

Determinación de la calidad microbiológica bacteriana en tejido de *Oreochromis niloticus* y *Coptodon rendalli* proveniente de los embalses Porce II y Porce III, Antioquia – Colombia

Determination of bacterial microbiological quality in *Oreochromis niloticus* and *Coptodon rendalli* tissue from Porce II and Porce III reservoirs, Antioquia – Colombia

Luisa Londoño-Ramírez^{1*}, Carolina Zapata-Escobar¹, Luz Orozco-Jiménez², Jaime Palacio-Baena³

Resumen

Los embalses Porce II y Porce III ubicados al nordeste del departamento de Antioquia presentan baja calidad del agua debido al ingreso de contaminantes químicos y biológicos provenientes de las descargas de aguas residuales de origen doméstico e industrial de diez municipios que conforman el Valle de Aburrá. En los embalses se ha reportado el desarrollo de pesquería artesanal con bajos estándares de inocuidad para su autoconsumo y comercialización. La seguridad alimentaria es fundamental para el aseguramiento de la salud pública, la normatividad colombiana para el consumo de productos pesqueros se enfoca en la prevención de riesgos y advierten oportunamente un manejo inadecuado y/o contaminación del producto pesquero (NTC1443:2016 y Resolución:776/2008, modificada por la Resolución:122/2012). En este proyecto se buscó determinar la calidad microbiológica bacteriana del músculo de *Oreochromis niloticus* y *Coptodon rendalli* proveniente de los embalses Porce II y Porce III a partir del análisis de indicadores de coliformes totales, *Escherichia coli* termotolerante, *Staphylococcus aureus* y *Salmonella* spp. usando microbiología convencional. En ocho muestreos entre marzo de 2018 y octubre de 2019, se compraron a pescadores locales 480 ejemplares, a los cuáles se les determinó la longitud total, longitud estándar y peso de cada pez y se analizaron los indicadores microbiológicos siguiendo las normativas colombianas (NTC4458, NTC4779, NTC4574). Bajo estos criterios, más del 80% de las muestras demostraron no conformidad ya que sobrepasaron los límites permitidos en cuanto a carga microbiana, por lo tanto, se infiere riesgo para la salud de comunidades humanas y silvestres que se alimenten de estos peces contaminados.

Palabras clave: contaminación ambiental, inocuidad, microorganismos indicadores

Abstract

The Porce II and Porce III reservoirs are located northeastern of the department of Antioquia, have poor water quality due to the entry of chemical and biological contaminants from domestic and industrial wastewater discharge from ten municipalities that are part of the Aburrá Valley. Artisanal fisheries have been reported in the reservoirs with low safety standards for self-consumption and commercialization. Food safety is fundamental for the assurance of public health. Colombian regulations for the consumption of fishery products focus on risk prevention and warn of improper handling and/or contamination of the fishery product (NTC1443:2016 and Resolution:776/2008, modified by Resolution:122/2012). This project sought to determine the bacterial microbiological quality of *Oreochromis niloticus* and *Coptodon rendalli* muscle from Porce II and Porce III reservoirs by analyzing the indicators total coliforms, thermo-tolerant *Escherichia coli*, *Staphylo-*

¹. Grupo GAIA, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

². Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia.

³. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

* Autor de correspondencia: luisa.londonor@udea.edu.co

ccus aureus and *Salmonella* spp. in eight samplings between March 2018 and October 2019, 480 specimens were purchased from local fishermen. Total length, standard length, and weight of each fish was determined, and microbiological indicators were analyzed following Colombian standards (NTC4458, NTC4779, NTC4574). Under these criteria, more than 80% of the samples showed non-compliance because they exceeded the permitted limits for microbial load. The health risk for human and wild communities that feed on these contaminated fish is inferred.

Keywords: environmental contamination, food safety, indicator microorganisms

INTRODUCCIÓN

Desde la captura hasta el consumo final, el producto pesquero pasa por una serie de etapas donde es susceptible de contaminación microbiológica (Brugman et al., 2018; Legrand et al., 2019). En aguas contaminadas y hábitats degradados el grado de contaminación del producto pesquero puede ser mayor, donde la especie y la cantidad de microorganismos definen las modificaciones en el pescado y los riesgos por el consumo en humanos (Dumen et al., 2020; Gastalho et al., 2014; Rodríguez et al., 2018). En este sentido, se han reportado diferentes géneros de microorganismos asociados a la contaminación (Arizmendi, 2018) y el deterioro del pescado, como la presencia de coliformes totales y fecales, *Escherichia coli* y *Salmonella* spp., que en el músculo de los peces indican contaminación fecal directa del hábitat, debido a malas técnicas en la faena de pesca y/o su manipulación (Brugman et al., 2018; GAIA, 2011; Rodríguez et al., 2018). La Norma Técnica Colombiana NTC 1443 de 2016 establece como indicadores de contaminación microbiológicos a *E. coli*, *Salmonella* spp., *Vibrio cholerae* y *Staphylococcus aureus* coagulasa positiva, para pescado entero, medallones, filetes y trozos (refrigerados o congelados). Estos microorganismos son importantes en términos de salud pública ya que pueden provocar enfermedades al consumidor que son conocidas como enfermedades de transmisión alimentaria (ETAs). La presencia de estos patógenos en pescado puede generar al consumidor fiebre, dolores estomacales y problemas digestivos graves como la gastroenteritis común por salmonelosis o la fiebre tifoidea (OMS, 2021; Rodríguez et al., 2018; Sheng & Wang, 2020). Adicionalmente, pueden generar daños físicos importantes en los peces y promover la

acumulación de endotoxinas (Brugman et al., 2018; Colombo et al., 2018; Lalitha y Prasad, 2019).

Es común que en los embalses se encuentren especies de peces exóticos que posibilitan un servicio ecosistémico para las poblaciones cercanas. Tal es el caso de los embalses Porce II y Porce III, en los cuales la presencia de especies de peces exóticos permite el desarrollo de una pesquería artesanal, de autoconsumo y comercialización, importante y fundamental para la subsistencia de las poblaciones rurales que dependen de él (Jiménez Lopera, 2020). Según López Sánchez et al. (2018) en Porce II se encuentran activos 67 pescadores, de los cuales el 70% obtienen de la pesca artesanal su principal fuente de ingresos y se destinan el 85% de las capturas a la comercialización y el restante al autoconsumo. La pesquería en la zona se sustenta principalmente en los cíclidos exóticos *Oreochromis niloticus* y *Coptodon rendalli*, que en el año 2018 representaron el 96% del total de las capturas en el embalse Porce II. Este embalse cuenta con un plan de ordenación pesquera (POP) aprobado por la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP, 2013) mediante la resolución 970 del 2015, para el manejo integral del recurso pesquero y acuícola, que enfatiza en la sostenibilidad del recurso pesquero y el control de la sobrepesca. Sin embargo, las capturas, la manipulación y la conservación del pescado se realiza con bajos estándares de higiene e inadecuada infraestructura (Barrera y Contreras, 2021; Dovale, 2019; Suárez Ceballos y Flórez Sepúlveda, 2021).

Adicionalmente, los embalses presentan baja calidad del agua ya que su principal tributario, el río Porce, arrastra contaminantes químicos y orgánicos provenientes de diez municipios del Valle de Aburrá

incluyendo la ciudad de Medellín, que como consecuencia del constante ingreso y represamiento propician el crecimiento de microorganismos incluyendo los patógenos (Arizmendi, 2018; Winton et al., 2022; Zapata Restrepo et al., 2017). Estas altas cargas de contaminantes en los embalses pueden influir en la calidad sanitaria e inocuidad del producto pesquero y generar una problemática de salud pública por su consumo y comercialización (Suárez Ceballos y Flórez Sepúlveda, 2021). Sin embargo, en la actualidad no se cuenta con información sobre indicadores que permitan establecer la calidad microbiológica de los peces y los posibles riesgos para los consumidores del producto de esta zona. En consecuencia, este estudio busca determinar la calidad microbiológica bacteriana en tejido muscular de *O. niloticus* y *C. rendalli* proveniente de los embalses Porce II y Porce III usando indicadores de coliformes totales, *E. coli* termotolerante, *S. aureus* coagulasa positiva y *Salmonella* spp.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en los embalses Porce II y Porce III ubicados al Nordeste del departamento de Antioquia. El embalse Porce II está localizado a 120 km de la ciudad de Medellín, entre las coordenadas

75°09'14" – 75°04'59" W y 6°44'57" – 6°48'45" N, se encuentra en jurisdicción de los municipios de Gómez Plata, Amalfi, Yolombó y Guadalupe (figura 1). La capacidad útil del embalse Porce II es 96,2 millones de m³. El embalse Porce III se localiza aproximadamente a 147 km de Medellín, en jurisdicción de los municipios de Amalfi, Anorí, Gómez Plata y Guadalupe (figura 1). La temperatura del aire fluctúa entre 13 °C y 26 °C y la humedad relativa entre el 80% y el 84%.

Muestreo

Se realizaron ocho colectas entre marzo de 2018 y octubre de 2019 por pescadores locales usando métodos de pesca tradicionales (anzuelos y mallas de arrastre). En cada colecta se compraron en los embalses y acopios cercanos 15 adultos eviscerados, recién extraídos de cada embalse y de cada una de las siguientes especies, *O. niloticus* y *C. rendalli*. En total se analizaron 480 ejemplares con un peso superior a 100 g y sin discriminar entre sexos. Los peces fueron transportados en neveras con hielo para conservar la cadena de frío y el músculo fue extraído por personal calificado del laboratorio en un espacio adecuado y en condiciones asépticas en un periodo no mayor a tres horas después de su compra. A cada ejemplar se le determinó el peso, la longitud estándar y la longitud total. Para la obtención del músculo de cada pez, se extrajo el filete a través de un corte longitudinal de

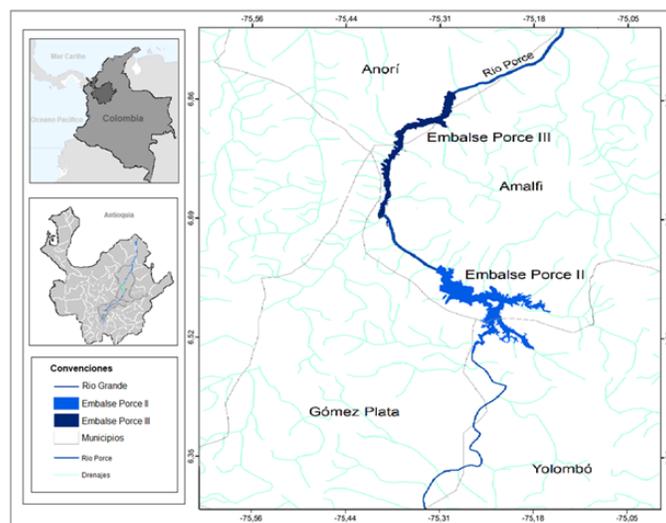


Figura 1. Localización geográfica de los embalses Porce II y Porce III.



ambas mitades laterales desde la base de la cola hasta la base de la cabeza y se removió la piel. Del músculo extraído se separaron para análisis microbiológicos diez gramos para la detección de coliformes totales, *E. coli* termotolerante, *S. aureus* coagulasa positiva y 25 g para la identificación de *Salmonella* spp. El tejido restante se utilizó para análisis fisicoquímicos no tenidos en cuenta en este estudio. Los cortes de músculo fueron almacenados en bolsas estériles debidamente rotuladas y conservados a $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ para su transporte al laboratorio y su posterior análisis en un plazo no mayor a cinco días.

Permisos de investigación y consideraciones éticas

El proyecto fue avalado por el comité de ética para la experimentación con animales de la Universidad de Antioquia como consta en el Acta N°114 del 7 de diciembre de 2017 y amparado por el permiso macro de investigación otorgado a la universidad mediante la resolución 0524 del 27 de mayo del 2014. Se optó por comprar los peces a los pescadores para evitar la sobre pesca, además de que esta actividad no requiere un permiso especial. Los peces fueron recibidos en el sitio de acopio posterior a cada faena de pesca y posterior a esto fueron procesados por personal capacitado del equipo de investigación.

Análisis microbiológico

Medios de cultivo

Para la detección de los indicadores microbiológicos se usaron medios de cultivo comerciales y se siguieron las instrucciones del fabricante. Se realizaron pruebas de esterilidad y controles para cada medio de cultivo y se conservaron en refrigeración no más de una semana. Los medios de cultivo, reactivos, diluyentes y equipos usados cuentan con certificados de validación y verificación. Los análisis se realizaron en el laboratorio del Grupo de Investigación en Gestión y Modelación Ambiental (GAIA) de la Universidad de Antioquia acreditado por el IDEAM siguiendo los requisitos generales y directrices para un laboratorio de análisis microbiológico (NTC 4092). Para favorecer el crecimiento de células viables e injuriadas y con el fin de minimizar el riesgo de reporte de falsos negativos en los resultados finales, se realizó

la desinjuria de coliformes totales, *E. coli* termotolerante y *S. aureus* coagulasa positiva, transfiriendo diez gramos de músculo entero de cada espécimen a caldo nutritivo estéril durante tres horas a $36\text{ }^{\circ}\text{C}$ y posteriormente se procedió a la identificación de los indicadores microbiológicos.

Identificación de coliformes totales y *Escherichia coli* termotolerante

Según la NTC 4458: 2018, se empleó la metodología de filtración por membrana con cultivo en agar cromogénico, previsto para el análisis de estos indicadores en alimentos y agua. Previamente se preparó una dilución 10^1 de la muestra en desinjuria en agua estéril, esta dilución se filtró usando filtros estériles de 0,45 micras y finalmente, el filtro se llevó a la superficie del agar Chromocult. Los coliformes totales se incubaron a $35 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas y *E. coli* termotolerante a $44 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 18 a 20 horas. En el agar usado (Chromocult), las colonias de *E. coli* mostraron una tonalidad azul, los coliformes totales fueron morados y otras enterobacterias asociadas fueron incoloras. Los análisis se hicieron por duplicado y los resultados se reportaron como Unidades Formadoras de Colonias por gramo de muestra (UFC/g).

Identificación *Staphylococcus aureus* coagulasa positiva

Para la identificación de *S. aureus* coagulasa positiva se siguió la norma NTC 4779:2007 usando el agar BD Baird Parker, medio de cultivo moderadamente selectivo y de diferenciación para el aislamiento y recuento de este indicador en alimentos, muestras ambientales y clínicas. Se tomaron $100\ \mu\text{l}$ de la muestra al finalizar la desinjuria y por medio de siembra en superficie se inocularon en el medio de cultivo. Se incubó a $35 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 24 a 48 horas. Para la confirmación de bacterias coagulasa-positiva se seleccionaron colonias típicas (negras-grises, con brillo metálico y halo) y atípicas y se transfirieron a tubos con caldo de infusión cerebro-corazón y se incubaron a $35 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 24 horas. Luego se adicionó 0,1 mL de cada cultivo a 0,3 mL del plasma de conejo, se incubaron durante cuatro o seis horas a $35 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y se examinó el coágulo del plasma. Se considero la prueba positiva si el volumen del coágulo ocupaba

desde un cuarto del volumen original del líquido. Los casos con resultados negativos se incubaron durante 24 horas más para hacer la lectura confirmativa.

Identificación de *Salmonella* spp.

Se transfirieron 25 g de tejido muscular a caldo lactosado para el preenriquecimiento de la muestra y se incubaron a 37 ± 1 °C por 18 ± 2 horas. Posteriormente, se realizó el enriquecimiento en caldo selectivo tetratonato por 24 ± 3 horas a 37 °C y finalmente se sembraron las muestras usando siembra en estría en los agares selectivos XLD y Bismuto sulfito, con incubación a 35 ± 2 °C durante 48 horas (NTC 4574:2007). Las colonias típicas de *Salmonella* spp. en agar XLD se evidenciaron como colonias negras brillantes y viraje de color amarillo-rosado del medio de cultivo y en el agar Bismuto sulfito fueron colonias marrones, gris o negras con brillo metálico. Los resultados se reportaron como presencia/ausencia de *Salmonella* spp.

Análisis de datos

Los análisis estadísticos fueron realizados mediante los programas Statgraphics centurión versión 19.1.2 y Excel. Los datos no siguieron una distribución normal. Se usó la prueba U de Mann Whitney para evaluar las diferencias entre dos medianas y la prueba de Kruskal Wallis para comparaciones múltiples. Se

consideraron diferencias significativas con valor de $p < 0,05$. También se realizó la prueba de contraste de hipótesis de Ji cuadrado para determinar diferencias entre la frecuencia de muestras no aceptables entre los embalses Porce II y Porce III con un valor de significancia de 0,05.

RESULTADOS

Se obtuvo el número y porcentaje de muestras de *O. niloticus* y *C. rendalli* (tabla 1) no aptas para su consumo según la normativa NTC 1443/2016, donde se excluye coliformes totales como indicador crítico, sin embargo, en este estudio si se analizó este indicador. De 480 peces analizados, 23 en Porce II (*O. niloticus* = 12 y *C. rendalli* = 11) y 9 en Porce III (*O. niloticus* = 3 y *C. rendalli* = 6) presentaron calidad buena o aceptable para consumo humano. Los indicadores coliformes totales y *Salmonella* spp., se encontraron en mayor proporción en las muestras colectadas en este estudio.

De 480 muestras en total, 461 muestras (96%) superaron el nivel máximo (>400 UFC/g) para coliformes totales y en 390 muestras (81,3%) se detectó la presencia de *Salmonella* spp. En general el número de muestras de peces no aptas para su consumo según la normativa colombiana para los indicadores considerados en el estudio fue significativamente mayor

Tabla 1. Ejemplares de *O. niloticus* y *C. rendalli* con calidad no aceptable por indicador en los embalses Porce II y Porce III

Indicador (NTC 1443/2009-2016)	<i>Oreochromis niloticus</i>		<i>Coptodon rendalli</i>	
	Porce II	Porce III	Porce II	Porce III
Coliformes totales ^a	113 (94,2%)	117 (97,5%)	113 (94,2%)	118 (98,3%)
<i>Escherichia coli</i> termotolerante ^a	72 (60%)	60 (50%)	53 (44,2%)	49 (40,8%)
<i>Staphylococcus aureus</i> ^b	52 (43,3%)	56 (46,6%)	54 (45%)	63 (52,5%)
<i>Salmonella</i> spp. ^c	99 (82,5%)	96 (80%)	93 (77,5%)	102 (85%)

^a Muestras (número y porcentaje) con calidad no aceptable (>400 UFC/g)

^b Muestras (número y porcentaje) con calidad no aceptable (>1000 UFC/g)

^c Muestras (número y porcentaje) con calidad no aceptable (presencia)

n = 120

que el número de muestras aceptables ($W = 1024$, $p < 0,05$), lo que sugiere una mala calidad microbiológica bacteriana del recurso pesquero en el área de estudio.

Las muestras presentaron alta proporción de contaminación por coliformes totales en todos los muestreos, en cuatro de los muestreos de Porce II y cinco de Porce III el 100% de las muestras presentaron contaminación por este indicador (figura 2), mientras para *E. coli* termotolerante se mostró un mayor equilibrio en la proporción de muestras aceptables y no aceptables en ambos embalses para ambas especies, solo en *O. niloticus* en Porce III (marzo 2018 y junio 2018) se encontró el 100% de las muestras contaminadas con niveles no aceptables de este indicador (figura 2).

En la figura 3 se observa que en octubre 2018 en el embalse Porce II y junio 2019 en el embalse Porce III para *O. niloticus* y *C. rendalli* el 100% de los ejemplares capturados estaban contaminados con *Salmonella* spp., para un total de 388 ejemplares (190 en Porce II y 198 en Porce III). En total en Porce II

se encontraron 107 ejemplares contaminados con *S. aureus* - coagulasa positiva y 119 en Porce III. En octubre del 2018 en los dos embalses y en octubre del 2019 en Porce III más del 80% de las muestras fueron positivas para *S. aureus* - coagulasa positiva (figura 3).

Teniendo en cuenta el total de muestras analizadas se encontró un alto porcentaje de muestras no aceptables para tres de los indicadores analizados y solo el 1% de las muestras presentaron ausencia de las bacterias evaluadas (figura 4).

En cuanto al análisis por cada indicador de contaminación bacteriana en el pescado se encontró la misma tendencia para ambas especies de peces en ambos embalses. Los indicadores coliformes totales y *Salmonella* spp. mostraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,001$) entre las muestras aceptables y no aceptables para consumo humano con un alto número de muestras contaminadas con estas bacterias y que no cumplen la normativa para consumo (NTC 1443/2009-2016). De otro lado para *E. coli* termotolerante y *S. aureus* coagulasa posi-

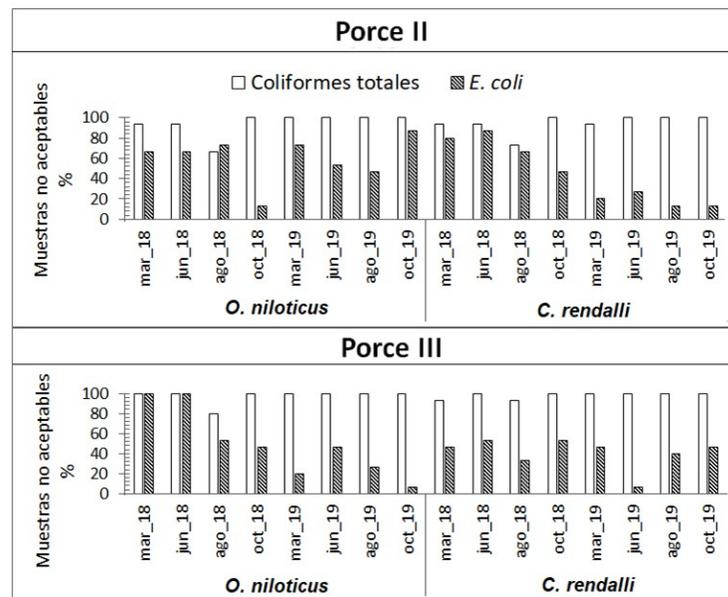


Figura 2. Porcentaje de muestras no aceptables por muestreo para los indicadores Coliformes totales y *E. coli* termotolerante.

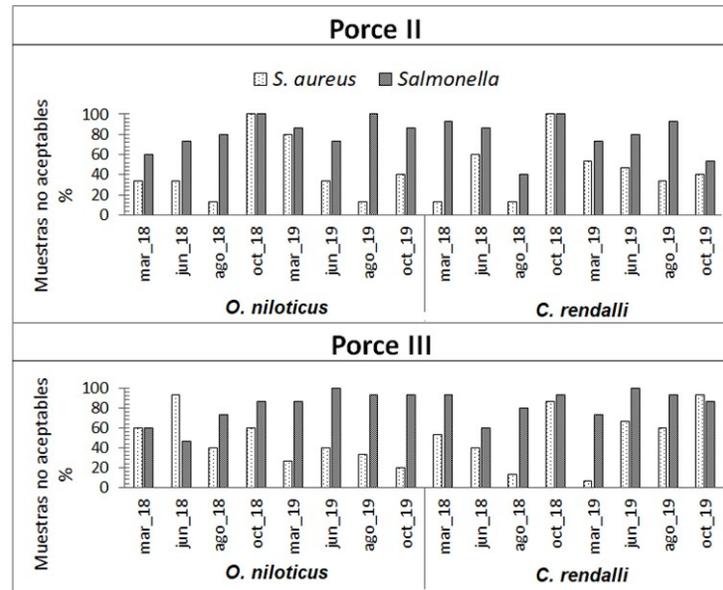


Figura 3. Porcentaje de muestras no aceptables por muestreo para los indicadores *S. aureus* coagulasa positiva y *Salmonella* spp.

tiva no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,06$) entre muestras aceptables y no aceptables, lo que sugiere un mayor equilibrio en la calidad del recurso pesquero, aunque no se debe desconocer contaminación por estos dos indicadores microbiológicos. En general según estos resultados, ambos embalses sugieren una mala calidad del producto pesquero no apto para consumo humano y hay una tendencia significativamente mayor de obtener pescados no aceptables para su consumo en el embalse Porce III ($X^2 = 6,5$; $e = 1$; $p < 0,05$).

DISCUSIÓN

La contaminación bacteriana que sufren los peces proviene de dos fuentes principales, la contaminación del hábitat y la presencia de microorganismos endógenos en el pez. Sin embargo, la presencia de microorganismos en músculo, tejido que en el pescado fresco suele ser estéril, es ocasionada principalmente por la inadecuada manipulación tanto en la captura como en el procesamiento, lo que favorece que los microorganismos que se encuentran ubicados

en la piel, las branquias y el tracto gastrointestinal puedan penetrar y multiplicarse promoviendo el posterior deterioro de los tejidos (Dumen et al., 2020; Rodríguez et al., 2018; Sheng y Wang, 2020). La inocuidad microbiológica de los peces que crecen en los embalses es deplorable en primera medida debido al deterioro de la calidad del agua por el ingreso constante de aguas residuales servidas provenientes de 4.055.296 personas que habitan el Valle de Aburrá (Arizmendi, 2018; DANE, 2020). Esta contaminación microbiológica se incrementa por las malas prácticas ya que estos peces se evisceran y se lavan con el agua contaminada de ambos embalses, proceso *in situ* que se realiza de manera insalubre sobre las embarcaciones de madera que actúan también como reservorios de microorganismos y favorece la contaminación cruzada (observación personal). Finalmente, estos peces se transportan hasta los acopios cercanos en baldes, bolsas o sacos de tela y pocas veces se congelan a temperaturas adecuadas (Suárez Ceballos y Flórez Sepúlveda, 2021).

Según la cuarta actualización de la NTC 1443 del 2016, el nivel de los indicadores microbiológicos que

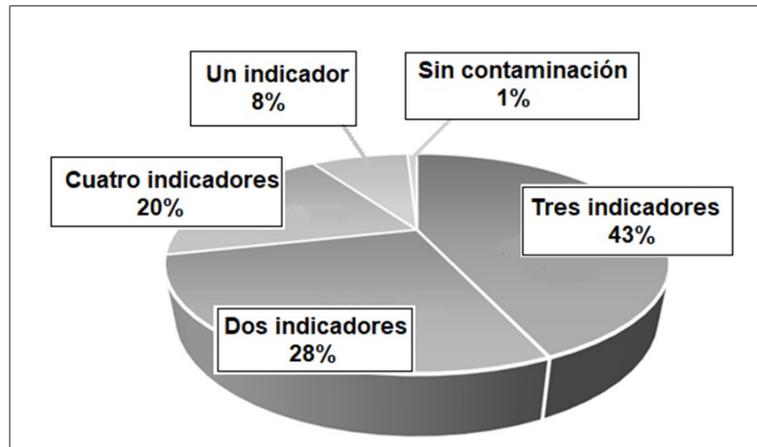


Figura 4. Porcentaje de no conformidad de las muestras con relación a la cantidad de indicadores microbiológicos evaluados.

generan peligro para la salud humana y que son requisito para la comercialización del pescado entero, medallones, filetes y trozos frescos (refrigerados o congelados) son: *Escherichia coli* (>400 UFC/g), *Salmonella* spp. (presencia), *Vibrio cholerae* (presencia) y *Staphylococcus aureus* coagulasa positiva (>1000 UFC/g). En este estudio también se cuantificó la presencia de coliformes totales (>400 UFC/g) contemplada en la actualización anterior (NTC 1443 del 2009). La presencia de uno o varios de estos microorganismos en más del 90% de los ejemplares evaluados en este estudio sugiere contaminación directa del producto con agua contaminada o contaminación secundaria durante la captura, manipulación, procesamiento, almacenamiento o distribución del producto para su consumo. Es importante resaltar que hasta en el 100% de los peces analizados por campaña se lograron identificar estas especies bacterianas patógenas.

Los resultados obtenidos indican que el pescado proveniente de ambos embalses genera un riesgo para la salud pública de los consumidores. La presencia de coliformes totales y *E. coli* termotolerante en el músculo de los peces está asociada con contamina-

ción fecal, indicando que el producto alimenticio fue contaminado por heces (Lerma Fierro et al., 2020; Molina y Jiménez, 2017). El indicador microbiológico *Salmonella* fue encontrado en el 81% de los ejemplares analizados, que según Fernández et al. (2018) se debe a una mala manipulación en la cadena de comercialización que da lugar a la formación de biopelículas y al inadecuado saneamiento (Palomino Camargo et al., 2018; Sheng y Wang, 2020). La sola presencia de este indicador en el pescado significa un riesgo potencial para la salud de los consumidores ya que esta bacteria es la responsable de graves cuadros de gastroenteritis y fiebre tifoidea (Dumen et al., 2020; INS, 2017). Igualmente, el indicador *S. aureus* coagulasa positiva fue encontrado en aproximadamente el 40% de los peces y es considerado como una de las primeras causas de intoxicación alimenticia por la generación de enterotoxinas termo-resistentes con gran virulencia en mamíferos (Lalitha y Prasad, 2019; Roldán Acero, 2020).

Las malas condiciones de inocuidad estuvieron presentes en ambas especies y ambos embalses. Sin embargo, se observó una mayor frecuencia de muestras no aptas para consumo humano en el embalse Porce

III, posiblemente debido a que en este embalse la actividad pesquera presenta una regulación mucho menor que la que se tiene en Porce II, donde la pesca cuenta con un plan de ordenación pesquera (POP) aprobado por la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP) mediante la resolución 970 del 2015 para el manejo integral del recurso pesquero y hay gremios de pescadores formados que controlan la captura y comercialización (Jiménez Lopera, 2020). Se esperaría que debido a la dilución y represamiento de contaminantes en el embalse Porce II, aguas abajo disminuiría la concentración de contaminantes y mejoraría la calidad del agua en el embalse Porce III, sin embargo, los resultados obtenidos soportan la hipótesis de que la mayor contaminación del pescado se debe principalmente a la manipulación de este.

Como se observó en la figura 4, donde solo un 8% de los pescados analizados no fueron aptos para consumo cuando se tuvo en cuenta un solo indicador microbiológico. Con este estudio se evidencia la importancia de usar una batería de indicadores microbiológicos para evaluar y monitorear la calidad del producto pesquero para consumo humano, sobre todo el procedente de reservorios contaminados como estos embalses.

Aunque la procedencia y la alta exposición a contaminantes ambientales de estos peces no es idóneo para su comercialización y puede generar un problema de salud pública, una adecuada capacitación a los pescadores en el uso de técnicas de inocuidad y manipulación de alimentos podría mejorar la calidad microbiológica del pescado procedente de estos embalses (Barrera y Contreras, 2021; Roldán Acero et al., 2020). Se debe resaltar que, en su mayoría, los pescadores de esta zona no cuentan con el conocimiento sobre normas básicas de higiene e inocuidad alimentaria (Meneses y Nieto, 2015; Rondón et al., 2020), por esto, considerar el uso de embarcaciones adecuadas, el procesamiento *ex situ* en lugares donde se garantice la asepsia, el uso de agua potable y una adecuada conservación en frío, podría disminuir el crecimiento de bacterias patógenas. El transporte de los peces vivos hasta sitios de procesamiento adecuado también podría aumentar la calidad del producto. Igualmente, los cambios de actividad económica que se generan al intervenir poblaciones para

la construcción de macroproyectos como embalses o represas pueden alterar negativamente el desarrollo socioeconómico de estas comunidades. Estas modificaciones no son recomendadas debido al gran afectación social y ambiental que causan a corto y largo plazo (Jiménez Lopera, 2020).

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Empresas Públicas de Medellín (EPM) por su apoyo y financiación en el marco del convenio “GESTIÓN DE LA BIODIVERSIDAD Y DE SUS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN CUENCAS DE INTERÉS PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR PARTE DE EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN”. Al Grupo de Investigación en Gestión y Modelación Ambiental (GAIA) de la Universidad de Antioquia por la formación, apoyo logístico y técnico durante el desarrollo de la investigación.

REFERENCIAS

- Arizmendi, L. M. (2018). *Sedimentos de los embalses Riogrande II y Porce II como reservorio de Cianobacterias potencialmente tóxicas*. [Tesis de doctorado]. Universidad de Antioquia, Medellín.
- AUNAP, Fundación Humedales (2013). *Procesos de ordenación pesquera en las cuencas Magdalena, Sinú y golfo de Urabá*. Bogotá (Colombia): AUNAP, Fundación Humedales. Convenio 01–2012.
- Barrera, K., & Contreras, R. (2021). *Análisis de la cadena productiva del sector piscícola en Colombia 2016-2021*. [Tesis de pregrado]. Universidad Francisco de Paula Santander, Ocaña. <https://www.researchgate.net/publication/356438979>
- Brugman, S., Ikeda-Ohtsubo, W., Braber, S., Folkerts, G., Pieterse, C. M. J., & Bakker, P. A. (2018). Una revisión comparativa sobre la manipulación de la microbiota: Lecciones de la investigación con peces, plantas, ganado y seres humanos. *Fronteras en Nutrición*, 5(80). DOI: 10.3389/fnut.2018.00080
- Colombo, F. M., Cattaneo, P., Confalonieri, E., & Bernardi, C. (2018). Histamine food poisonings: A systematic review and meta-analysis. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(7), 1131–1151. DOI: 10.1080/10408398.2016.12424
- DANE, Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2020). *Informe de indicadores de calidad de vida para el Valle de Aburra 2020-Línea base*. [Documento en línea]. Recuperado de: http://www.dane.gov.co/daneweb_V09/index.php?option=com_content&view=article&id=97&Itemid=59.

- Dovale, M. C. (2019). *Análisis y estimación del costo promedio ponderado de capital del sector piscícola en Colombia*. Simposio Internacional de Investigación en Ciencias Económicas Administrativas y Contables. Universidad Libre, Bogotá, Colombia.
- Dumen, E., Ekici, G., Ergin, S., & Bayrakal, G. M. (2020). Presence of Foodborne Pathogens in Seafood and Risk Ranking for Pathogens. *Foodborne Pathogens and Disease*, 17(9), 541–546. DOI: 10.1089/fpd.2019.2753.
- Fernández, D. V., Castro, V. S., Neto, A. D., & Figueiredo, E. (2018). *Salmonella* spp. en la cadena productiva del pescado: una revisión. *Ciencia Rural*, 48(8), e20180141. DOI: 10.1590/0103-8478cr20180141
- Gastalho, S., Silva, G., & Ramos, F. (2014). Uso de antibióticos en acuicultura e resistencia bacteriana: impacto em saúde pública. *Acta farmacêutica portuguesa*, 3(1), 29–45. <https://www.actafarmacêuticaportuguesa.com/index.php/afp/article/view/40>
- GAIA, Grupo Investigación de Gestión y Modelación Ambiental (2011). *Calidad del producto pesquero del embalse Porce II: Determinación de Cadmio, Cromo, Mercurio y Plomo en tejido muscular, frecuencia de anomalías morfológicas mixtas y caracterización microbiológica de muestras mixtas de piel y tejido de Oreochromis niloticus y Tilapia rendalli*. Universidad de Antioquia. Proyecto ordenamiento pesquero Porce II. Medellín, Colombia. Recuperado de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_nlinks&pid=S0304-3584201800010002400020&lng=en
- INS, Instituto Nacional de Salud. (2017). *Evaluación de la investigación epidemiológica de campo en los brotes de enfermedades transmitidas por alimentos, Bogotá, enero 2016 – octubre 2017*. Informe Quincenal Epidemiológico Nacional, 23(12), 134–155. Recuperado de: <https://www.ins.gov.co/buscador/IQEN/IQEN%20vol%2023%202018%20num%2012.pdf>
- Jiménez Lopera, R. (2020). *Análisis de la percepción de los impactos socio ambientales generados por el proyecto hidroeléctrico PORCE III*. [Tesis de pregrado]. Tecnológico de Antioquia Institución Universitaria, Medellín. <https://dspace.tdea.edu.co/handle/tdea/1451>
- Lalitha, K. V., & Prasad, M. M. (2019). *Staphylococcus aureus* resistente a la meticilina en pescados y mariscos: prevalencia, detección de laboratorio, naturaleza clonal y control en la cadena de pescados y mariscos. *Revista de Ciencias de la Alimentación*, 84(12), 3341–3351. DOI: 10.1111/1750-3841.14915
- Legrand, T. P., Wynne, J. W., Weyrich, L. S., & Oxley, A. P. (2019). A microbial sea of possibilities: Current knowledge and prospects for an improved understanding of the fish microbiome. *Reviews in Aquaculture*, 12(2), 1101–1134. DOI: 10.1111/raq.12375
- Lerma Fierro, A., Flores López, M., Guzmán Robles, M., & Cortés Sánchez, A. (2020). Microbiological evaluation of minimally processed and marketed fish in popular market of the city of Tepic Nayarit, Mexico. *Tropicultura*, 18(1), 0771–3312. <https://doi.org/10.25518/2295-8010.1556>
- López Sánchez, J. M., Hernández Barrero, S. J., Valderrama Barco, M. B., & Barreto Reyes, C. (2018). Caracterización y estado de las pesquerías del embalse Porce II (Antioquia). *Actualidades Biológicas*, 40(108), 1–14. DOI: 10.17533/udea.acbi.v40n108a03
- Meneses, M., & Nieto, M. N. (2015). *Evaluación de la Inocuidad en Expendios de Pescado en un Mercado de Ibagué, Tolima, Colombia*. [Tesis de pregrado]. Universidad del Tolima, Ibagué. <http://repository.ut.edu.co/handle/001/1529>
- Molina, G., & Jiménez, I. (2017). Análisis de la contaminación por Coliformes termotolerantes en el estuario del río Ranchería, la Guajira (Colombia). *Boletín Científico. Centro de Museos*, 21(2), 41–50. DOI: 10.17151/bccm.2017.21.2.3
- OMS, Organización Mundial de la Salud. (2021). *Eliminación de las helmintiasis transmitidas por el suelo como problema de salud pública en los niños OMS*. [Documento en línea]. Recuperado de: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs366/en/>
- Palomino Camargo, C., González Muñoz, Y., Pérez Sira, E., & Hugo Aguilar, V. (2018). Metodología Delphi en la gestión de la inocuidad alimentaria y prevención de enfermedades transmitidas por alimentos. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 35(3), 483–490. DOI: 10.17843/rpmesp.2018.353.3086
- Rodríguez, S., Asmundis, C., Ayala, M., & Arzú, O. (2018) Presencia de indicadores microbiológicos en agua para consumo humano en San Cosme - Corrientes, Argentina. *Revista Veterinaria*, 29(1), 9–12. DOI: 10.30972/vet.2912779
- Roldán Acero, D. J., Molleda Ordoñez, A. A., Luján Tantarico, D., & Omote Sibina, J. R. (2020). Elaboración de filete sin piel de paiche (*Arapaima gigas*, Cuvier 1829) ahumado a baja temperatura. *Ingeniería Industrial*, (39), 189–203. DOI: 10.26439/ing.ind2020.n039.4921
- Rondón, E. J., Ramos, D. D., Vilca, L. M., González, V. R., Salazar, S. E., & Mendoza, Q. Y. (2020). Caracterización sanitaria e identificación de los puntos de contaminación microbiológica en la cadena de comercialización pesquera en el puerto de Pucallpa, Ucayali, Perú. *Revista De Investigaciones Veterinarias Del Perú*, 31(1), e17539. DOI: 10.15381/rivep.v31i1.17539
- Suárez Ceballos, W., & Flórez Sepúlveda, Y. A. (2021). *Estudio de factibilidad sobre la implementación de un sistema de producción acuícola en la zona de influencia del Proyecto Hidroeléctrico Porce II en el municipio de Amalfi*. [Trabajo de grado especialización]. Universidad de Antioquia, Amalfi.
- Sheng, L., & Wang, L. (2020). The microbial safety of fish and fish products: Recent advances in understanding its significance, contamination sources, and control strategies. *Comprehensive Reviews in Food Science & Food Safety*, 20(1), 738–786. DOI: 10.1111/1541-4337.12671
- Winton, R. S., López, S., Valencia, D., Bernal Forero, C., Delgado, J., Wehrli, B., & Jiménez Segura, L. (2022). Patterns and drivers of water quality changes associated with dams in the Tropical Andes. *EGUsphere [preprint]*. DOI: 10.5194/egusphere-2022-403, 2022.
- Zapata Restrepo, L. M., Orozco Jiménez, L. Y., Rueda Cardona, M., Echavarría, S. L., Mena Moreno, N., & Palacio Baena, J. A. (2017). Evaluación genotóxica del agua del Río Grande (Antioquia, Colombia) mediante frecuencia de eritrocitos micronucleados de *Brycon henni* (Characiformes: Characidae). *Revista de Biología Tropical*, 65(1), 405-414. DOI: 10.15517/rbt.v65i1.21766.