{-1}$. Se empleó ácido para la extracción. tricloroacético, mediante centrifugación, eliminando tácticas como SPE o QuEChERS y se identificó mediante LC -MS/MS (Rocha et al., 2018). Por otro lado, en San Pablo, se han identificado residuos de oxitetraciclina (con una concentración máxima de 6,4 $\mu\text{g.kg}^{-1}$), florfenicol (con una LOQ inferior a 3,0 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) y enrofloxacina (con una concentración máxima de 15,6 $\mu\text{g.kg}^{-1}$). En esta última investigación, el método utilizado para la extracción fue QuEChERS, mientras que para la identificación se utilizó LC-MS/MS (Bortolotte et al., 2021). Finalmente, en Jiangsu, provincia de China, se han reportado residuos de ATB en peces vendidos en el mercado de Wuxi. Se registró la presencia de sulfametoxazole (con un máximo nivel de 12,1 ng.kg^{-1}), sulfapiridina (18,4 ng.kg^{-1}) y sulfafenazole (143 ng.kg^{-1}) en los peces carpa dorada (*Carassius auratus*), besugo blanco (*Parabramis pekinesis*) y siluro amarillo (*Pseudobagrus fulvidraco*). Se empleó SPE para la extracción y LC MS/MS para la identificación (Li et al., 2020).



Conclusiones

Los análisis realizados en las especies *Oncorhynchus mykiss* y *Odontesthes bonariensis* de edad adulta del Lago Titicaca demostraron que de los 17 antibióticos evaluados bajo el método HPLC-MS/MS, la Ampicillin y Amoxicillin dieron como resultado valores cerca al límite del Límite Máximo de Residuos según la Normativa Reglamento (UE) nº 37/2010 y 9 farmacos de clase cefalosporina son los que sobrepasan el LMR donde nos indica que su presencia debe ser 0 o nula, en estos se encuentran el Cefapirin con 7.5%, Methicillin 5.6%, Cefquinone 5.6%, Cephalonium 11.3%, Ceftiofur 11.3%, Cefoperazon 11.3%, Cefazolin 11.3, Cefalexin 28.5% y Desacetylcephapirin 7.5%, el Cefalexin tiene mayor porcentaje de presencia debido a que es un antibiótico de fácil acceso y el más común para tratar enfermedades, siendo también el valor más preocupante obtenido. Valores obtenidos probablemente porque el Lago Titicaca es un ecosistema expuesto a efluentes residuales, agrícolas y hospitalarios.

Los antibióticos detectados en otras regiones y estudios similares (cefalosporina y penicilinas) presentaron concentraciones significativas en este estudio mostrando que el ecosistema tiene un impacto por este tipo de contaminantes. Este hallazgo respalda la hipótesis de que el uso de antibióticos en la región no es controlado, afectando a los peces que genera un desequilibrio bacteriano, al eliminar bacterias buenas y malas, como también altera el delicado equilibrio bacteriano en el agua, esencial para la vida acuática.

Según el cálculo estimado de las ingestas diarias, las muestras no suponen un riesgo grave para la salud pública.

Finalmente se concluye que la hipótesis es acertada debido que se planteaba que se encontrarían residuos de antibióticos en los tejidos musculares de los peces. Es importante investigar más sobre el impacto crónico de la mezcla de antibióticos en el medio acuático, en la fauna acuática y en la salud humana.



Agradecimientos

Con profunda gratitud y humildad queremos expresar nuestro más grande y sincero agradecimiento, en primer lugar a Dios a quien agradecemos porque nos brindó no solamente sabiduría, también nos dio fuerza y resiliencia en cada paso de este gran camino académico, nunca nos dejó de lado guiándonos siempre con su luz y apoyándonos hasta en los momentos más difíciles, haciéndose presentes en nuestros corazones.

11 A nuestros padres por su amor, trabajo, sacrificio, en todos estos años de estudios, por ser nuestros principales promotores de sueños y ser nuestras más grandes inspiraciones de perseverancia gracias a ellos logramos llegar hasta este punto y convertirnos en los que somos, siempre será un orgullo y privilegio ser sus hijos primogénitos, porque siempre confiaron en nuestras expectativas, y que todo estos logros son por sus buenas enseñanzas y su buena crianza, a nuestros hermanos por siempre estar presentes acompañándose y dándonos todo su apoyo moral en toda esta larga etapa de nuestras vidas.

A nuestros mentores quienes estuvieron brindándonos sus conocimientos en cada clase dictada, exigiéndonos siempre sacar nuestro máximo esfuerzo, haciéndonos crecer académicamente, espiritualmente y profesionalmente cada día.



Referencias

Amé, M., Berthrand, L., y Valdés, M. (2023). Antibióticos ¿Contaminantes de preocupación emergente en Córdoba?. Antibióticos en sistemas acuáticos. *Bitácora Digital*, (10), 91-98. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/Bitacora/article/view/43702/43856>

Bastidas, R. C. (2022). Principios aprobados por la organizacion mundial de sanidad animal para el uso responsable de agentes antimicrobianos: Una evaluacion de su aplicabilidad en la produccion de Trucha Arcoiris (Oncorhynchus mykiss) en el Peru). Universidad Cayetano Heredia.

Bortolotte, A. R., Daniel, D., & Reyes, F. G. R. (2021). Occurrence of antimicrobial residues in tilapia (*Oreochromis niloticus*) fillets produced in Brazil and available at the retail market. *Food Research International*, 140(November 2020). <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109865>

Cabezas, M., De león, L., Ferraro, T., Piña, M., y Rosito, P. (2017). Presencia de antibióticos en muestras de salmón de pescaderías de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Instituto de Tecnología (INTEC), Facultad de Ingeniería y Cs, Exactas, Universidad Argetina de la empresa (UADE). <https://nexciencia.exactas.uba.ar/images/Informe%20sobre%20antibi%C3%B3ticos%20en%20Salm%C3%B3n.pdf>

Griboff, J., Carrizo, J., Bonansea, R., Valdés, M., Wunderlin, D., y Amé, M. (2020). Multiantibiotic residues in commercial fish from Argentina. The presence of mixtures of antibiotics in edible fish, a challenge to health risk assessment. *Food chemistry*, 332, 127380. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814620312425>

Huanambal, C. (2020). Residuos de antibióticos y resistencia antimicrobiana en acuicultura: Antecedentes desde la liteatura y percepción de los médicos veterinarios en el Perú. [Tesis de Maestría, Universidad Peruana Cayetano Heredia]. Repositorio de tesis UPCH. https://repositorio.upch.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12866/11827/Residuos_HuanambalSovero_Cecilia.pdf?sequence=1



La comisión Europea. (20 de Enero de 2010). Reglamento relativo a las sustancias farmacológicamente activas y su clasificación por lo que se refiere a los límites máximos de residuos en los productos alimenticios de origen animal.

Li, T., Wang, C., Xu, Z., & Chakraborty, A. (2020). A coupled method of on-line solid phase extraction with the UHPLC-MS/MS for detection of sulfonamides antibiotics residues in aquaculture. *Chemosphere*, 254, 126765. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126765>

Martínez-Alcalá, I., Soto, J., y Lahora, A. (2020). Antibióticos como contaminantes emergentes. Riesgo ecotoxicológico y control en aguas residuales depuradas. *Revista científica de ecología y medio ambiente*, 29 (3), 1-9. <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/2070/1326>

Munive, A. A., Romero, L. P. P., Álvarez, E. R., & Parra, A. H. (2020). Eventos cardiovasculares relacionados con el uso de macrólidos en una unidad de cuidado intensivo. *Acta Médica Colombiana*, 45(2). <https://www.actamedicacolombiana.com/ojs/index.php/actamed/article/view/1336>

Ondarza, P. M., Haddad, S. P., Avigliano, E., Miglioranza, K. S. B., & Brooks, B. W. (2019). Pharmaceuticals, illicit drugs and their metabolites in fish from Argentina: Implications for protected areas influenced by urbanization. *Science of the Total Environment*, 649, 1029– 1037. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.383>

Organismo Nacional de Sanidad Pesquera (SANIPES). (2016). Resolución de dirección ejecutiva N.º 057-2016-SANIPES-DE. 1-76. Lima: 2016. https://www.sanipes.gob.pe/normativas/15_R_DE_N_057_2016_A1.pdf

Organización Mundial de la Salud. (2023). Límites máximos de residuos (LMR) y recomendaciones sobre la gestión de riesgos (RGR) para residuos de medicamentos veterinarios en los alimentos.

<https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/maximum-residue-limits/es/>



Pérez, G. A., Olarte, J. B. P., & Carhuayo, F. R. B. (2020). Necesidad analítica ante la probable ocurrencia por antibióticos en la laguna de la huacachina-ica, Perú. *The Biologist*, 18(2), 327-330. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9398061>

Rocha, L., Alves, F., Cláudia, A., Ribeiro, S. R., Fernandes, C., Silva, L. H. M., ... Gloria, A. (2018). Quinolones and tetracyclines in aquaculture fish by a simple and rapid LC- MS / MS method. *Food Chemistry*, 245(August 2017), 1232–1238. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.11.094>

Serna Galvis, E. A., Martínez Mena, Y. L., Porras, J., & Torres Palma, R. A. (2021). Antibióticos de alto consumo en Colombia, excreción en orina y presencia en aguas residuales. Scielo.

Torres, I. (2022). Análisis del efecto de la eritromicina (Contaminante Emergente) en órganos de peces. [Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de Morelos]. Repositorio Institucional. <http://www.riaa.uaem.mx/xmlui/bitstream/handle/20.500.12055/2230/ITTOGA01T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Urbina, J. A. J., & Solano, J. A. V. (2020). Los contaminantes emergentes de las aguas residuales de la industria farmacéutica y su tratamiento por medio de la ozonización. *Informador técnico*, 84(2), 249-263. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7590764>

Yipe, M., Kürekci, C., Tekeli, I., Metli, M., y Sakin, F. (2017). Determination of selected antibiotics in farmed fish species using LC-MS/MS. *Aquaculture research*, 48(7), 3829-3836. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/are.13209>

Zamalloa, W., Tello, E., Donaires, T., Roque, W., y Rodríguez, M. (2023). Ocurrencia, bioacumulación y riesgos ecotoxicológicos por residuos de antibióticos en aguas de la Bahía del lago Titicaca y potable de la Ciudad de Puno. Universidad Nacional del Altiplano. <https://vriunap.pe/fedu/upload/2023/p00000502-4-Proy.pdf>

Zarazúa-Morín, M., Alfaro-Cruz, M., y Torres-Martínez, L. (2024). Medicamentos y sus consecuencias como contaminantes emergentes. *Revista CiencaUANL*, 27(123), 8-15. <https://doi.org/10.29105/cienciauanl27.123-1>