



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO  
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

**“ENFERMEDADES BACTERIANAS Y BACTERIAS  
IDENTIFICADAS EN PECES CULTIVADOS EN MÉXICO  
UNA REVISIÓN”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN POR  
ARTÍCULO ESPECIALIZADO**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
MEDICA VETERINARIA ZOOTECNISTA

**P R E S E N T A:**

**FRIDA MIROSLAVA ALCÁNTARA JÁUREGUI**

ASESORES:

**Dr. CÉSAR ORTEGA SANTANA**

**Dr. BENJAMÍN VALLADARES CARRANZA**



Toluca, México, Enero de 2022.

## ÍNDICE

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	v
<b>DEDICATORIAS</b> .....	vii
<b>RESUMEN</b> .....	viii
<b>ABSTRACT</b> .....	Viii
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>Revisión de Literatura</b> .....	4
<b>Capítulo I. Panorama general de la situación actual de la piscicultura en México</b> .....	4
<b>Capítulo II. Enfermedades bacterianas reportadas en peces de México</b> .....	6
2.1 <i>Aeromonas</i> .....	6
2.2 <i>Pseudomonadaceae</i> .....	9
2.3 <i>Flavobacterium</i> .....	10
2.4 <i>Yersiniosis</i> .....	11
2.5 <i>Weissella ceti</i> .....	12
2.6 <i>Estreptococosis-lactococosis</i> .....	13
2.7 <i>Micobacterias</i> .....	16
2.8 <i>Francisella</i> .....	17
2.9 Infecciones por <i>Nocardia spp.</i> .....	19
2.10 Bacterias importantes para peces no observadas en México.....	20
<b>JUSTIFICACIÓN</b> .....	22
<b>OBJETIVOS</b> .....	24
Objetivo general: .....	24
Objetivos específicos:.....	24
<b>MATERIAL</b> .....	25

<b>MÉTODO</b> .....	26
<b>LÍMITE DE ESPACIO</b> .....	27
<b>LÍMITE DE TIEMPO</b> .....	28
<b>RESULTADOS</b> .....	29
<b>Correo Recepción del artículo-Revista</b> .....	30
<b>CONCLUSIONES</b> .....	52
<b>LITERATURA CITADA</b> .....	54

“ENFERMEDADES BACTERIANAS Y BACTERIAS IDENTIFICADAS EN PECES  
CULTIVADOS EN MÉXICO - UNA REVISIÓN”

## RESUMEN

Este trabajo concentra información de las publicaciones científicas y comunicaciones que han descrito la ocurrencia de enfermedades bacterianas y aislamiento e identificación de bacterias a partir de peces de México. La investigación consistió en la búsqueda sistemática de artículos científicos en Pubmed, Scopus y otros buscadores utilizando las palabras clave: *enfermedades, bacterias, peces, México*- en inglés y español, sin restricción de fecha; también se incluyó información de instituciones oficiales. El análisis muestra registros de aislamiento e identificación de varios géneros bacterianos obtenidos tanto de peces clínicamente enfermos como subclínicos, con alta frecuencia de bacterias oportunistas. Se destaca que en la última década se ha confirmado la ocurrencia de enfermedades septicémicas causadas por bacterias emergentes. En ambiente de agua dulce *Flavobacterium psychrophilum*, *Yersinia* spp., *Weissella ceti* y *Lactococcus garviae* han causado enfermedad septicémica en trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), mientras que *Francisella orientalis*, *Streptococcus iniae* y *Mycobacterium* spp. han afectado a tilapia (*Oreochromis* spp.); en ambiente salino, *Nocardia seriolae* se reporta como causa de enfermedad sistémica en corvina roja (*Sciaenops ocellatus*). Pese a contar con esta información, oficialmente no se comunican las enfermedades que afectan o han afectado a peces del país. Para favorecer el desarrollo de la piscicultura es necesario conocer y difundir su condición sanitaria, con ello se pueden identificar riesgos y oportunidades, y establecer acciones de control.

Palabras clave. Bacterias, enfermedades, peces, infección.

## **ABSTRACT**

This study concentrates information from the publications that have described the occurrence of bacterial diseases and the isolation and identification of bacteria from Mexican fish. The research consisted of the systematic search of scientific papers in Pubmed, Scopus and other search engines using the key words: diseases, bacteria, fish, Mexico- in English and Spanish, without date restrictions; information from official institutions was also included. The analysis shows records of isolation and identification of several bacterial genera obtained from both clinically diseased and subclinical fish, with high frequency of opportunistic bacteria; that in the last decade the occurrence of septicemic diseases caused by emerging bacteria has been confirmed. In freshwater environment *Flavobacterium psychrophilum*, *Yersinia* spp., *Weissella ceti* and *Lactococcus garviae* have caused septicemic disease in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), while *Francisella orientalis*, *Streptococcus iniae* and *Mycobacterium* spp. have affected tilapia (*Oreochromis* spp.). In the saline environment, *Nocardia seriolae* is reported as a cause of systemic disease in red croaker (*Sciaenops ocellatus*). It should be noted that, despite having this information, diseases that affect or have affected fish in the country are not officially reported. To promote the development of fish farming, it is necessary to know and report its health status, in this way risks and opportunities can be identified, and control actions established.

Key words: Bacteria, diseases, fish, infection

## **INTRODUCCIÓN**

Los avances en el conocimiento de las características y necesidades nutricionales, ambientales y manejo de los peces han favorecido el desarrollo y expansión de la piscicultura mundial. Sin embargo, el incremento de la producción piscícola de las últimas décadas también ha favorecido un aumento en la ocurrencia de enfermedades infecciosas; su propagación epizootica cada vez es más frecuente e inclusive ocurren nuevas formas de presentación.

Los brotes de enfermedades en peces pueden ocurrir en cualquier sistema de producción. Sin embargo, factores como la alta concentración de unidades de producción en áreas específicas, la deficiencia de programas de gestión de la salud e inspecciones sanitarias en la cadena de producción, la deficiente aplicación de regulaciones sobre importación o movilización de huevos y peces, y en la aplicación de medidas generales de bioseguridad, aumentan los riesgos (Figueroa *et al.*, 2019). Así, cuando aparecen enfermedades en lugares con baja organización en actividades de piscicultura, se evidencian deficiencias en el manejo y control de las situaciones y, generalmente no se conoce la situación real de las enfermedades o los agentes infecciosos presentes en sus territorios.

Con relación a lo anterior, la difusión del estado sanitario es fundamental porque la información recaudada durante brotes o durante la vigilancia, se utiliza para identificar riesgos futuros y/o establecer acciones de control (OIE, 2014). En la piscicultura de México existe bajo nivel de reportes y/o registros sanitarios. Aunque documentos oficiales indican las enfermedades y plagas exóticas y/o endémicas en los animales acuáticos del país Diario Oficial de la Federación, (2018), no existen estudios sanitarios oficiales que respalden tales declaraciones, lo cual no necesariamente significa que no se hayan realizado estudios de diagnóstico sanitario en el país. Sin embargo, la mayoría de los reportes de casos de enfermedad en peces del país se han realizado por investigadores de Universidades o Centros de investigación no oficiales.

Aunque la mortalidad y/o manifestación de signos clínicos dramáticos son los eventos que llaman la atención, en realidad durante un proceso infeccioso ocurren eventos que van desde mortalidad aguda hasta síndromes benignos o intrascendentes, muchas veces pasan desapercibidos, pero de alguna manera todos terminan en cierto grado de desviación de la estructura o la función normal del hospedero (Hedrick, 1998).

Con relación a lo anterior, la mayor parte de publicaciones relacionadas con infecciones en peces de México describen el aislamiento de bacterias ambientales-oportunistas potencialmente patógenas o de poca importancia sanitaria para peces, a partir de animales clínicamente sanos (Salgado-Miranda *et al.*, 2010), incluso congelados (Castro-Escarpulli *et al.*, 2003). En contraste, son contados los casos donde se comprobó que las bacterias aisladas fueron responsables de provocar enfermedad clínica en los peces de donde fueron aisladas. Solo hasta muy recientemente, se han informado epizootias asociadas a bacterias emergentes. Con relación a virus, oficialmente se reconoce la presencia de la necrosis pancreática infecciosa viral (IPNV) Diario oficial de la Federación, (2018), el virus de la tilapia del lago (TiLV) detectado en 2018 ha sido erradicado SENASICA, (2019), y no se ha informado la presencia en el país de patógenos que impactan seriamente a peces de otras partes del mundo (Diario Oficial de la Federación, 2018). Lo anterior podría sugerir que la piscicultura del país es sana; sin embargo, tomando en cuenta las deficiencias del flujo de información que existen en el país esto puede deberse a que las enfermedades y sus agentes etiológicos pudieran existir de forma asintomática, o bien que exista una situación de sub-diagnóstico (Ortega y Valladares, 2015).

En este trabajo se presenta una revisión sistemática de la literatura publicada acerca de los principales patógenos bacterianos que se han encontrado afectando clínica y/o subclínicamente a peces cultivados y silvestres de México; en menor proporción

se utilizó literatura gris consistente en tesis de licenciatura o posgrado y memorias de eventos académico-científicos.

## **Revisión de Literatura**

### **Capítulo I. Panorama general de la situación actual de la piscicultura en México**

De acuerdo con datos oficiales, en el año 2017 en México las principales especies producidas por piscicultura en orden decreciente fueron la tilapia (*Oreochromis* spp.) con 179,919 toneladas; carpa (*Cyprinus* spp.) con 53,421 toneladas, trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) con 14,197 toneladas y bagre (*Ictalurus* spp.) con 8,278 toneladas (Anuario estadístico de acuicultura y pesca, 2018).

Pese a que las estadísticas oficiales indican que en los últimos diez años ha habido un notable crecimiento en la producción general de estas especies, en realidad el nivel de producción de años continuos ha sido irregular, e inclusive ha mostrado retrocesos en relación con años anteriores, y hasta ahora no se ha presentado alguna explicación sobre tales comportamientos de producción. Por ejemplo, en el año 2013 la producción de trucha fue de 9,757 toneladas, en 2014 de 19,123 toneladas y en 2015 de 11,527 toneladas. El valor del año 2014 podría significar el despunte de la actividad, sin embargo, el descenso de 2015 merece un análisis y explicación. Con respecto a la tilapia, entre el 2008 y 2012 se obtuvieron niveles de producción casi estables, con valores de entre 74,874 y 77,547 toneladas, superando las 100,000 toneladas a partir de 2013; en 2016 se registró la máxima producción, pero decayó en 2017. En el inicio del periodo analizado, la producción de carpa mostró tendencia negativa; en 2010 se reportaron 30,241 toneladas, mientras que se obtuvieron 23,507 toneladas y 26,920 toneladas para 2011 y 2012, respectivamente; en el caso de bagre, también es evidente la irregularidad y retroceso productivo en el periodo descrito (Anuario estadístico de acuicultura y pesca, 2018).

La situación de irregularidad e inclusive retrocesos en la producción piscícola del país, puede tener varias explicaciones que no son objeto de este estudio. Uno de los factores podría ser la ocurrencia de enfermedades que se consideran componentes comunes de los sistemas de producción piscícola. Sin embargo, a la fecha en el país no se han documentado los impactos de las enfermedades en la producción acuícola a nivel general o específico. Como ejemplo, en agosto del año 2018, la autoridad sanitaria de México, a través del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) notificó la ocurrencia del virus de la tilapia del lago (TiLV) SENASICA, (2019), y la propia instancia lo declaró erradicado para mayo de 2019; sin embargo, no se informó del impacto económico-productivo ocasionado por los casos informados de este agente, el cual ha causado altos niveles de mortalidad en peces cultivados y silvestres en los tres continentes (Jansen *et al.*, 2018). Como ejemplos, en Egipto se estimaron pérdidas de producción de 98 000 ton métricas (alrededor de USD 100 millones), debido al síndrome de "mortalidad de verano" de TiLV en 2015 (Fathi *et al.*, 2017); mientras que en Israel las capturas de las poblaciones silvestres de la tilapia galilea (*Sarotherodon galilaeus*) disminuyeron de 316 toneladas métricas en 2005 a 8 toneladas en 2009, con un aumento posterior a 160 toneladas 2013 y 140 toneladas en 2014 (Eyngor *et al.*, 2014).

En México, la tilapia y la trucha arcoíris son las especies a las que se dedica mayor atención en acuicultura; las carpas y el bagre se obtienen generalmente de pesca de captura y son de aparente menor importancia económica, aunque participan de manera importante en el sostenimiento nutricional de áreas rurales. De acuerdo a estudios, el país tiene gran potencial para desarrollar la actividad piscícola mediante el incremento de la producción en áreas ya establecidas y por aprovechamiento de lugares aun no utilizados. Sin embargo, es necesario contar con cuadros de especialistas en los distintos sectores de la cadena de producción; actualmente se

están implementando avances notables en temas de nutrición, bienestar y genética, siendo muy importante lo relacionado con los aspectos sanitarios y el diagnóstico (Ortega y Valladares, 2015).

## **Capítulo II. Enfermedades bacterianas reportadas en peces de México**

### **2.1 *Aeromonas***

El género *Aeromonas* comprende más de treinta especies de bacterias gram-negativas distribuidas de forma natural en ambientes de agua dulce y marinos, donde actúan como microorganismos oportunistas con potencial para infectar a peces y otros organismos acuáticos, que a su vez son las fuentes más comunes para su aislamiento. También pueden aislarse de alimentos como verduras, productos lácteos, carnes y diversos tipos de subproductos (Zepeda-Velázquez *et al.*, 2015).

Las bacterias del género *Aeromonas* son capaces de colonizar e infectar diversos huéspedes. En humanos, el proceso infeccioso generalmente se desarrolla en personas inmunocomprometidas que cursan enfermedades gastrointestinales, infecciones de piel y de tejidos blandos (Aguilar-García, 2015), y ocurren por exposición de heridas o traumatismos con agua contaminada.

En peces, las infecciones por bacterias del género *Aeromonas* ocurren bajo condiciones de estrés. Estos agentes cuentan con factores de virulencia que facilitan su adhesión, colonización e invasión a las células; algunos de éstos son componentes de membrana, enzimas y toxinas, que se expresan diferencialmente entre especies, lo que hace que algunas cepas sean más virulentas que otras; sin embargo, ningún factor de virulencia se considera determinante en el proceso infeccioso (Fernández-Bravo y Figueras, 2020).

Con respecto a su identificación, se ha demostrado que las pruebas bioquímicas convencionales de bacteriología son insuficientes, por lo que son necesarios

ensayos moleculares específicos para lograr la identificación del agente involucrado en cada infección (Goncalves *et al.*, 2019). En México, *Aeromonas* spp han sido aisladas e identificadas de peces clínicamente enfermos (Zepeda-Velázquez *et al.*, 2015) y sanos (Portillo-Bonilla *et al.*, 2018), e inclusive de peces congelados (Castro-Escarpulli *et al.*, 2003); sin embargo, teniendo en cuenta que la identificación bioquímica de estas bacterias ha mostrado limitaciones y confusiones, es de suponer que algunas de las primeras descripciones realizadas en el país pudieron ser imprecisas (Fernández-Bravo y Figueras, 2020).

El primer registro sobre la ocurrencia de enfermedades de etiología bacteriana afectando a peces de México o de aislamientos en estos animales corresponde a (López-Jiménez, 1987), que informó la ocurrencia casos aislados de *ascitis infecciosa* en carpas (*Cyprinus* spp), atribuidas a *Aeromonas* spp. y *Pseudomonas* spp. Posteriormente, (Constantino *et al.*, 1997), aislaron *A. hydrophila* de truchas arcoíris y tilapias de una granja de acopio del centro de México afectadas de un proceso septicémico; pese a que lograron el aislamiento, los peces no desarrollaron lesiones inflamatorias, y las infecciones estuvieron asociadas a parasitosis por *Ichthyophthirius multifiliis* (Fuentes y Pérez, 1998), también reportaron el aislamiento de *A. hydrophila* durante un brote de septicemia hemorrágica en truchas de 250 g, con mortalidad de 51.2%; en ambos casos no se describió el proceso de identificación, y las bacterias no fueron caracterizadas molecularmente.

Otros estudios han descrito aislamiento de *A. hydrophila* de riñón de *Carassius auratus* que manifestaron signos y lesiones de enfermedad, pero no describieron el cuadro clínico ni lesiones patológicas asociadas a la infección (Negrete *et al.*, 2004). Soto-Rodríguez *et al.*, (2013), identificaron 17 géneros bacterianos aislados de tilapias enfermas; bacterias del género *Aeromonas* fueron las más frecuentes, destacando *A. ichthiosmia* de riñón, *A. dhakensis* de ojo, *A. popoffii* de hígado, *A. Allosaccharophila* de riñón y *A. veronii* de cerebro, aunque no se describió si se trató

de aislamientos únicos o mixtos. El trabajo destaca el primer reporte de *A. dhakensis* como patógeno de peces.

En un estudio de identificación molecular, Zepeda -Velázquez *et al.*, (2015), aislaron *A. salmonicida*, *A. hydrophila* y *A. veronii* de lesiones externas en truchas juveniles de 3 granjas diferentes; *A. veroni* también se aisló de hígado y riñón. Pese a que los peces no manifestaron signos ni lesiones asociadas a septicemia, histológicamente los tres patógenos causaron lesiones en hígado y riñón.

Bacterias de género *Aeromonas* han sido frecuentemente aisladas de peces clínicamente sanos. De 250 tilapias obtenidas de mercados públicos de la ciudad de México se aislaron 82 cepas cuyo análisis molecular demostró que 67.5% correspondieron a *A. salmonicida*, 20.9% a *A. bestiarum*, *A. veronii* 5.2%, *A. encheleia* 3.9% y *A. hydrophila* 2.6% (Castro-Escarpulli *et al.*, 2003). El estudio no describe aislamiento de otros géneros bacterianos; sin embargo, el tipo de muestra utilizada no es referente de la población bacteriana natural de los peces, sometidos a manipulación.

Salgado-Miranda *et al.*, (2010), estudiaron la población bacteriana en granjas de trucha arcoíris del país, reportando 371 aislamientos de 8 géneros bacterianos de los cuales 181 (48.78%) fueron del género *Aeromonas*, 90 aislados correspondieron a *Aeromonas* spp, 84 a *A. hydrophila* y 7 de *A. salmonicida*; ninguno de los animales analizados manifestó enfermedad clínica; únicamente 4.79% presentaron algún tipo de lesión en piel, hígado, bazo o intestino.

Vega-Sánchez *et al.*, (2014), obtuvieron 50 aislamientos de 10 especies de *Aeromonas*, predominando *A. veronii* biovar *sobria* 22%, *A. hydrophila* y *A. bestiarum* 20% cada una y *A. sobria* 14%. El estudio muestra la importancia de *Aeromonas* spp. como agentes oportunistas ya que únicamente 6 aislamientos se obtuvieron de peces con lesión de piel y los 44 restantes se obtuvieron de peces

clínicamente sanos; entre éstas últimas, *A. allosaccharophila*, *A. bestiarum*, *A. hydrophila*, *A. popoffii*, *A. salmocida*, *A. sobria* y *A. veronii biovar sobria*, se obtuvieron de órganos internos principales. Asimismo, *Aeromonas bestiarum* fue aislada de riñón de carpas que no mostraron signos ni lesiones de enfermedad septicémica (Soriano-Vargas *et al.*, 2010).

## **2.2 Pseudomonadaceae**

*Pseudomonas* spp. son microorganismos Gram-negativos oportunistas con capacidad de desarrollarse adecuadamente a bajas temperaturas, por lo que son parte de la microflora natural dominante en el medio acuático, lo mismo que en la flora intestinal de peces sanos. A temperaturas más altas (superior a 10 °C), estas bacterias pueden ser reemplazados por otros microorganismos mesofílicos competidores, incluidas bacterias del género *Aeromonas* (Pekala-Safinska, 2018). Varias *Pseudomonas* spp. han sido identificadas como causa de enfermedad septicémica en varias especies de peces, entre las que se incluyen a *P. fluorescens*, *P. anguilliseptica*, *P. aeruginosa* y *P. putida*. Por su parte, *P. putida* y *P. luteola* a menudo se aíslan de órganos internos, pero se consideran como microflora acompañante (Pekala-Safinska, 2018).

Dentro de este género, *P. fluorescens* se considera la especie más importante como causa de enfermedad en peces, a menudo asociada con daños en piel y aletas (Negrete *et al.*, 2003).

En México no existen reportes de casos de enfermedad clínica asociadas a bacterias del género *Pseudomonas*. En un análisis sanitario en peces ornamentales (familias de cíclidos, poecílidos y cyprinidos), se identificaron seis especies de la familia Pseudomonadaceae: *Pseudomonas cepacia*, *P. diminuta*, *P. fluorescens*, *P. putida*, *P. sutzerii* y *P. vesicularis* (Negrete *et al.*, 2004).

De los 371 aislamientos obtenidos de trucha arcoíris por Salgado-Miranda *et al.*, (2010), 47 fueron de *Pseudomonas* spp., 8 de *P. aeruginosa* y 5 de *P. fluorescens*. Algunas de estas bacterias se aislaron de bazo e hígado, pero los peces analizados no presentaron signos o lesiones de enfermedad. En Soto-Rodríguez *et al.*, (2013), se identificaron *P. mosselii* y *P. anguilliseptica* como patógenos de tilapias; la primera se aisló del riñón de peces que no presentaron signos de septicemia, y *P. anguilliseptica* del cerebro de peces que únicamente manifestaron pérdida de escamas.

### **2.3 Flavobacterium**

Los miembros del grupo *Cytophaga-flavobacterium-bacterioides* son un grupo de bacterias Gram negativas, incluidas entre los principales patógenos de peces cultivados. Dentro de éstos, los principales implicados en procesos de enfermedad son *Flavobacterium columnare*, causante de la enfermedad de la columna; *F. branchiophilum* causa la enfermedad de las branquias, y *F. psychrophilum*, que se asocia a varias patologías de manifestación clínica severa en peces jóvenes, rara en adultos, que en Chile tiene una tasa de mortalidad del 5% a 70% en alevines (Avendaño-Herrera *et al.*, 2014; Castillo-Miranda *et al.*, 2017).

Las patologías causadas por *F. psychrophilum* reciben nombres en base a los signos clínicos que presentan los peces afectados, entre ellas: “enfermedad del pedúnculo”, “enfermedad de bajas temperaturas”, “enfermedad bacteriana del agua fría” (BCWD), “enfermedad de la silla de montar”; y las que tienen presentación septicémica en peces recién eclosionados: el síndrome de mortalidad del alevín y síndrome del alevín de la trucha arcoíris (*Rainbow Trout Fry Syndrome* -RTFS) (Avendaño-Herrera *et al.*, 2014; Castillo-Miranda *et al.*, 2017).

Si bien *F. psychrophilum* no tiene huésped específico, trucha arcoíris y salmón Coho (*Oncorhynchus kisutch*) son muy susceptibles a la infección. La bacteria también se

ha recuperado de peces que no manifiestan enfermedad clínica, actuando como portadores y diseminadores (Castillo-Miranda *et al.*, 2017).

Un primer antecedente de *Flavobacterium* spp. en peces de México (Ortega y Valladares, 2015), describió un caso de enfermedad branquial en crías de trucha y cuadros similares al RTFS. Formalmente, el síndrome fue documentado en crías de trucha de  $4 \pm 0.5$  g (Castillo-Miranda *et al.*, 2017); las evidencias septicémicas consistieron en ascitis, hemorragias y licuefacción de bazo, adherencias de órganos abdominales y necrosis en pared abdominal a nivel de bazo. El aislamiento de *F. psychrophilum* fue molecularmente confirmado, y el estudio RFLP clasificó a los aislados dentro de los genotipos B y R, indicando que la bacteria tendría su origen en el huevo oculado importado (Castillo-Miranda *et al.*, 2017). Posterior a esta notificación, RTFS ha sido observado y confirmado en crías de trucha arcoíris de varios estados del país, ocasionando mortalidades cercanas al 70% en peces de primera alimentación. En tilapias se han observado casos sugestivos de enfermedad columnar, cuyas bacterias no fueron caracterizadas (Soto-Rodriguez, 2009).

## **2.4 Yersiniosis**

La yersiniosis, comúnmente conocida como enfermedad entérica de la boca roja, es una de las enfermedades de mayor impacto económico en cultivos de salmónidos de agua dulce o salada (Austin and Austin, 2007). La bacteria gramnegativa *Yersinia ruckeri*, su agente causal, se aisló por primera ocasión de trucha arcoíris en Hagerman Valley, USA en los años 1950s (Ross *et al.*, 1966), y se ha observado prácticamente en todos los lugares del mundo donde se cultivan salmónidos (Plumb and Hanson, 2011). En América Latina ERM se ha registrado afectando a salmón del atlántico (*Salmo salar*), salmón coho y trucha arcoíris en Chile, y trucha arcoíris en Perú (Avendaño-Herrera *et al.*, 2017).

En México, se informó un caso de yersiniosis en el año 2000 en juveniles de trucha arcoíris (Ortega y Valladares, 2015), sin reportes de casos subsecuentes. A mediados de 2018 se observó un caso en peces juveniles de la región central del país. En los casos descritos, los peces afectados presentaron los signos clínicos reportados por la literatura para esta infección, destacando hemorragias en ojos, boca y base de aletas, así como enteritis y hemorragias en bazo. *Y. ruckeri* también fue aislada de truchas que no mostraron signos de enfermedad (Salgado-Miranda *et al.*, 2010).

## **2.5 *Weissella ceti***

El género *Weissella* comprende 19 especies de bacterias ácido lácticas (BAL), que pertenecen a la familia *Leuconostocaceae*. Son bacterias Gram positivas cocoides o bacilares (pleomorfas) de 1.5  $\mu\text{m}$  y 0.30  $\mu\text{m}$  de diámetro, catalasa y oxidasa negativas, no esporulados, inmóviles, anaerobias facultativas de metabolismo fermentativo obligado, generadores de ácido láctico como producto final (Collins *et al.*, 1993; Fusco *et al.*, 2015).

Las bacterias del género *Weissella* se han aislado de una gran variedad de hábitats naturales, productos y subproductos alimenticios derivados de animales y vegetales, y de productos fermentados (Castrejón-Nájera *et al.*, 2018; Björkroth *et al.*, 2002).

En animales, *Weissella ceti* causa la “weissellosis”, enfermedad septicémica emergente que provoca alta mortalidad en cultivos de trucha arcoíris, cuyos brotes suelen ocurrir durante los meses de verano o cuando la temperatura se encuentra entre 18-20 °C, y disminuye cuando la temperatura desciende, desapareciendo en invierno (Figueiredo *et al.*, 2012), y se ha comprobado recurrencia dependiente de la temperatura. Aunque se considera una patología de peces mayores a 100 g,

Figueiredo *et al.*, (2012) informan que puede afectar peces de cualquier etapa de producción.

El primer reporte de weissellosis se describió en China en 2007 (Vásquez-Machado *et al.*, 2020), registrando pérdidas de hasta 40% en truchas adultas con signología septicémica. Posteriormente se describió en Brasil (Figueiredo *et al.*, 2012), y cuadros similares se informaron en los Estados Unidos de Norteamérica, Japón y Colombia (Vásquez-Machado *et al.*, 2020; Medina *et al.*, 2020), México (Castrejón-Nájera *et al.*, 2018), Canadá, Sudáfrica y Perú (Medina *et al.*, 2020).

Un único caso de weissellosis documentado en México, causó 60% de mortalidad en truchas de entre 100 a 300 g (Castrejón-Nájera *et al.*, 2018). Los peces afectados presentaron signos clínicos y lesiones similares a los reportados en otros países, típicos de septicemia hemorrágica. A la fecha no se han informado otros casos de weissellosis en el país. Es posible que la ausencia de reportes se deba a situaciones de subregistro.

## **2.6 Estreptococosis-lactococosis**

La estreptococosis-lactococosis (“Pop-eye”) es una enfermedad sistémica hiperaguda que tiende a la cronicidad, causada por bacterias de los géneros *Streptococcus* y *Lactococcus*. Son microorganismos Gram positivos de aspecto cocoide, catalasa y oxidasa negativos, tradicionalmente conocidos por afectar principalmente a especies de mamíferos. Sin embargo, la intensificación de la piscicultura mundial ha favorecido que en los últimos años hayan aumentado significativamente infecciones causadas por algunas bacterias de la familia *Streptococcaceae* en varias especies de peces de agua dulce y salada, destacando en la trucha arcoíris (Muzquiz *et al.*, 1999), yellow tail (Sheehan, 2009; Evans *et al.*, 2001), y en tilapias (Mishra *et al.*, 2018; Bwalya *et al.*, 2020).

Las principales bacterias implicadas en la Streptococcosis/lactococcosis son *S. iniae*, *S. agalactiae*, *S. dysagalactiae*, *S. parauberis*, *S. feacalis*, *Lactococcus garvieae* y *L. lactis* (Vendrell *et al.*, 2006; Karsidani *et al.*, 2010). Estos agentes suelen estar presentes durante todo el año en el ambiente (agua y sedimentos) y en los peces; sin embargo, el surgimiento de la enfermedad clínica normalmente se relaciona a estrés por manipulación, altas densidades, nutrición inadecuada y mala calidad del agua, destacando aumento de temperatura a valores de entre 18 °C a 25 °C según la especie afectada-, que permiten proliferación de bacterias (Ortega *et al.*, 2020). Brotes de estreptococcosis en salmónidos ocurren cada año, generalmente durante el verano (Vendrell *et al.*, 2006; Mishra *et al.*, 2018; Pękala-Safińska, 2018), evidenciando que la temperatura y la sanidad del ambiente acuático son factores muy importantes para su presentación.

El primer registro de estreptococcosis en peces ocurrió en trucha arcoíris en 1957, desde entonces se considera uno de los principales riesgos sanitarios para salmónidos (Fawzy *et al.*, 2014), siendo las bacterias Gram-positivas que más afectan tilapias, donde puede generar mortalidades alrededor de 90%, principalmente por *S. iniae* y *S. agalactiae* (Ortega *et al.*, 2018).

Los signos clínicos causados por infecciones de bacterias del complejo *Streptococcus* son similares, orientados a afección sistémica, con variaciones según la especie afectada, siendo difícil establecer diferencias reales (Fawzy *et al.*, 2014, Bwalya *et al.*, 2020; Karsidani *et al.*, 2010). Los peces afectados presentan inactividad-letargia, oscurecimiento corporal, anorexia y caquexia, nado errático, palidez branquial, petequias o hemorragia periorcular, exoftalmia uni o bilateral con o sin opacidad corneal, pérdida de escamas, hemorragias y/o lesiones ulceradas o abscesos en piel, prolapso y edema anal, hemorragias en base de aletas (Karsidani *et al.*, 2010; Hossain *et al.*, 2014).

Un primer antecedente de *Streptococcus* en peces de México indicó presencia de *S. iniae* y *S. agalactiae* en tilapias cultivadas; sin embargo, no se describió la presentación clínica y características de las bacterias. La identificación formal de *S. iniae* como causa de estreptococosis fue confirmada en tilapias de entre 200 - 450 g (Ortega *et al.*, 2018) que manifestaron signos clínicos y lesiones previamente descritos para esta enfermedad (Fawzy *et al.*, 2014; Bwalya *et al.*, 2020; Hossain *et al.*, 2014). Internamente presentaron fluido ascítico de aspecto sero-sanguinolento o turbio, órganos principales aumentados de tamaño con aspecto irregular y hemorragias, formación de adherencias entre órganos internos y hacia la pared celómica, membranas blanco-grisáceas de aspecto purulento en corazón, edema y hemorragia cerebral. Histológicamente, los órganos principales presentaron focos de degeneración y necrosis, y granulomas; exudado purulento en tejido muscular con encapsulamiento melanizado, meningitis, encefalitis o meningoencefalitis, pericarditis y miocarditis (Fawzy *et al.*, 2014). Posterior a lo descrito en Ortega *et al.*, (2018), otros casos por *S. iniae* en tilapias han sido confirmados, y evidencias no publicadas sugieren que otros *Streptococcus* afectan a tilapias del país. No se han reportado casos de infección por bacterias del género *Streptococcus* spp. en otras especies de peces del país.

*Lactococcus garvieae* causa enfermedad septicémica en trucha arcoíris, tilapia y yellow tail (*Seriola quinqueradiata*) con signos clínicos similares a lo descrito en estreptococosis (Ortega *et al.*, 2020; Karsidani *et al.*, 2010). En México, en 2016 se presentaron casos de enfermedad septicémica en truchas arcoíris de tamaño comercial, los cuales ante los signos clínicos y la identificación preliminar como cocos gram-positivos, se sospecharon como weissellosis (Castrejón-Nájera *et al.*, 2018). Sin embargo, estudios posteriores confirmaron a *L. garvieae* como agente causal. Actualmente se han observado casos de lactococosis en las principales zonas de producción de trucha del país, afectando a peces de granjas de distinto nivel de tecnificación, teniendo como factor común la temperatura del agua de

cultivo entre 16-18 °C (Gonçalves Pessoa *et al.*, 2019). No se ha informado lactococosis en tilapias de México.

## **2.7 Micobacterias**

Las micobacterias son bacterias grampositivas inmóviles, de crecimiento lento y forma de bastón. Por las características de su pared celular, rica en ácido micólico se denominan bacterias ácido alcohol resistentes, lo cual explica su gran resistencia al ambiente (Tortoli, 2014).

Existen más de 192 especies de *Mycobacterium*, que pertenecen a un género único de la familia *Mycobacteriaceae*. Con respecto a la capacidad de causar enfermedad en humanos; algunos de sus miembros son patógenos estrictos, mientras que otros son patógenos oportunistas o no patógenos (Forbes, 2017).

Medicamente, las micobacterias se dividen en tres grupos: 1) del complejo *Mycobacterium tuberculosis* (patógenos que causan tuberculosis), 2) Micobacterias no tuberculosas (NTM) y 3) *Mycobacterium leprae*. Debido a la dificultad para su crecimiento en medios de cultivo artificial, la identificación de micobacterias mediante análisis de sus características bioquímicas y de cultivo ha sido desplazada por métodos moleculares o de espectrometría de masas (Tortoli, 2014).

La micobacteriosis atípica es una enfermedad progresiva crónica de signos inespecíficos, caracterizada por formación de granulomas en órganos internos y en superficies externas de peces. Puede presentarse asintómicamente y desarrollar curso crónico con predisposición a recurrencia. Las pérdidas son variables, pueden causar mortalidades superiores a 10% (Johansen *et al.*, 2020).

Las MNT que afectan peces tienen potencial zoonótico, sin embargo, no provocan las típicas lesiones observadas en casos de tuberculosis (Gauthier, 2015). Los casos relacionados con manipulación de peces suelen ocurrir en personas mayores

y/o debilitadas; presentan nódulos o úlceras localizadas, o en "patrón esporotricoides" por diseminación linfática.

En el año 2013 *M. fortuitum* y *M. marinum* fueron aisladas y confirmadas mediante secuenciación, como causa de mortalidad en tilapias cultivadas del Estado de Campeche, México; sin embargo, desde 2007 se describieron lesiones sugestivas de micobacteriosis en peces de aquella región, donde la prevalencia se considera constante (Lara-Flores *et al.*, 2014). Los autores también refieren aislamiento de *Vibrio* spp. y *Streptococcus* spp. y relacionan los signos clínicos y daños histológicos a la micobacteriosis, respaldado por positividad de la tinción Ziehl-Neelsen. Sin embargo, queda por interpretar el efecto e identificación del *Streptococcus* sp. involucrado; por ser un patógeno importante para tilapias en agua dulce.

## **2.8 Francisella**

Las bacterias del género *Francisella* sp. son cocobacilos, Gram negativos, inmóviles, aerobios estrictos, pertenecientes al grupo Gammaproteobacterias. Son organismos intracelulares facultativos, por lo que su crecimiento y aislamiento es difícil en medios de cultivo artificial; pueden replicarse en macrófagos y en diversos tipos de células de peces y mamíferos. Para su crecimiento dependen de cisteína y hemoglobina (Fe), y pueden existir como endosimbionte de amibas y artrópodos (Colquhoun y Duodu, 2011). El género comprende 9 especies (Parte *et al.*, 2020), siendo *F. tularensis* que causa la tularemia enfermedad zoonótica) en mamíferos, la especie tipo.

La francisellosis de peces es una enfermedad emergente que ocasiona pérdidas económicas en peces de agua dulce y marina (Colquhoun y Duodu, 2011). Las dos especies válidamente descritas que afectan peces son *Francisella orientalis*, y *Francisella noatunensis*. La primera, antes clasificada como *F. noatunensis* subsp. *orientalis* (Fno) (Ramirez-Paredes *et al.*, 2020), afecta peces de aguas cálidas, incluyendo tilapia, lubina rayada, perca trilineata y peces ornamentales. Por su

parte, *Francisella noatunensis* afecta a peces de agua fría como el bacalao del Atlántico y salmón del Atlántico; se divide en dos subespecies *Francisella noatunensis* subsp. *noatunensis* y *Francisella noatunensis* subsp. *chilensis*, la primera reportada al norte de Europa (Irlanda, Noruega, Suecia y Reino Unido); la segunda únicamente afecta al salmón del Atlántico en el sur de Chile (Ramirez-Paredes *et al.*, 2020).

Clínicamente, la francisellosis puede ocurrir como síndrome agudo de escasos signos inespecíficos y alta tasa de mortalidad, o bien subagudo a crónico con signos inespecíficos como anorexia, anemia, adelgazamiento progresivo, letargía, exoftalmia, abdomen distendido, con nódulos hemorrágicos o ulceraciones de piel e incoordinación (Soto *et al.*, 2009). Durante la necropsia sobresale la presencia de nódulos blanco-amarillentos principalmente en bazo y riñón, aunque pueden apreciarse en cualquier órgano (Ortega *et al.*, 2016), y presentar otras lesiones septicémicas (Ortega *et al.*, 2016, Soto *et al.*, 2011). El hallazgo histológico más notable es la formación de granulomas en tejidos que presentaron nódulos.

La morbilidad y mortalidad es influida por factores como densidad de población, tipo de unidad de producción y condiciones medioambientales, así como presencia de infecciones mixtas con otros patógenos (Soto *et al.*, 2011, Soto *et al.*, 2009). El rango de mortalidad puede estar entre 1 a 90% (Soto *et al.*, 2019).

La francisellosis se confirmó en México a fines de 2012 en una granja de tilapia del centro del país donde se registró una mortalidad de 40% en peces reproductores de entre 200 y 350 g de peso, posteriormente se presentó en otros lugares con mortalidades variables y con manifestación clínico patológica típica, según la literatura (Ortega *et al.*, 2016). Además de afectar a tilapias, en México la infección también se ha confirmado en cíclido joya (*Hemichromis bimaculatus*), que al igual que en tilapias, presentaron múltiples nódulos en riñón y bazo, que histológicamente

corresponden a granulomas (López-Crespo *et al.*, 2019). Esta es la única enfermedad que la autoridad sanitaria reconoce como una enfermedad importante para la piscicultura del país (Diario Oficial de la Federación, 2018).

## **2.9 Infecciones por *Nocardia spp.***

La nocardiosis es una enfermedad bacteriana sistémica que afecta a humanos y otros mamíferos terrestres y marinos, y peces (Maekawa *et al.*, 2018). Es causada por bacterias del género *Nocardia* que son organismos filamentosos, aeróbicos, Gram-positivos, parcialmente acidorresistentes que en la naturaleza se encuentran como organismos saprofitos del suelo (Nayak y Nakanishi, 2016).

En peces, la nocardiosis es una enfermedad emergente que suele afectar principalmente animales mayores a 300 g de peso. De las 115 especies de *Nocardia* válidamente reconocidas (Parte *et al.*, 2020), únicamente *N. asteroides*, *N. seriolae* y *N. salmonicida* han sido aisladas de peces enfermos. El primer caso de nocardiosis en peces fue atribuido a *N. salmonicida* en salmón rojo (*Oncorhynchus nerka*) en 1949; sin embargo, *N. seriolae* es la especie más reportada causando pérdidas económicas severas en varias especies, principalmente en Asia (Nayak y Nakanishi, 2016), pero no restringido a ese continente (Maekawa *et al.*, 2018). La mortalidad puede ser de 35% o mayor (del Río *et al.*, 2021).

Los peces afectados por nocardiosis presentan signos de anorexia, emaciación, nado lento y errático, distensión abdominal, presencia de úlceras y/o nódulos blanco-marfil en branquias, piel o aletas, que también se presentan en órganos y superficies serosas. Histológicamente los nódulos corresponden a granulomas que consisten en necrosis y *debris* celulares con agregados bacterianos al centro de la lesión (Maekawa *et al.*, 2018; Nayak y Nakanishi, 2016).

En México, a finales del año 2013 se registró mortalidad acumulada de 70% en corvina roja (*Sciaenops ocellatus*) de una granja marina de Campeche. Los animales afectados, de más de 898 g de peso y entre 12 a 18 meses de edad presentaron signos y lesiones típicos de enfermedad granulomatosa, incluyendo múltiples nódulos blanco-amarillentos de 0,1 a 0,8 cm de diámetro en órganos internos (del Río *et al.*, 2021). La presencia de *N. seriolae* como agente causal fue confirmada mediante un diagnóstico sanitario integral. La publicación describe una nueva especie de peces afectada por este patógeno, y representó el primer reporte de una enfermedad en peces de agua salada del país. La recurrencia de la enfermedad ocasionó la suspensión de actividades en la granja afectada (del Río *et al.*, 2021).

## **2.10 Bacterias importantes para peces no observadas en México**

La gravedad de una enfermedad depende de la interacción de numerosas variables del hospedero el parásito y el medio ambiente. Sin embargo, pese a los grandes avances sobre la patogenia y la historia natural de la enfermedad de la mayoría de las infecciones, a este tiempo, se conocen más las variables asociadas con el patógeno (a menudo se puede aislar y escudriñar más fácilmente el patógeno) que las relacionadas con el huésped o el medio ambiente (Hedrick, 1998).

Aunque existen miles de especies de bacterias, por fortuna son muy pocas las capaces de causar enfermedad a los organismos superiores; algunas bacterias son conocidas por afectar a determinadas especies animales; sin embargo, muchas no han sido relacionadas de manera clara con algún proceso de enfermedad específico (Austin y Austin, 2007).

En relación a lo anterior, en la piscicultura de México se ha informado del aislamiento de algunas bacterias que en la literatura no han sido relacionadas con

enfermedad en peces, o han sido poco observadas, tal es el caso de *Delftia tsuruhatensis*, *Microbacterium paraoxydans*, *Soonwooa sp.*, *Sphingobacterium hotanense*, *Vogesella perlucida* (Soto-Rodríguez *et al.*, 2013), aunque estos organismos se encuentran colonizando el intestino de peces y el medio acuático, en el mencionado trabajo fueron aislados desde en órganos internos. En el estudio para determinar las bacterias presentes en granjas de trucha arcoíris, Salgado-Miranda *et al.*, (2010), aislaron *Escherichia coli* (15.09%), *Edwardsiella* spp, *Enterobacter* spp, *Plesiomonas shigelloides*. Estos organismos de la familia *Enterobacteriaceae* también son parte de la microbiota normal de peces y del ambiente acuático, y pueden causar enfermedad en humanos (Janda *et al.*, 2016; Kerie *et al.*, 2019).

Otras bacterias consideradas importantes para la piscicultura, se detectaron y/o aislaron sin causar enfermedad clínica, tal es el caso de *Vibrio* spp. (Ortega *et al.*, 2002; Figueiredo *et al.*, 2012). *Plesiomonas shigelloides*, que ha sido observada causando septicemias en trucha arcoíris y en otras especies (Gauthier, 2015; Lara-Flores *et al.*, 2014), no causo enfermedad clínica en truchas (Salgado-Miranda *et al.*, 2010), y pese a que fue aislada de tilapias clínicamente enfermas, no se describe si la infección fue única o combinada con otras bacterias aisladas en el mismo trabajo. Aunque se ha reportado el aislamiento de *Edwardsiella* spp. y *Pseudomonas* spp., no se han informado casos de enfermedad clínica.

Asimismo, y para bien de la piscicultura de México, no se han observado evidencias de enfermedad clínica de renibacteriosis, ni del aislamiento o diagnóstico de su agente causal, *Renibacterium salmoninarum* (Salgado-Miranda *et al.*, 2010). considerado un agente exótico para el país.

## **JUSTIFICACIÓN**

La piscicultura en México se ha vuelto una actividad de suma importancia para proporcionar alimentos a la población y como actividad económica generadora de empleos a las comunidades, con el paso de los años ha aumentado la producción de diversas especies de peces tanto comestibles y de ornato, pero al mismo tiempo se han aumentado la ocurrencia de enfermedades dentro de la producción piscícola, teniendo con ello la problemática del desarrollo de su producción.

Pese a que en los últimos años en el país se ha notado un claro incremento de la actividad piscícola, la actividad también presenta ciertas deficiencias que deben ser abordadas con responsabilidad, para proteger y favorecer a esta industria. Uno de estos aspectos necesarios de abordar es el conocimiento de la condición sanitaria de la producción de peces de las distintas regiones de producción del país en general.

Si bien, en la última década las autoridades sanitarias han dirigido esfuerzos para impulsar las actividades de prevención y control de enfermedades, a través de los Comités de Sanidad Acuícola, las actividades que desarrollan no son informadas, y debido a ello no se conoce cuáles son las enfermedades que están presentes en los peces del país, como consecuencia la falta de aislamientos, identificación y tratamiento hacia los agentes bacterianos.

En la piscicultura de México, se ha informado de la ocurrencia o presencia de enfermedades de distinta etiología; sin embargo, los informes son aislados, y por lo general no son informados por el sector oficial. Asimismo, en el contexto sanitario global, las enfermedades de etiología viral suelen ser las que regularmente más llaman la atención. Sin embargo, en el sector es más frecuente la ocurrencia de enfermedades bacterianas, mismas que pese a ello, hasta el momento no existe un documento que indique cuales son las enfermedades bacterianas o bacterias que se han registrado en peces del país.

Es por esto que se considera importante y necesario realizar una revisión sistemática de publicaciones relacionadas con patógenos bacterianos, para proporcionar información y evitar considerables pérdidas económicas de peces cultivados a nuestros productores, esto relacionado a que las bacterias pueden estar presentes, pero en la mayoría de los casos no existen lesiones ni un cuadro clínico que lo determine, sino hasta que se hacen las pruebas moleculares, es necesario un control y buen manejo con pruebas diagnósticas, también tener una legislación sanitaria que regule con estricta continuidad la verificación de la existencia de bacterias, y reportarlas a las autoridades correspondientes, con el fin de prevenir satisfactoriamente riesgos, daños y pérdidas económicas a tiempo, y no cuando la situaciones llaman la atención por su gravedad.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general:**

Realizar una investigación basada en la revisión bibliográfica sistemática sobre las enfermedades bacterianas y las bacterias que han sido reportadas en peces de agua dulce en México, se describieron generalidades para dar a conocer la manera en la que se han presentado.

### **Objetivos específicos:**

Realizar una descripción cronológica de las enfermedades bacterianas registradas en peces de México.

Determinar la condición sanitaria de la piscicultura de México con respecto a enfermedades bacterianas.

Describir las condiciones y situaciones en que ocurrió la enfermedad, el aislamiento y /o la identificación de los agentes bacterianos mencionados en la investigación.

Interpretar la significancia del aislamiento y/o identificación de los agentes, para la piscicultura de México.

Realizar una publicación en la Revista MVZ Córdoba (ISSN Electrónica: 1909-0544), para difundir los resultados de la investigación.

## **MATERIAL**

Para la elaboración del presente trabajo se utilizó información de tipo bibliográfico obtenido de:

- Artículos de revistas científicas e información de Internet y base de datos, como: PubMed, Blackwell Synergy e ISI Web of Knowledge.
- Libros
- Memorias de congresos y reuniones de investigación.

Además del equipo de cómputo: computadora e impresora; USB, cd's, hojas, lápices y bolígrafos.

## MÉTODO

El trabajo consistió en seleccionar la información, y ubicar a través de internet (buscadores: PubMed, Blackwell Synergy e ISI Web of Knowledge), a los principales descriptores de interés: bacterias, enfermedades bacterianas, peces, en México; los conectores booleanos utilizados fueron: and y or.

Se identifiqué, selecciono, recopilé y analicé la información para ordenarla mediante la elaboración de fichas de trabajo.

Esta información se organizó para presentarla de acuerdo con los capítulos (Revisión de Literatura), que se integraron el trabajo, los cuales son:

CAPÍTULO I: Panorama general de la situación actual de la piscicultura en México

CAPÍTULO II: Enfermedades bacterianas reportadas en peces de México

2.1 *Aeromonas*

2.2 *Pseudomonadaceae*

2.3 *Flavobacterium*

2.4 *Yersiniosis*

2.5 *Weissella ceti*

2.6 Estreptococosis-lactococosis

2.7 Micobacterias

2.8 *Francisella*

2.9 *Nocardia*

2.10 Bacterias importantes para peces no observadas en México

### **LÍMITE DE ESPACIO**

El trabajo se realizó mediante el banco de información en internet, donde se obtendrá información sistemática de:

Artículos de revistas científicas y base de datos, como: PubMed, Blackwell Synergy e ISI Web of Knowledge.

### LÍMITE DE TIEMPO

El trabajo se realizó en el período comprendido de Julio del 2020 a marzo del 2021.; para la elaboración del documento se incluyó la información más relevante.

En donde destacaron las fases de recolección y búsqueda de información, análisis y elaboración de fichas bibliográficas, y redacción del documento.

#### Cronograma de actividades

Actividad	Jun-Sep 2020	Sep-Oct 2020	Nov-Dic 2020	Mayo-Julio 2021
Recolección y búsqueda de información	X			
Análisis y elaboración de fichas bibliográficas	X	X		
Redacción de protocolo		X	X	
Redacción del documento final			X	X

## **RESULTADOS**

A continuación, se incluye el texto titulado “Enfermedades bacterianas y bacterias identificadas en peces cultivados en México - Una revisión”, el cual será sometido a evaluación en la Revista MVZ Córdoba <https://revistamvz.unicordoba.edu.co/> ISSN-L: 0122-0268.

El texto ha sido elaborado siguiendo las instrucciones a los autores de la Revista.

## Correo Recepción del artículo-Revista

18/8/2021

Correo: Cesar Ortega Santana - Outlook

**Manuscrito: Enfermedades bacterianas y sus agentes etiológicos identificados en peces cultivados de México**

editormvzcordoba@correo.unicordoba.edu.co <editormvzcordoba@correo.unicordoba.edu.co>

Mié 11/08/2021 6:34

Para: Cesar Ortega Santana <cortegas@uamex.mx>

CC: LUIS 1aCARLOS\_ASISTENTE\_EDITOR\_MVZ <revistamvz@correo.unicordoba.edu.co>; Revista MVZ Contacto Institucional

<contactorevistamvz@correo.unicordoba.edu.co>; CINDY aCORREA\_ASISTENTE\_REV\_MVZ\_CORDOBA

<aeditorialmvz@correo.unicordoba.edu.co>

Dr.

**CESAR ORTEGA SANTANA, Ph.D.**

Cordial saludo:

Acuso el recibo de su manuscrito "**Enfermedades bacterianas y sus agentes etiológicos identificados en peces cultivados de México**", el cual será sometido a la verificación de las correcciones por nuestro equipo editorial. En caso de que su artículo sea finalmente aprobado, se le estará contactando oportunamente para la aprobación final y traducción del documento.

Le agradecemos su interés por publicar en la Rev.MVZ Córdoba.

Atentamente,

**MARCO GONZALEZ TOUS - M.V.Z., M.Sc.** Especialista en edición de publicaciones. Editor en Jefe - Revista MVZ Córdoba

[Google Scholar](#) [ORCID](#) [SCOPUS author](#) [BEDAlyC author](#) [Research Gate](#) [My Science Work](#)

[Mendeley](#) [Academia](#) [LinkedIn](#) [Loop](#) [Minciencias CvLAC](#) [Universidad de Córdoba, Colombia](#)

[Revista MVZ Córdoba](#) **ISSN (e): 1909-0544**

**Encuentranos en:** [SJR](#) [Scopus](#) [WoS](#) [Google Scholar](#) [Facebook](#) [Twitter](#) [Instagram](#) [Mendeley](#)

De: Cesar Ortega Santana <cortegas@uamex.mx>

Enviado el: martes, 10 de agosto de 2021 1:38 p. m.

Para: editormvzcordoba@correo.unicordoba.edu.co

Asunto: RE: Saludos - Consulta sobre propuesta de publicación.

Buenas tardes, por este conducto le envié un cordial saludo esperando que se encuentre bien al igual que sus familias.

Y me permito remitir a Usted el archivo WORD con las modificaciones realizadas en atención a las sugerencias realizadas por los revisores del texto. Asimismo, se incluye archivo PDF con respuestas a las preguntas o sugerencias.

Sin más, me despido de Usted, y quedo atento a su comunicación.

Favor de confirmar la recepción de este email.

Atte.

César Ortega

<https://outlook.office.com/mail/friboxfdIAAQAGU1ND6jZJLWfYz2fNDQ4My1hNmE3LTYzNWQyMTg2ZWFmWAGAI3QWUB0XU0Dsp5As5uWBM...>

**Enfermedades bacterianas y sus agentes etiológicos  
identificados en peces de México - Una Revisión**

**Bacterial diseases and their etiological agents identified in fish  
from Mexico - A Review**

Frida M. Alcántara-Jauregui<sup>1</sup> MV; Benjamín Valladares-Carranza<sup>1</sup> Ph.D;  
César Ortega S<sup>1\*</sup> Ph.D.

<sup>1</sup>Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Km 15.5 Carretera Toluca Atlacomulco. San Cayetano Morelos, Toluca. México. CP 50295.

**Correspondencia:** [cortegas@uaemex.mx](mailto:cortegas@uaemex.mx); [cos\\_mx@hotmail.com](mailto:cos_mx@hotmail.com)

**RESUMEN**

Este trabajo concentra la información bibliográfica existente acerca de las bacterias aisladas y/o identificadas a partir de peces de México. El análisis muestra que el estudio de la sanidad de peces del país es relativamente reciente; se describe aislamiento de varios géneros bacterianos obtenidos tanto de peces clínicamente enfermos como subclínicos, con alta frecuencia de bacterias oportunistas. Asimismo, se muestra que en la última década se ha confirmado la presencia de bacterias emergentes causando enfermedad septicémica en peces. En ambiente de agua dulce *Flavobacterium psychrophilum*, *Yersinia* spp., *Weissella ceti* y *Lactococcus garviae* han causado enfermedad septicémica en trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), mientras que *Francisella orientalis*, *Streptococcus iniae* y *Mycobacterium* spp. han afectado a tilapia (*Oreochromis* spp.). En ambiente salino únicamente *Nocardia seriolae* se reporta como causa de enfermedad sistémica en corvina roja (*Sciaenops ocellatus*). Pese a la disponibilidad de esta información, la situación sanitaria de la piscicultura del país no es reconocida; sin embargo, la ocurrencia de las enfermedades bacterianas emergentes reportadas, muestran la necesidad de conocer su distribución en el país.

**Palabras clave:** Enfermedades; peces; bacterias; sanidad; diagnóstico; emergentes (*Fuente AGROVOC*).

## ABSTRACT

This work concentrates the existing bibliographic information about bacteria isolated and / or identified from fish from Mexico. The analysis shows that the study of fish health in the country is relatively recent, and describes the isolation of several bacterial genera obtained from both clinically diseased and subclinical fish, with a high frequency of opportunistic bacteria; likewise, it is shown that in the last decade the presence of emerging bacteria causing septicemic disease in cultured fish has been confirmed. In freshwater environments *Flavobacterium psychrophilum*, *Yersinia* spp., *Weissella ceti* and *Lactococcus garviae* have caused septicemic disease in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), while *Francisella orientalis*, *Streptococcus iniae* and *Mycobacterium* spp. have affected tilapia (*Oreochromis* spp.). In a saline environment, only *Nocardia seralae* is reported as a cause of systemic disease in red croaker (*Sciaenops ocellatus*). Despite the availability of this information, the sanitary situation of fish farming in the country is not recognized; however, the occurrence of emerging bacterial diseases reported here shows the need to know their distribution in the country.

**Keywords:** Diseases; fish; bacteria; health; diagnosis; emerging (Source: AGROVOC).

## INTRODUCCIÓN

Los avances en el conocimiento de las características y necesidades nutricionales, ambientales y manejo de peces han favorecido el desarrollo y expansión de la piscicultura. Sin embargo, el incremento de la producción piscícola también ha favorecido la ocurrencia de enfermedades infecciosas; su propagación epizootica y la manifestación de enfermedades emergentes cada vez es más frecuente (1).

En México, en el año 2018 las principales especies producidas por piscicultura fueron la tilapia (*Oreochromis* spp.) con 168359 t con valor de 163168 USD (1 USD = 20.0546 MXN; conversión abril 29 de 2021); carpa (*Cyprinus* spp.), 48126 t con valor de 23635 USD; trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*), 13454 t con valor de 40391 USD y bagre (*Ictalurus* spp.) con 6589 t y valor de 9335 USD (3). Estos valores están lejos de los números de países líderes en la producción de estas especies; sin embargo, el país tiene potencial para sobresalir en la actividad pesquera, ya sea incrementando la producción en áreas establecidas con

especies conocidas (tilapia, trucha arcoíris, carpa y bagre), y por aprovechamiento de lugares no utilizados o subutilizados, fortaleciendo el cultivo de otras especies de agua dulce y marinas (2,3). Para lograr estas expectativas del desarrollo acuícola del país es necesario fortalecer todos los procesos de la cadena de producción, destacando los aspectos sanitarios (4,5).

Difundir el estado sanitario de las actividades pecuarias de una región es muy importante ya que la información recaudada de brotes y/o durante vigilancia sirve para identificar riesgos y/o establecer acciones de control (5). En este sentido, algunos estudios independientes sobre la sanidad piscícola de México han descrito aislamiento de bacterias oportunistas (5,6,7), y casos donde se comprobó que las bacterias causaron enfermedad clínica, incluso por bacterias emergentes (3,8,9,10,11). Por su parte, las autoridades sanitarias del país realizan actividades de vigilancia a través de los comités estatales de sanidad acuícola (4,5). Sin embargo, la situación sanitaria de la piscicultura del país no es conocida. Pese a que en documentos oficiales se indican las enfermedades exóticas y endémicas para animales acuáticos del país (4), no se conocen estudios que lo respalden, e inclusive no incluye a varias enfermedades emergentes que han sido confirmadas en peces del país. En este trabajo se presenta una revisión general de las enfermedades bacterianas o sus agentes causales que han sido identificados e informados afectando a peces de México, tanto en forma clínica como subclínica.

### **Enfermedades bacterianas reportadas en peces de México**

**Infecciones por *Aeromonas* spp.** El género *Aeromonas* comprende 31 especies de bacterias (12) Gram-negativas distribuidas de forma natural en ambientes de agua dulce y marinos, donde actúan como agentes oportunistas para peces y otros organismos acuáticos (13,14). *Aeromonas* spp. pueden colonizar e infectar diversos hospederos mediante distintos factores de virulencia que facilitan su adhesión, colonización e invasión a las células; ningún factor es determinante en el proceso infeccioso (15). Las infecciones en humanos generalmente ocurren en personas inmunocomprometidas asociadas a *A. hydrophila*, *A. veronii* y *A. schubertii* (16). En peces las infecciones se predisponen por condiciones de estrés.

En México, *Aeromonas* spp. han sido aisladas e identificadas de peces clínicamente enfermos y sanos. Sin embargo, considerando que la

identificación fenotípica y bioquímica tiene limitaciones, es posible suponer que algunas descripciones previas a la identificación molecular podrían ser imprecisas. Los ensayos moleculares basados en amplificación del gene 16S rRNA y tipificación RFLPs permiten discriminar bacterias pertenecientes a este y otros géneros bacterianos (1,13).

Un primer registro de enfermedad bacteriana en peces de México informó de ascitis infecciosa en carpa común, atribuida a *Aeromonas* spp. y *Pseudomonas* spp. en 1987. Una década después (1997), *A. hydrophila* fue aislada de truchas arcoíris y tilapias afectadas por septicemia, y un año después, *A. hydrophila* se aisló del hígado de truchas afectadas por enfermedad hemorrágica que causó 51.2% de mortalidad (5). En estos casos no se describió el proceso de identificación y las bacterias no fueron caracterizadas molecularmente (5). Sin embargo, la investigación muestra que son los únicos casos asociados a *Aeromonas* spp. que han manifestado signos de septicemia.

Otro estudio informó aislamiento de *A. hydrophila* y *Vibrio* spp. del riñón de *Carassius auratus* que manifestaron signos y lesiones de enfermedad, pero no describieron el cuadro clínico ni lesiones patológicas asociadas a la infección (17). Por su parte, Soto-Rodríguez et al (18) identificaron 17 géneros bacterianos aislados de tilapias enfermas; bacterias del género *Aeromonas* fueron las más frecuentes, destacando *A. ichthiosmia* aislada de riñón, *A. dhakensis* de ojo, *A. popoffii* de hígado, *A. Allosaccharophila* de riñón y *A. veronii* de cerebro; aunque no se describió si se trató de aislamientos únicos o mixtos. El trabajo destaca el primer reporte de *A. dhakensis* como patógeno de peces.

En estudio basado en identificación molecular, Zepeda-Velázquez et al (14), aislaron *A. salmonicida*, *A. hydrophila* y *A. veronii* de lesiones externas en truchas juveniles de 3 granjas diferentes; *A. veroni* también se aisló de hígado y riñón. Pese a que los peces no manifestaron signos ni lesiones asociadas a septicemia, histológicamente los tres patógenos causaron lesiones en hígado y riñón.

Bacterias de género *Aeromonas* han sido frecuentemente aisladas de peces clínicamente sanos. De 250 tilapias obtenidas de mercados públicos de la ciudad de México se aislaron 82 cepas cuyo análisis molecular demostró que 67.5% correspondieron a *A. salmonicida*, 20.9% a *A. bestiarum*, *A. veronii* 5.2%, *A. encheleia* 3.9% y *A. hydrophila* 2.6% (19). El estudio no describe aislamiento de otros géneros bacterianos; sin embargo, el tipo de muestra utilizada no es referente de la población bacteriana natural de los peces, sometidos a manipulación.

Salgado-Miranda et al (6) estudiaron la población bacteriana en granjas de trucha arcoíris, reportando 371 aislamientos de 8 géneros bacterianos de los cuales 181 (48.78%) fueron del género *Aeromonas*, 90 aislados correspondieron a *Aeromona* spp., 84 a *A. hydrophila* y 7 de *A. salmonicida*. Ninguno de los animales analizados manifestó enfermedad clínica; únicamente 4.79% presentaron algún tipo de lesión en piel, hígado, bazo o intestino. Por su parte Vega-Sánchez et al (20), obtuvieron 50 aislamientos de 10 especies de *Aeromonas*, predominando *A. veronii* biovar *sobria* 22%, *A. hydrophila* y *A. bestiarum* 20% cada una y *A. sobria* 14%. El estudio muestra la importancia de *Aeromonas* spp. como agentes oportunistas ya que únicamente 6 aislamientos se obtuvieron de peces con lesión de piel y los 44 restantes se obtuvieron de peces clínicamente sanos; entre éstas últimas, *A. allosaccharophila*, *A. bestiarum*, *A. hydrophila*, *A. popoffii*, *A. salmocida*, *A. sobria* y *A. veronii* bv. *sobria* se obtuvieron de órganos internos principales. *Aeromona bestiarum* fue aislada de riñón de carpas que no mostraron signos ni lesiones de enfermedad septicémica (7).

**Infecciones por *Pseudomonas* spp.** *Pseudomonas* spp. son bacterias Gram-negativas oportunistas, capaces de desarrollarse a bajas temperaturas, por lo que son parte de la microflora natural dominante del medio acuático y flora intestinal de peces sanos (21). A temperaturas superiores a 10°C pueden ser reemplazadas por microorganismos mesofilicos competidores, incluyendo bacterias del género *Aeromonas* (22). *P. fluorescens*, *P. anguilliseptica*, *P. aeuroginosa* y *P. putida* son descritas como las principales *Pseudomas* spp. causantes de enfermedad septicémica en varias especies de peces. Pese a que, *P. putida* y *P. luteola* también se han aislado de órganos internos, se consideran microflora acompañante (22).

Las *Pseudomonas* son responsables de causar la enfermedad de la fresa en trucha arcoíris y tenca (*Tinca tinca*). Infecciones sistémicas similares se han observado en carpa cruciana (*Carassius carassius*) y carpa plateada (*Carassius qibelio*) (22), y tilapias (23). En trucha arcoíris, independientemente de la temperatura la infección puede causar mortalidad repentina que puede alcanzar 100% en cualquier época del año. Clínicamente, la infección se caracteriza por oscurecimiento de piel, pudiendo presentar hemorragias, petequias y ulceraciones que se extienden a aletas y cola. En casos sistémicos se aprecia erizamiento o separación de escamas, ascitis y exoftalmia (21). Las lesiones y signos pueden ser similares a lo observado en infecciones por *A. hydrophila* (22).

En México no existen reportes de casos de enfermedad clínica asociadas a bacterias del género *Pseudomonas*. En un análisis sanitario en peces ornamentales (familias de cíclidos, poecilidos y cyprinidos), se identificaron seis especies de la familia pseudomonadaceae: *Pseudomonas cepaciae*, *P. diminuta*, *P. fluorescens*, *P. putida*, *P. sutzerii* y *P. vesicularis* (24). Sin embargo, el estudio no refiere si se trató de aislamientos únicos o mixtos entre bacterias del mismo género o con otros, y no se describió la patología clínica, macroscópica e histológica.

De 371 aislamientos obtenidos de trucha arcoíris por Salgado-Miranda et al (6), 47 fueron de *Pseudomonas* spp., 8 de *P. aeruginosa* y 5 de *P. fluorescens* 5. Algunas de estas bacterias se aislaron de bazo e hígado, pero los peces analizados no presentaron signos o lesiones de enfermedad. Por su parte, Soto-Rodríguez et al (18), identificaron *P. mosselii* y *P. anguilliseptica* como patógenos de tilapias; la primera se aisló del riñón de peces que no presentaron signos de septicemia, y *P. anguilliseptica* del cerebro de peces que únicamente manifestaron pérdida de escamas.

**Infecciones por *Flavobacterium* spp.** El género *Flavobacterium* está formado por 241 especies (12) de bacilos Gram-negativos no flagelados e inmóviles, ligeramente curvados y con extremos redondeados, no forman endosporas. Son organismos aerobios, quimiorganótrofos que cuando crecen en medios de cultivo artificial forman colonias pigmentadas tono amarillento (25); en su mayoría son microorganismos ambientales que pueden ser patógenos para peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos, incluyendo humanos (25).

Los principales agentes implicados en procesos de enfermedad en peces son *Flavobacterium columnare*, *F. branchiophilum* y *F. psychrophilum* (26). *Flavobacterium columnare* causa la enfermedad de la columna, caracterizada por manchas blanquecinas o necróticas externas que pueden avanzar a erosión en piel, aletas, branquias y pedúnculo caudal. *Flavobacterium branchiophilum* causa la enfermedad bacteriana de las branquias (Bacterial gill disease BGD), un padecimiento asociado a alta morbilidad y mortalidad en peces de cualquier especie. La colonización en laminillas branquiales puede ocasionar distintos grados de necrosis del epitelio laminar. Por su parte, *F. psychrophilum*, está asociado con varias patologías que reciben nombre en base a los signos clínicos que presentan los peces afectados. La enfermedad bacteriana del agua fría (BCWD), una patología de presentación septicémica en peces recién eclosionados y de primera alimentación fue observada en Norteamérica desde 1941, y una

enfermedad similar denominada síndrome del alevín de la trucha arcoíris (*Rainbow Trout Fry Syndrome* -RTFS), se observó en Europa a partir de 1980; actualmente tiene distribución mundial (25, 26).

Si bien *F. psychrophilum* no tiene huésped específico, la trucha arcoíris y el salmón Coho (*Oncorhynchus kisutch*) en cautiverio son muy susceptibles a la infección. La bacteria también se ha recuperado de otras especies que no manifiestan enfermedad clínica, que pueden actuar como portadores y diseminadores (27).

En el primer antecedente de *Flavobacterium* spp. en peces de México (5), se describió un caso de enfermedad branquial en crías de trucha y cuadros similares al RTFS. Formalmente, el síndrome fue documentado en crías de trucha de  $4 \pm 0.5$  g (27); las evidencias septicémicas consistieron en ascitis, hemorragias y licuefacción de bazo, adherencias de órganos abdominales y necrosis en pared abdominal a nivel del bazo. El aislamiento de *F. psychrophilum* fue molecularmente confirmado, y el estudio de RFLP clasificó a los aislados dentro de los genotipos B y R, indicando que la bacteria tendría su origen en la importación de huevo oculado (27). Posterior a esta notificación, RTFS ha sido observado y confirmado en crías de trucha arcoíris de varios estados del país, ocasionando mortalidades cercanas al 70% en peces de primera alimentación; asimismo, en tilapias se han observado casos sugestivos de enfermedad columnar, cuyas bacterias no fueron caracterizadas.

**Infecciones por *Yersinia* spp.** La yersiniosis, también conocida como enfermedad entérica de la boca roja (ERM) es una de las enfermedades de mayor impacto económico en cultivos de salmónidos de agua dulce; también afecta a otras especies de peces. Es causada por *Yersinia ruckeri*, bacteria Gram-negativa miembro de la familia Enterobacteriaceae, no esporulada, sin capsula y de motilidad variable, aislada por primera ocasión de trucha arcoíris en los años 1950s, y actualmente causa enfermedad en prácticamente todos los lugares donde se cultivan salmónidos (28, 29). En América latina ERM se ha registrado afectando a salmón del atlántico (*Salmo salar*), salmón coho y trucha arcoíris en Chile (30), y trucha arcoíris en Perú (29).

En México, se informó un caso de yersiniosis en el año 2000 en juveniles de trucha arcoíris (5), sin reportes de casos subsecuentes. A mediados de 2018 se observó un caso en peces juveniles de una granja de engorda de la región central del país. En los casos descritos, los peces afectados presentaron los signos clínicos reportados por la literatura para esta

infección, destacando hemorragias en ojos, boca y base de aletas, así como enteritis y hemorragias en bazo. *Y. ruckeri* también fue aislada de truchas que no mostraron signos de enfermedad (6).

**Weissellosis por *Weissella ceti*.** El género *Weissella* comprende 23 especies de bacterias ácido lácticas (BAL) (12), cocobacilos Gram-positivos, catalasa y oxidasa negativas, no esporuladas, inmóviles, anaerobias facultativas de metabolismo fermentativo (31). Miembros de este género han sido aisladas de gran variedad de hábitats, de productos y subproductos alimenticios derivados de animales y vegetales, alimentos fermentados, tractos urogenital y gastrointestinal de humanos y animales. Algunas especies se consideran probióticas, *W. cibaria* se usa para control de enfermedad periodontal; *W. confusa* y *W. cibaria* tienen potencial como prebiótico y se usan en la industria de la panadería y producción de bebidas fermentadas (31). *W. cibaria* 110 produce una bacteriocina activa contra bacterias Gram-positivas, y tiene posible potencial anti cáncer, antiinflamatorio, antibacterial, antifúngico e inmunoestimulante. Sin embargo, *W. viridescens*, *W. cibaria* y *W. confusa* están involucradas en diferentes infecciones en humanos, como patógenos oportunistas (31,32).

En animales, *Weissella ceti* causa la "weissellosis", una enfermedad septicémica emergente que provoca alta mortalidad en cultivos de trucha arcoíris (32,33). Los brotes suelen ocurrir durante los meses de verano o cuando la temperatura se encuentra entre 16 - 18°C. La severidad de la enfermedad disminuye conforme desciende la temperatura (32), pudiendo desaparecer en invierno, pero se ha comprobado que es recurrente (33). Aunque se considera una patología de peces mayores a 100 g, Figueiredo et al (33) informan que puede afectar peces de cualquier etapa de producción.

El primer reporte de weissellosis se describió en China en 2007 (34), registrando pérdidas de hasta 40% en truchas adultas con signología septicémica. Posteriormente se describió en Brasil (33), también con manifestación septicémica en truchas adultas, y cuadros similares han sido informados en los Estados Unidos de Norteamérica, Japón y Colombia (34,35), México (10), Canadá, Sudáfrica y Perú (35).

El único caso de weissellosis documentado en México, causó 60% de mortalidad en truchas de entre 100 a 300 g de una granja del centro occidente del país (10). Los peces afectados presentaron signos clínicos y lesiones similares a los reportados en otros países, típicos de una

septicemia hemorrágica, consistentes en oscurecimiento corporal, nado en superficie de columna de agua y salida de los estanques, anorexia, letargia e incoordinación. Las lesiones incluyen palidez branquial, exoftalmia, opacidad corneal, hemorragia peri e intraocular y ruptura corneal. Internamente, hígado hemorrágico y/o de color irregular, hemorragias en vejiga natatoria, gónadas y en la superficie parietal de cavidad celómica, formación de pseudomembranas en corazón y hemorragias en cerebro (32). Las lesiones histopatológicas incluyen edema corneal, inflamación retro-orbital, meningitis, degeneración, necrosis y vasculitis hepática, epicarditis y miocarditis granulomatosa (32,33). A la fecha no se han informado otros casos de weissellosis en el país. Es posible que la ausencia de reportes se deba a situaciones de subregistro.

**Infecciones por bacterias tipo *Streptococcus*.** La Streptococcosis de peces es la manifestación clínica de un conjunto de infecciones septicémicas agudas que tienden a cronicidad, causadas por diferentes taxones de bacterias Gram-positivas de aspecto cocoide, catalasa y oxidasa negativas, que incluye los géneros *Streptococcus*, *Lactococcus* y *Vagococcus*. Estos agentes han sido conocidos por afectar a animales terrestres, incluyendo humanos; sin embargo, la intensificación de la piscicultura ha favorecido su ocurrencia como infecciones emergentes en especies de peces, destacando trucha arcoíris, yellow tail (*Seriola* spp.) y tilapias (36, 37).

Las principales bacterias implicadas en el complejo *Streptococcus* son *S. iniae*, *S. agalactiae*, *S. dysagalactiae*, *S. parauberis*, *S. feacalis*, *Lactococcus garvieae* y *L. lactis* (38), que suelen estar presentes en agua, sedimentos y en peces. El surgimiento de enfermedad clínica normalmente se relaciona con estrés por manipulación, alta densidad, nutrición inadecuada y mala calidad del agua, destacando el aumento de temperatura en valores de entre 18°C - 25°C, según la especie afectada. Es importante indicar que las pruebas fenotípicas y bioquímicas convencionales son insuficientes para diferenciar a estas bacterias, requiriéndose el uso de procedimientos genético - moleculares como la hibridación y secuenciación del gen 16S RNA (37,38).

En peces, el primer registro de estreptococosis ocurrió en trucha arcoíris en 1957, desde entonces se han registrado brotes en otras especies. Se considera uno de los principales riesgos sanitarios para salmónidos que suelen padecer brotes anuales, generalmente en verano (36). Asimismo, *Streptococcus* spp. son las bacterias Gram-positivas que más afectan a

tilapias, en las que pueden generar mortalidades de alrededor de 90%, principalmente asociadas a *S. iniae* y *S. agalactiae* (9).

Los signos clínicos causados por infecciones de bacterias del complejo *Streptococcus* son muy similares, orientados a afección sistémica, con variaciones según la especie afectada, siendo difícil establecer diferencias reales (36,37,38). Los peces afectados presentan inactividad-letargia, oscurecimiento corporal, anorexia y caquexia, nado errático, palidez branquial, petequias o hemorragia periorcular, exoftalmia uni o bilateral con o sin opacidad corneal, pérdida de escamas, hemorragias y/o lesiones ulceradas o abscesos en piel, prolapso y edema anal, hemorragias en base de aletas (38,39).

Un primer antecedente de *Streptococcus* en peces de México indicó presencia de *S. iniae* y *S. agalactiae* en tilapias cultivadas; sin embargo, no se describió la presentación clínica y características de las bacterias. La identificación formal de *S. iniae* como causa de Streptococcosis fue confirmada en tilapias de entre 200 - 450 g (9) que manifestaron signos clínicos y lesiones previamente descritos para esta enfermedad (36,37, 39). Internamente presentaron fluido ascítico de aspecto sero-sanguinolento o turbio, órganos principales aumentados de tamaño con aspecto irregular y hemorragias, formación de adherencias entre órganos internos y hacia la pared celómica, membranas blanco-grisáceas de aspecto purulento en corazón, edema y hemorragia cerebral. Histológicamente, los órganos principales presentaron focos de degeneración y necrosis, y granulomas; exudado purulento en tejido muscular con encapsulamiento melanizado, meningitis, encefalitis o meningoencefalitis, pericarditis y miocarditis (36). Posterior a lo descrito en Ortega et al (9), otros casos por *S. iniae* en tilapias han sido confirmados, y evidencias no publicadas sugieren que otros *Streptococcus* afectan a tilapias del país. No se han reportado casos de infección por bacterias del género *Streptococcus* spp. en otras especies de peces del país.

*Lactococcus garvieae* causa enfermedad septicémica en trucha arcoíris, tilapia y yellow tail con signos clínicos similares a lo descrito en Streptococcosis (11, 38). En México, en 2016 se presentaron casos de enfermedad septicémica en truchas arcoíris de tamaño comercial, los cuales ante los signos clínicos y la identificación preliminar como cocos gram-positivos, se sospecharon como weissellosis (10). Sin embargo, estudios posteriores confirmaron a *L. garvieae* como agente causal. Actualmente se han observado casos de lactococcosis en las principales

zonas de producción de trucha del país, afectando a peces de granjas de distinto nivel de tecnificación, teniendo como factor común la temperatura del agua de cultivo entre 16 - 18°C (11).

En tilapia, la infección por *L. garvieae* también ha adquirido gran relevancia (37), y suele ser más grave cuando la temperatura del agua es superior a 20°C. Su impacto económico está relacionado a la mortalidad, deterioro de canales y retraso de crecimiento. A la fecha no se ha informado lactococcosis en tilapias de México.

**Infecciones por *Mycobacterium* spp.** Las micobacterias son bacilos ácido alcohol resistentes de crecimiento lento, aeróbicos inmóviles (40). Existen 193 especies válidamente reconocidas que pertenecen a un género único de la familia *Mycobacteriaceae* (12). Medicamente, las micobacterias se dividen en tres grupos: 1) del complejo *Mycobacterium tuberculosis* que causan tuberculosis, 2) Micobacterias no tuberculosas (NTM), y 3) *Mycobacterium leprae*.

La micobacteriosis de peces o "micobacteriosis atípica" es causada por MNT, principalmente *M. marinum*, *M. chelonae* y *M. Fortuitum* (41). Son organismos ambientales presentes en suministros de agua potable, piscinas, aguas costeras e instalaciones de acuarios. Suelen tornarse patógenos oportunistas tanto para hospederos inmunocomprometidos como inmunocompetentes. No existe evidencia clara de transmisión directa; la infección ocurre a través de lesiones de piel, branquias e intestino, consumo y/o contacto con animales o protozoarios infectados. En peces vivíparos se ha demostrado transmisión vertical. El estrés por manipulación, confinamiento y transporte predisponen la infección (42).

Clínicamente, la micobacteriosis atípica es una enfermedad progresiva crónica de signos inespecíficos, caracterizada por formación de granulomas en órganos internos y en superficies externas de peces. Puede ocurrir asintómicamente y desarrollar un curso crónico que predispone recurrencia de brotes, incluso en organismos silvestres (42) Las pérdidas son variables, pueden causar mortalidades superiores a 10%.

Las MNT que afectan peces tienen potencial zoonótico, sin embargo, no provocan las típicas lesiones observadas en casos de tuberculosis (43). Los casos relacionados con manipulación de peces suelen ocurrir en personas mayores y/o debilitadas; presentan nódulos o úlceras localizadas, o en "patrón esporotricóide" por diseminación linfática.

Histológicamente manifiestan inflamación granulomatosa superficial en piel de extremidades, y raras ocasiones en tejidos más profundos. El período de incubación es variable, pudiendo prolongarse de semanas a meses antes de manifestar síntomas (43).

En peces de México, en el año 2013 *M. fortuitum* y *M. marinum* fueron aisladas y confirmadas mediante secuenciación como causa de mortalidad en tilapias cultivadas del Estado de Campeche; sin embargo, desde 2007 se describieron lesiones sugestivas de micobacteriosis en peces de aquella región, donde la prevalencia se considera constante (44). Los autores también refieren aislamiento de *Vibrio* spp. y *Streptococcus* spp. y relacionan los signos clínicos y daños histológicos a la micobacteriosis, respaldado por positividad de la tinción Ziehl-Neelsen. Sin embargo, queda por interpretar el efecto e identificación del *Streptococcus* sp. involucrado; por ser un patógeno importante para tilapias en agua dulce.

**Francisellosis por *Francisella orientalis*.** Las bacterias de género *Francisella* son cocobacilos Gram-negativos, inmóviles, aerobios, pertenecientes al grupo  $\gamma$ -proteobacterias. Son organismos intracelulares facultativos, de difícil aislamiento en medios de cultivo artificial por su dependencia de cisteína y hemoglobina (Fe). Pueden replicarse en macrófagos y diversos tipos de células de peces y mamíferos, y existir como endosimbionte de amibas y artrópodos (45). El género comprende 9 especies (12), siendo *F. tularensis* que causa la tuleramia (enfermedad zoonótica) en mamíferos, la especie tipo.

La francisellosis de peces es una enfermedad emergente que ocasiona pérdidas económicas en cultivos de varias especies de agua dulce y marina (45). Las dos especies válidamente descritas que afectan peces son *Francisella orientalis*, y *Francisella noatunensis*. La primera, antes clasificada como *F. noatunensis* subsp. *orientalis* (Fno) (46), afecta peces de aguas cálidas, incluyendo tilapia, lubina rayada, perca trilineata y peces ornamentales. Por su parte, *Francisella noatunensis* afecta a peces de agua fría como el bacalao del Atlántico y salmón del Atlántico; se divide en dos subespecies *Francisella noatunensis* subsp. *noatunensis* y *Francisella noatunensis* subsp. *chilensis*, la primera reportada al norte de Europa (Irlanda, Noruega, Suecia y Reino Unido) y la segunda únicamente afecta al salmón del Atlántico en el sur de Chile (46).

Los primeros antecedentes de *Francisella* spp. describen que en 1992 se registraron altas mortalidades de tilapias en Taiwan. Como hallazgo principal los peces presentaron nódulos blanco-grisáceos en bazo y riñón, que histológicamente, correspondieron a granulomas con presencia de

bacterias Gram-negativas intracelulares en macrófagos. La causa fue atribuida a organismos tipo *Rickettsia* (*Rickettsia-like organisms* - RLO) (47). Entre 2006 y 2007 la bacteria fue aislada de forma independiente de tilapias con nódulos por investigadores Europeos, denominándola *Francisella noatunensis* subsp. *Orientalis*, y de USA denominándola *Francisella asiática*. Posteriormente se demostró que corresponden al mismo patógeno (47).

Clínicamente, la francisellosis puede ocurrir como síndrome agudo de escasos signos inespecíficos y alta tasa de mortalidad, o bien subagudo a crónico con signos inespecíficos como anorexia, anemia, adelgazamiento progresivo, letargia, exoftalmia, abdomen distendido, con nódulos hemorrágicos o ulceraciones de piel e incoordinación (48). Durante la necropsia sobresale la presencia de nódulos blanco-amarillentos principalmente en bazo y riñón aunque pueden apreciarse en cualquier órgano (8), y presentar otras lesiones septicémicas (8,47). El hallazgo histológico más notable es formación de granulomas en tejidos que presentaron nódulos (en ocasiones son hallazgos en peces con infección subclínica). El interior del granuloma puede contener líquido e infiltrados inflamatorios mixtos, con abundancia de macrófagos vacuolados hipertrofiados, fibroblastos y leucocitos. Ocasionalmente pueden estar parcial o totalmente cubiertos de material necrótico (47).

La morbilidad y mortalidad está influenciada por factores como densidad de población, tipo de unidad de producción y condiciones medioambientales, así como presencia de infecciones mixtas con otros patógenos. El rango de mortalidad puede estar entre 1 a 90% (48). Y se presenta en forma más aguda y agresividad conforme aumenta la temperatura; a 26°C la bacteria alcanza su máxima patogenicidad (45).

La francisellosis se confirmó en México a fines de 2012 en tilapias de una granja del centro del país. Se registró una mortalidad de 40% en peces reproductores de entre 200 y 350 g de peso que manifestaron un cuadro clínico similar a los descritos en la literatura (8); posteriormente se presentó en otros lugares con mortalidades variables. Además de afectar a tilapias, la infección también se confirmó en cíclido joya (*Hemichromis bimaculatus*), que presentaron múltiples nódulos en riñón y bazo, que histológicamente corresponden a granulomas (49). Esta enfermedad emergente es la única que la autoridad sanitaria reconoce como una enfermedad importante para la piscicultura del país (4).

**Infecciones por *Nocardia* spp.** La nocardiosis es una enfermedad bacteriana sistémica que afecta a humanos y otros mamíferos terrestres y marinos, y peces (50). Es causada por bacterias del género *Nocardia* que son organismos filamentosos, aeróbicos, Gram-positivos, parcialmente acidorresistentes que en la naturaleza se encuentran como organismos saprofitos del suelo (51).

En peces, la nocardiosis es una enfermedad emergente que suele afectar principalmente animales mayores a 300 g de peso. De las 115 especies de *Nocardia* válidamente reconocidas (12), únicamente *N. asteroides*, *N. seriolae* y *N. salmonicida* han sido aisladas de peces enfermos. El primer caso de nocardiosis en peces fue atribuido a *N. salmonicida* en salmón rojo (*Oncorhynchus nerka*) en 1949; sin embargo, *N. seriolae* es la especie más reportada causando pérdidas económicas severas en varias especies, principalmente en Asia (51), pero no restringido a ese continente (50). La mortalidad puede ser de 35% o mayor (3).

Los peces afectados por nocardiosis presentan signos de anorexia, emaciación, nado lento y errático, distensión abdominal, presencia de úlceras y/o nódulos blanco-marfil en branquias, piel o aletas, que también se presentan en órganos y superficies serosas. Histológicamente los nódulos corresponden a granulomas que consisten en necrosis y *debris* celulares con agregados bacterianos al centro de la lesión (50,51).

En México, a finales del año 2013 se registró mortalidad acumulada de 70% en corvina roja (*Sciaenops ocellatus*) de una granja marina de Campeche (3). Los animales afectados, de más de 898 g de peso y entre 12 a 18 meses de edad presentaron signos y lesiones típicos de enfermedad granulomatosa, incluyendo múltiples nódulos blanco-amarillentos de 0,1 a 0,8 cm de diámetro en órganos internos. La presencia de *N. seriolae* como agente causal fue confirmada mediante un diagnóstico sanitario integral (3). La publicación describe una nueva especie de peces afectada por este patógeno, y representó el primer reporte de una enfermedad en peces de agua salada del país. La recurrencia de la enfermedad ocasionó la suspensión de actividades en la granja afectada.

**Consideraciones finales.** En México, a nivel académico y oficial se realizan acciones para determinar el estado sanitario de la acuicultura; sin embargo, los resultados son poco difundidos. Una razón podría ser que, cuando los resultados de actividades de diagnóstico y/o de vigilancia

dirigidas a demostrar o descartar presencia de ciertos patógenos y/o enfermedades específicas (4), resultan negativos o diferentes a los objetivos de la investigación, no son publicados (52, 53). Disponer de estos resultados, no precisamente como publicaciones científicas, es muy importante ya que permite conocer la situación sanitaria real del país, estimar pérdidas e impactos causados por los patógenos, conocer su comportamiento o variantes, y proponer medidas de prevención y control.

Las publicaciones citadas en este artículo, que refieren enfermedades de peces del país corresponden a investigaciones con diferente rigor científico. Las bacterias más reportadas fueron de género *Aeromonas*, que aparentemente han tenido poco impacto económico; con excepción de los primeros reportes (5), no se especifican otros brotes sistémicos. Inclusive, *A. salmonicida* considerado agente primario como causa de enfermedad, ha sido aislado de lesiones externas o internas sin causar enfermedad sistémica.

Otras bacterias consideradas importantes para la piscicultura, se detectaron y/o aislaron sin causar enfermedad clínica, tal es el caso de *Vibrio* spp. (18, 44). *Plesiomonas shigelloides*, que ha sido observada causando septicemias en trucha arcoíris y en otras especies (54, 55), no causo enfermedad clínica en truchas (6), y pese a que fue aislada de tilapias clínicamente enfermas, no se describe si la infección fue única o combinada con otras bacterias aisladas en el mismo trabajo (18). Aunque se ha reportado el aislamiento de *Edwardsiella* spp. y *Pseudomonas* spp., no se han informado casos de enfermedad clínica.

Acorde con la tendencia sanitaria internacional que refleja incremento en la ocurrencia de enfermedades emergentes (1), en la última década la piscicultura del país se ha visto afectada por francisellosis y estreptococcosis en tilapias; weiseellosis y streptococcosis-lactococcosis en trucha arcoíris, y nocardiosis en corvina roja. Pese a que no se han estudiado sus impactos económicos y productivos, estas enfermedades representan riesgos para la piscicultura del país. Sin embargo, a excepción de la francisellosis, actualmente la autoridad sanitaria no las considera enfermedades importantes (4).

## REFERENCIAS

1. Sudheesh PS, Al-Ghabshi A, Al-Mazrooei M, Al-Habsi S. Comparative Pathogenomics of Bacteria Causing Infectious Diseases in Fish. *Int J Evol Biol.* 2012; 2012:457264. [https://doi: 10.1155/2012/457264](https://doi.org/10.1155/2012/457264)
2. Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca. CONAPESCA: *Anuario estadístico de acuicultura y pesca 2018*. [On line]. [accessed 27 may 2020]. Disponible en: [https://www.conapesca.gob.mx/work/sites/cona/dgppe/2018/ANUARIO\\_2018.pdf](https://www.conapesca.gob.mx/work/sites/cona/dgppe/2018/ANUARIO_2018.pdf).
3. del Rio-Rodríguez E, Ramírez-Paredes JG, Soto-Rodríguez S, Shapira Y, Huchin-Cortes M, Ruiz-Hernández J, et al. First evidence of nocardiosis in farmed red drum (*Sciaenops ocellatus*, Linnaeus) caused by *Nocardia seriolae* in the Gulf of Mexico. *bioRxiv.* 2021. <https://doi.org/10.1101/2021.01.15.426713>
4. Diario Oficial de la Federación, México. ACUERDO mediante el cual se dan a conocer en los Estados Unidos Mexicanos las enfermedades y plagas exóticas y endémicas de notificación obligatoria de los animales terrestres y acuáticos. [On line]. [accessed 2 march 2020]. Disponible en [https://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5545304&fecha=29/11/2018](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5545304&fecha=29/11/2018).
5. Ortega C, Valladares B. Analysis on the development and current situation of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) farming in Mexico. *Rev Aquac.* 2015; 9(2):194-202. <https://doi.org/10.1111/raq.12133>
6. Salgado-Miranda C, Palomares E, Jurado M, Marín A, Vega F, Soriano-Vargas E. Isolation and Distribution of Bacterial Flora in Farmed Rainbow Trout from Mexico. *J Aquat Anim Health.* 2010; 22(4):244-247. <https://doi:10.1577/H09-004.1>.
7. Soriano-Vargas E, Castro-Escarpulli G, Aguilera-Arreola MG, Vega-Castillo F, Salgado-Miranda C. Aislamiento e identificación de *Aeromonas bestiarum* a partir de carpa común de cultivo (*Cyprinus carpio* L.) procedentes de Santa María Chapa de Mota, Estado de México, México. *Vet Méx.* 2010; 41(2):111-115. <http://www.scielo.org.mx/pdf/vetmex/v41n2/v41n2a4.pdf>
8. Ortega C, Mancera G, Enríquez R, Vargas A, Martínez S, Fajardo R, et al. First identification of *Francisella noatunensis* subsp. *orientalis*

- causing mortality in Mexican tilapia *Oreochromis* spp. *DAO*. 2016;120(3):205–215. <https://doi:10.3354/dao02999>.
9. Ortega C, García I, Irgang R, R Fajardo, D Tapia-Cammas, J Acosta, Avendaño-Herrera R. First identification and characterization of *Streptococcus iniae* obtained from tilapia (*Oreochromis aureus*) farmed in Mexico. *J Fish Dis*. 2018;41(5):773-782. <https://doi:10.1111/jfd.12775>.
  10. Castrejón-Nájera J, Ortega C, Fajardo R, Irgang R, Tapia-Cammas D, Poblete-Morales M, et al. Isolation characterization, virulence potential of *Weissella ceti* responsible for weissellosis outbreak in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) cultured in Mexico. *Transbound Emerg Dis*. 2018; 65:1401–1407. <https://doi:10.1111/tbed.12978>.
  11. Ortega C, Irgang R, Valladares-Carranza B, Collarte C, Avendaño-Herrera R. First Identification and Characterization of *Lactococcus garvieae* Isolated from Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Cultured in Mexico. *Animals*. 2020; 10(9): 1609. <https://doi:10.3390/ani10091609>.
  12. Parte AC, Sardà CJ, Meier-Kolthoff JP, Reimer LC, Göker M. List of Prokaryotic names with Standing in Nomenclature (LPSN) moves to the DSMZ. *Int J Syst Evol Microbiol* 2020; 70(11):5607-5612. <https://doi:10.1099/ijsem.0.004332>
  13. Gonçalves-Pessoa RB, de Oliveira WF, Marques DS, dos Santos Correia MT, de Carvalho EVM, Coelho LB. The genus *Aeromonas*: A general approach. *Microb Pathog*. 2019;130:81–94. <https://doi:10.1016/j.micpath.2019.02.036>.
  14. Zepeda-Velázquez AP, Vega-Sánchez V, Salgado-Miranda C, Soriano-Vargas E. Histopathological findings in farmed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) naturally infected with 3 different *Aeromonas* species. *Can J Vet Res*. 2015; 79:250–254. [https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4445519/pdf/cjvr\\_07\\_250.pdf](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4445519/pdf/cjvr_07_250.pdf)
  15. Fernández-Bravo A, Figueras MJ. An Update on the Genus *Aeromonas*: Taxonomy, Epidemiology, and Pathogenicity.

- Microorganisms. 2020;8(1):129.  
[https://doi: 10.3390/microorganisms8010129](https://doi.org/10.3390/microorganisms8010129)
16. Aguilar-García CR. Infección de piel y tejidos blandos por el género *Aeromonas*. *Med Int Méx.* 2015; 31(6):701-708.  
<https://www.medigraphic.com/pdfs/medintmex/mim-2015/mim156h.pdf>
17. Negrete RP, Romero JJ, Arredondo-Figueroa JL. Resistencia a antibióticos y presencia de plásmidos en: *Aeromonas hydrophila*, *Vibrio fluvialis* y *Vibrio furnissii*, aislados de *Carassius auratus auratus*. *Vet Méx.* 2004; 35(1):1-10.  
<https://www.medigraphic.com/pdfs/vetmex/vm-2004/vm041b.pdf>
18. Soto-Rodríguez S, Cabanillas-Ramos J, Alcaraz U, Gomez-Gil B, Romalde J. Identification and virulence of *Aeromonas dhakensis*, *Pseudomonas mosselii* and *Microbacterium paraoxydans* isolated from Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, cultivated in Mexico. *J Appl Microbiol.* 2013;115: 654-662. [https://doi: 10.1111/jam.12280](https://doi.org/10.1111/jam.12280).
19. Castro-Escarpulli G, Figueras MJ, Aguilera-Arreola G, Soler L, Fernández-Rendón E, Aparicio GO, et al. Characterisation of *Aeromonas* spp. isolated from frozen fish intended for human consumption in Mexico. *Int J Food Microbiol.* 2003;84(1): 41-49.  
[https://doi: 10.1016/s0168-1605\(02\)00393-8](https://doi.org/10.1016/s0168-1605(02)00393-8).
20. Vega-Sánchez V, Acosta-Dibarrat J, Vega-Castillo F, Castro-Escarpulli G, Aguilera-Arreola MG, Soriano-Vargas E. Phenotypical characteristics, genetic identification, and antimicrobial sensitivity of *Aeromonas* species isolated from farmed rainbow trout (*Onchorynchus mykiss*) in Mexico. *Acta Tropica.* 2014; 130: 76– 79.  
<https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2013.10.021>
21. Darak O, Barde RD. *Pseudomonas fluorescens* associated with Bacterial Disease in *Catla catla* in Marathwada Region of Maharashtra. *IJBR.* 2015;6(2):89-195.  
<https://bipublication.com/files/IJABR-V6I2-2015-5.pdf>
22. Pełkala-Safińska A. Contemporary Threats of Bacterial Infections in Freshwater Fish. *J Vet Res.* 2018;62(3):261–267.  
[https://doi: 10.2478/jvetres-2018-0037](https://doi.org/10.2478/jvetres-2018-0037)

23. Algammal AM, Mabrok M, Sivaramasamy E, Youssef FM, Atwa M, El-kholy A, et al. Emerging MDR-*Pseudomonas aeruginosa* in fish commonly harbor oprL and toxA virulence genes and blaTEM, blaCTX-M, and tetA antibiotic-resistance genes. *Sci Rep.* 2020; 10(1):1-12. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72264-4>
24. Negrete RP, Romero JJ, Villegas LG, Vázquez SV. Presencia de plásmidos en *Pseudomonas* aisladas de peces de ornato. *Vet Mex.* 2003;34(3):289-295. <https://www.medigraphic.com/pdfs/vetmex/vm-2003/vm033h.pdf>
25. Loch TP, Faisal M. Emerging flavobacterial infections in fish: A review. *J Adv Res.* 2015; 6(3):283-300. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2014.10.009>.
26. Wahli T, Madsen L. Flavobacteria, a never ending threat for fish: a review. *Curr Clin Microbiol Rep.* 2018; 5(1):26-37. <https://doi.org/10.1007/s40588-018-0086-x>
27. Castillo-Miranda A, Ortega C, Martínez-Castañeda S, Fajardo-Muñoz R, Valladares-Carranza B, Avendaño-Herrera R, et al. First isolation and characterisation of *Flavobacterium psychrophilum* from Diseased rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) Farmed in Mexico. *Bull Eur Assoc Fish Pathol.* 2017;37: 23-30. [https://eafp.org/download/2017-volume37/issue\\_1/37-1-023-ortega-avendanoherrera.pdf](https://eafp.org/download/2017-volume37/issue_1/37-1-023-ortega-avendanoherrera.pdf)
28. Pajdak-Czaus J, Platt-Samoraj A, Szweda W, Krzysztof AS, Terech-Majewska E. *Yersinia ruckeri*—A threat not only to rainbow trout. *Aquac Res.* 2019;50(11): 3083-3096. <http://doi.org/10.1111/are.14274>.
29. Ummey S, Khan S, NVijayakumar PP, Ramya A. Enteric Red Mouth disease and its causative bacterium, *Yersinia ruckeri*, in Indian Major Carps from culture ponds in Andhra Pradesh, India. *Aquacult Fish.* 2020, [en prensa]. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2020.05.009>
30. Avendano-Herrera R, Tapia-Cammas D, Aedo A, Saldivia P, Ortega C, Irgang R. Disease caused by *Yersinia ruckeri* serotype O2b found in Chilean-farmed coho salmon, *Oncorhynchus kisutch* (Walbaum, 1792). *J Fish Dis.* 2017;40(2): 279-285. <https://doi.org/10.1111/jfd.12502>.

31. Fusco V, Quero MQ, Cho GS, Kabisch J, Meske D, Neve H, et al. The genus *Weissella*: taxonomy, ecology and biotechnological potential. *Front Microbiol.* 2015;6:1–22. [https://doi: 10.3389/fmicb.2015.00155](https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00155).
32. Welch TJ, Good CM. Mortality associated with Weissellosis (*Weissella* sp.) in USA farmed rainbow trout: Potential for control by vaccination. *Aquaculture.* 2013; 388:122–127. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.01.021>
33. Figueiredo HC, Costa FA, Leal CA, Carvalho-Castro GA, Leite RC. *Weissella* sp. outbreaks in commercial rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) farms in Brazil. *Vet Microbiol.* 2012; 156:359–366. [https://doi: 10.1016/j.vetmic.2011.11.008](https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2011.11.008).
34. Vásquez-Machado G, Rubiano-Garzón M, Yepes-Blandón J, Gordillo-González D, Avila-Coy J. Weissellosis in rainbow trout in Colombia. *Braz J Vet Pathol.* 2020;2(3): 575-580. [https://doi:10.24070/bjvp.1983-0246.v13i3p575-580](https://doi.org/10.24070/bjvp.1983-0246.v13i3p575-580)
35. Medina M, Fernandez-Espinel C, Sotil G, Yunis-Aguinaga J, Flores-Dominick V. First description of *Weissella ceti* associated with mortalities in farmed rainbow trout in Peru. *Aquaculture.* 2020; 529:735608. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735608>.
36. Fawzy NM, Osman K, Ibrahim ME, Naguib M, Ali M, Abd-Elrahman S. Streptococcosis in tilapia: Clinico-pathological picture of experimentally infected tilapia. *Life Sci J.* 2014;11: 1005–112. [https://www.researchgate.net/publication/266740513\\_Streptococcosisin\\_tilapia\\_Clinico-pathological\\_picture\\_of\\_experimentially\\_infected\\_tilapia](https://www.researchgate.net/publication/266740513_Streptococcosisin_tilapia_Clinico-pathological_picture_of_experimentially_infected_tilapia)
37. Bwalya P, Simukoko C, Hang'ombe BM, Støre SC, Støre P, Gamil AA, et al. Characterization of streptococcus-like bacteria from diseased *Oreochromis niloticus* farmed on Lake Kariba in Zambia. *Aquaculture.* 2020;523:735185. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735185>
38. Karsidani HS, Soltani M, Nikbakhat-Brojeni G, Ghasemi M, Skall HF. Molecular epidemiology of zoonotic streptococcosis/lactococcosis in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) aquaculture in Iran. *Iran J Microbiol.* 2010;2(4): 198-209.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3279792/pdf/IJM-2-198.pdf>

39. Hossain MM, Ehsan A, Rahman M.A, Haq M, Chowdhury BR. Transmission and pathology of *Streptococcus iniae* in monosex Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in aquaculture of Bangladesh. *J Fisheries*. 2014; 2:90-99. <https://doi:10.17017/jfish.v2i1.2014.28>
40. Porvaznik I, Solovič I, Mokry J. Non-Tuberculous Mycobacteria: Classification, Diagnostics, and Therapy. *Adv Exp Med Biol*. 2017;944:19-25. [https://doi:10.1007/5584\\_2016\\_45](https://doi:10.1007/5584_2016_45).
41. Puk K, Guz L. Occurrence of *Mycobacterium* spp. in ornamental fish. *Ann Agric Environ Med*. 2020; 27(4):535-539. <https://doi:10.26444/aaem/114913>.
42. Johansen MD, Herrmann JL, Kremer L. Non-tuberculous mycobacteria and the rise of *Mycobacterium abscessus*. *Nat Rev Microbiol*. 2020;18(7):392-407. <https://doi.org/10.1038/s41579-020-0331-1>
43. Gauthier DT. Bacterial zoonoses of fishes: A review and appraisal of evidence for linkages between fish and human infections. *Vet J*. 2015; 203:27-35. <https://doi:10.1016/j.tvjl.2014.10.028>.
44. Lara-Flores M, Aguirre-Guzmán G, Balan-Zetina SB, Sonda-Santos KY, Zapata AA. Identification of a *Mycobacterium* agent isolated from tissues of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Turk J Fish Aquat Sci*. 2014;14:575-580. [https://doi:10.4194/1303-2712-v14\\_2\\_29](https://doi:10.4194/1303-2712-v14_2_29)
45. Colquhoun DJ, Duodu S. *Francisella* infections in farmed and wild aquatic organisms. *Vet Res*. 2011;42(1):42-47. <https://doi:10.1186/1297-9716-42-47>.
46. Ramirez-Paredes JG, Larsson P, Thompson KD, Penman DJ, Busse HJ, Ohrman C, et al. Reclassification of *Francisella noatunensis* subsp. *orientalis* Ottem et al. 2009 as *Francisella orientalis* sp. nov., *Francisella noatunensis* subsp. *chilensis* subsp. nov. and emended description of *Francisella noatunensis*. *Int J Syst Evol Microbiol*. 2020;70:2034-2048. <https://doi:10.1099/ijsem.0.004009>.

## CONCLUSIONES

- El mayor número de publicaciones sobre bacterias en peces de México corresponden al género *Aeromonas*; siendo *A. hydrophila* la más frecuente. *A. salmonicida*, considerado patógeno primario para peces, no se observó en enfermedad clínica.
- Bacterias oportunistas han sido aisladas de órganos principales de animales que no mostraron signos de enfermedad, tal es el caso de *Plesiomonas shigelloides*, *Edwardsiella* spp. y *Pseudomonas* spp.
- En los últimos diez años la piscicultura del país se ha visto afectada por las enfermedades emergentes: francisellosis y estreptococosis tilapias; wiseelosis y estreptococosis lactococosis en trucha arcoíris, y nocardiosis en corvina roja.
- No se han informado los impactos económicos y productivos que las enfermedades bacterianas han causado a la piscicultura del país.
- Las publicaciones analizadas corresponden a casos en peces de cultivo.

- No se ha informado aislamiento o identificación de *Renibacterium salmoninarum*, una bacteria de gran impacto sanitario considerada exótica para el país.

## LITERATURA CITADA

- Aguilar-García CR. (2015). Infección de piel y tejidos blandos por el género *Aeromonas*. *Med Int Méx (Medicina Interna de México)* 31(6): 701-708.
- Austin B, Austin DA. (2007). *Bacterial Fish Pathogens: Disease of Farmed and Wild Fish*. Edinburgh: Springer Verlag
- Avendaño-Herrera R, Tapia-Cammas D, Aedo A, Saldivia P, Ortega C, Irgang R. (2017). Disease caused by *Yersinia ruckeri* serotype O2b found in Chilean-farmed coho salmon, *Oncorhynchus kisutch* (Walbaum, 1792). *Journal Fish Diseases*. 40(2): 279-285. doi: 10.1111/jfd.12502.
- Avendaño-Herrera R, Houel A, Irgang R, Bernardet JF, Godoy M, Nicolas P, Duchaud E. (2014). Introducción, expansión y coexistencia de epidemia de *Flavobacterium psychrophilum* lineajes en Chilean Fish Farms. *Veterinary Microbiology*. 170: 298-306.
- Björkroth KJ, Schillinger U, Geisen R, Weiss N, Høste B, Holzapfel WH, Korkeala HJ, Vandamme P. (2002). Taxonomic study of *Weissella confusa* and description of *Weissella cibaria* sp. nov., detected in food and clinical samples. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 52, 141–148, <https://doi.org/10.1099/00207713-52-1-141>.
- Bwalya P, Simukoko C, Hang'ombe BM, Støre SC, Støre P, Gamil AA, et al. (2020). Characterization of streptococcus-like bacteria from diseased *Oreochromis niloticus* farmed on Lake Kariba in Zambia. *Aquaculture*. 523:735185. <https://10.1016/j.aquaculture.2020.735185>
- Castillo-Miranda A, Ortega C, Martínez-Castañeda S, Fajardo-Muñoz R, Valladares-Carranza B, Avendaño-Herrera R, Irgang R, Poblete-Morales M. (2017). First isolation and characterisation of *Flavobacterium psychrophilum* from Diseased rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) Farmed in Mexico. *Bulletin of the European Association of Fish Pathologists*. 37:23-30

- Castrejón-Nájera J, Ortega C, Fajardo R, Irgang R, Tapia-Cammas D, Poblete-Morales M, Avendaño-Herrera R. (2018). Isolation characterization, virulence potential of *Weissella ceti* responsible for weissellosis outbreak in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) cultured in Mexico. *Transboundary and Emerging Diseases*. 65, 1401–1407, doi:10.1111/tbed.12978
- Castro-Escarpulli G, Figueras MJ, Aguilera-Arreola G, Soler L, Fernández-Rendón E, Aparicio GO, Guarro J, Chacón MR. (2003). Characterisation of *Aeromonas* spp. isolated from frozen fish intended for human consumption in Mexico. *International Journal Food Microbiology* 84(1): 41-49.
- Colquhoun DJ, Duodu S. (2011). *Francisella* infections in farmed and wild aquatic organisms. *Veterinary Research*. 42(1):42-47. doi: 10.1186/1297-9716-42-47.
- Collins MD, Samelis J, Metaxopoulos J, Wallbanks S. (1993). Taxonomic studies on some leuconostoc-like organisms from fermented sausages: description of a new genus *Weissella* for the *Leuconostoc paramesenteroides* group of species. *J. Appl. Bacteriol.* 75:595–603, <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.1993.tb01600.x> .
- CONAPESCA. Anuario estadístico de acuicultura y pesca (2018). Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca, Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación. Available online: [www.conapesca.gob.mx/work/sites/cona/dgppe/2017/\\_ESTADISTICO\\_2017.pdf](http://www.conapesca.gob.mx/work/sites/cona/dgppe/2017/_ESTADISTICO_2017.pdf) / (accessed on 27 May 2019).
- Constantino CF, Armijo OA, Osorio-Sarabia D, Chavez-Soriano LA. (1997). Infección por *Aeromonas hydrophila* e *Ichthyophthirius multifiliis* en trucha (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum) y tilapia (*Oreochromis aureus*, L) de un centro de acopio de Morelos, México. Estudio patológico. *Vet Mex*. 28: 59-62
- del Río-Rodríguez E, Ramírez-Paredes JG, Soto-Rodríguez S, Shapira Y, Huchin-Cortés M, Ruiz-Hernández J, et al. First evidence of nocardiosis in farmed red

- drum (*Sciaenops ocellatus*, Linnaeus) caused by *Nocardia seriolae* in the Gulf of Mexico. bioRxiv. 2021. <https://doi.org/10.1101/2021.01.15.426713>
- Diario Oficial de la Federación (2018). Secretaria de Gobernación, México. Acuerdo mediante el cual se dan a conocer en los Estados Unidos Mexicanos las enfermedades y plagas exóticas y endémicas de notificación obligatoria de los animales terrestres y acuáticos. Available online: [https://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5545304&fecha=29/11/2018](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5545304&fecha=29/11/2018) (accessed on 28 March 2020).
- Evans JJ, Shoemaker CA, Klesius PH. (2001). Distribution of *Streptococcus iniae* in hybrid striped bass (*Morone chrysops* *Morone saxatilis*) following nare inoculation. *Aquaculture* 194:233 – 243.
- Eyngor M, Zamostiano R, Kembou JE, Berkowitz A, Bercovier H, Tinman S, Lev M, Hurvitz A, Galeotti M, Bacharach E, Eldar A. (2014). Identification of a novel RNA virus lethal to tilapia. *Journal of Clinical Microbiology* 52:4137–4146.
- Fathi M, Dickson C, Dickson M, Leschen W, Baily J, Muir F, Ulrich K, Weidmann M. (2017). Identification of tilapia lake virus in Egypt in Nile tilapia affected by 'summer mortality' syndrome. *Aquaculture* 473: 430–432.
- Fawzy NM, Osman K, Ibrahim ME, Naguib M, Ali M, Abd-Elrahman S. (2014). Streptococcosis in tilapia: Clinico-pathological picture of experimentally infected tilapia. *Life Science Journal*. 11: 1005–112.
- Fernández-Bravo A, Figueras MJ. (2020). An Update on the Genus *Aeromonas*: Taxonomy, Epidemiology, and Pathogenicity. *Microorganisms*, 8, 129; doi:10.3390/microorganisms8010129
- Figueiredo HC, Costa FA, Leal CA, Carvalho-Castro GA, Leite RC. (2012). *Weissella* sp. outbreaks in commercial rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) farms in Brazil. *Veterinary Microbiology*. 156:359–366. doi: 10.1016/j.vetmic.2011.11.008.

- Figueroa J, Cárcamo J, Yañez A, Olavarria V, Ruiz P, Manríquez R, Muñoz C, Romero A, Avendaño-Herrera R. (2019). Addressing viral and bacterial threats to salmon farming in Chile: historical contexts and perspectives for management and control. *Reviews in Aquaculture*, 11:299–324
- Forbes BA. (2017); Mycobacterial taxonomy. *J Clin Microbiol.* 55(2):380–383. doi:10.1128/JCM.01287-16.
- Fuentes J M, Pérez JA. (1998). Aislamiento de *Aeromona hydrophila* en trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*). *Vet Mex*; 29: 117-119.
- Fusco V, Quero GM, Cho GS, Kabisch J, Meske D, Neve H, Bockelmann W, Franz CM. (2015). The genus *Weissella*: taxonomy, ecology and biotechnological potential. *Frontiers in microbiology*, 6, 155. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00155>
- Gauthier DT. (2015). Bacterial zoonoses of fishes: A review and appraisal of evidence for linkages between fish and human infections. *Veterinary Journal.* 203:27-35. doi: 10.1016/j.tvjl.2014.10.028.
- Gonçalves Pessoa RB, de Oliveira WF, Marques DS, dos Santos Correia MT, de Carvalho EVM, Coelho LB. (2019). The genus *Aeromonas*: A general approach. *Microbial Pathogenesis.* 130:81–94. doi: 10.1016/j.micpath.2019.02.036.
- Hedrick RP. (1998). Relationships of the host, pathogen, and environment: implications for disease of cultured and wild fish populations. *Journal of Aquatic Animal Health* 10: 107-111.
- Hossain MM, Ehsan A, Rahman M.A, Haq M, Chowdhury BR. (2014). Transmission and pathology of *Streptococcus inane* in monosex Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in aquaculture of Bangladesh. *Journal Fisheries.* 2:90-99. doi:10.17017/jfish.v2i1.2014.28

- Janda JM, Abbott SL, McIver CJ. (2016). *Plesiomonas shigelloides* Revisited. *Clinical microbiology reviews*, 29(2), 349–374. <https://doi.org/10.1128/CMR.00103-15>
- Jansen MD, Dong HT, Mohan CV. (2018). Tilapia lake virus: a threat to the global tilapia industry. *Reviews in Aquaculture*. 1–15. doi: 10.1111/raq.12254
- Johansen MD, Herrmann JL, Kremer L. Non-tuberculous mycobacteria and the rise of *Mycobacterium abscessus*. *Nat Rev Microbiol*. 2020;18(7):392-407. <https://doi.org/10.1038/s41579-020-0331-1>
- Karsidani HS, Soltani M, Nikbakhat-Brojeni G, Ghasemi M, Skall HF. (2010). Molecular epidemiology of zoonotic streptococcosis/lactococcosis in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) aquaculture in Iran. *Iran Journal Microbiology*. 2(4):198-209.
- Kerie Y, Nuru A, Abayneh T. (2019). Edwardsiella Species Infection in Fish Population and Its Status in Ethiopia. *Fish Aqua J* 10: 266. doi:10.4172/2150-3508.1000266
- Lara-Flores M, Aguirre-Guzmán G, Balan-Zetina SB, Sonda-Santos KY, Zapata AA. (2014). Identification of a *Mycobacterium* agent isolated from tissues of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 14:575–580. doi:10.4194/1303-2712-v14\_2\_29\_
- López-Crespo R, Martínez-Chavarría L, Lugo-García AT, Romero-Romero L, García-Márquez LJ, Reyes-Matute A. (2019). Outbreak of francisellosis (*Francisella noatunensis* subsp. *orientalis*) in cultured neon jewel cichlids *Hemichromis bimaculatus* from Morelos, Mexico. *Diseases of Aquatic Organisms*. 137:125-130. doi: 10.3354/dao03429.
- López-Jiménez. (1987): Enfermedades más frecuentes de las carpas cultivadas en México. *Rev Mex Acuacul* 9:11-11.
- Maekawa S, Yoshida T, Wang PC. Current knowledge of nocardiosis in teleost fish. *J Fish Dis*. 2018; 41(3):413-419. <https://doi: 10.1111/jfd.12782>.

- Medina M, Fernandez-Espinel C, Sotil G, Yunis-Aguinaga J, Flores-Dominick V. (2020). First description of *Weissella ceti* associated with mortalities in farmed rainbow trout in Peru. *Aquaculture*. 529:735608. doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735608.
- Mishra A, Nam GH, Gim JA, Lee HE, Jo A, Kim HS. (2018). Current challenges of streptococcus infection and effective molecular, cellular, and environmental control methods in aquaculture. *Mol Cells*. 41:495–505.
- Muzquiz J, Royo F, Ortega C, De Blas I, Ruiz I, Alonso J. (1999). Pathogenicity of streptococcosis in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): dependence on age of diseased fish. *Bull Eur Ass Fish Pathol*. :114–119.
- Nayak SK, Nakanishi T. Development of Vaccines Against Nocardiosis in Fishes. *Methods Mol Biol*. 2016;1404:193-201. https://doi: 10.1007/978-1-4939-3389-1\_13.
- Negrete RP, Romero JJ, Arredondo-Figueroa JL. (2004). Resistencia a antibióticos y presencia de plásmidos en: *Aeromonas hydrophila*, *Vibrio fluvialis* y *Vibrio furnissii*, aislados de *Carassius auratus auratus*. *Veterinaria México* ;35(1): 1-10
- Negrete RP, Romero JJ, Villegas LG, Vázquez SV. (2003). Presencia de plásmidos en *Pseudomonas* aisladas de peces de ornato. *Vet Mex*; 34 (3): 289-295
- OIE World Organisation for Animal Health. Guidelines for animal disease control – May 2014. [https://www.oie.int/fileadmin/Home/eng/Our\\_scientific\\_expertise/docs/pdf/A\\_Guidelines\\_for\\_Animal\\_Disease\\_Control\\_final.pdf](https://www.oie.int/fileadmin/Home/eng/Our_scientific_expertise/docs/pdf/A_Guidelines_for_Animal_Disease_Control_final.pdf) [Accessed 27 sep 2020].
- Ortega C, García I, Irgang R, R Fajardo, D Tapia-Cammas, J Acosta, Avendaño-Herrera R. (2018). First identification and characterization of *Streptococcus iniae* obtained from tilapia (*Oreochromis aureus*) farmed in Mexico. *Journal of Fish Diseases* 41(5):773-782. https://doi: 10.1111/jfd.12775.

- Ortega C, Irgang R, Valladares-Carranza B, Collarte C, Avendaño-Herrera R. (2020). First Identification and Characterization of *Lactococcus garvieae* Isolated from Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Cultured in Mexico. *Animals*.10, 1609
- Ortega C, Mancera G, Enríquez R, Vargas A, Martínez S, Fajardo R, *et al.* (2016). First identification of *Francisella noatunensis* subsp. *orientalis* causing mortality in Mexican tilapia *Oreochromis* spp. *Diseases of Aquatic Organisms* 120:205–215. doi: 10.3354/dao02999.
- Ortega C, Montes de Oca R, Groman D, Yason C, Nicholson B, Blake S. (2002). Case report: viral infectious pancreatic necrosis in farmed Rainbow Trout from Mexico. *Journal of Aquatic Animal Health* 14:305–310
- Ortega C, Valladares B. (2015). Analysis on the development and current situation of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) farming in Mexico. *Reviews in Aquaculture*. 0: 1-9
- Ortega C, Valladares B, Arguedas D, Vega F, Montes de Oca R, Murray AG. (2016). Distribution of infectious pancreatic necrosis virus (IPNV) based on surveillance programs in freshwater trout farms of Mexico. *Journal of Aquatic Animal Health*. 26 (1)21-26.
- Parte AC, Sardà CJ, Meier-Kolthoff JP, Reimer LC, Göker M. (2020). List of Prokaryotic names with Standing in Nomenclature (LPSN) moves to the DSMZ. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*; 70:5607-5612.
- Pękala-Safińska A. (2018). Contemporary Threats of Bacterial Infections in Freshwater Fish. *J Vet Res*. 62(3):261–267. doi:10.2478/jvetres-2018-0037.
- Plumb JA, Hanson LA. (2011). Health maintenance and principal microbial diseases of cultured fishes, 3rd edn. Wiley-Blackwell, Oxford.
- Portillo-Bonilla IG, Reyes-Rodríguez NE, Zepeda-Velázquez A, Gómez- De Anda F, Vega-Sánchez V. Frecuencia de *Aeromonas* spp. en trucha arcoíris en puntos

de venta para consumo en el Estado de Hidalgo. XX Congreso Internacional Inocuidad de Alimentos. 1-3 de Noviembre 2018. Nayarit, México.

Porvaznik I, Solovič I, Mokry J. (2017). Non-Tuberculous Mycobacteria: Classification, Diagnostics, and Therapy. *Advances in Experimental Medicine and Biology*. 2017944:19-25. doi: 10.1007/5584\_2016\_45.

Ramirez-Paredes JG, Larsson P, Thompson KD, Penman DJ, Busse HJ, Ohrman C, et al. (2020). Reclassification of *Francisella noatunensis* subsp. *orientalis* Ottem et al. 2009 as *Francisella orientalis* sp. nov., *Francisella noatunensis* subsp. *chilensis* subsp. nov. and emended description of *Francisella noatunensis*. *International Journal Systemic Evolution Microbiology*. 70:2034-2048. doi: 10.1099/ijsem.0.004009.

Ross AJ, Rucker RR, Ewing WH. (1966). Description of a bacterium associated with red mouth disease of rainbow trout (*Salmogairdneri*). *Canadian Journal of Microbiology*. 12:763-770.

Salgado-Miranda C, Palomares E, Jurado M, Marín A, Vega F, Soriano-Vargas E. (2010): Isolation and distribution of bacterial flora in farmed rainbow trout from México. *Journal Aquatic Animal Health* 22:244-247.

SENASICA (2019). Servicio Nacional de Sanidad Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. Gobierno de México. Disponible en <https://www.gob.mx/senasica/articulos/libres-del-virus-de-la-tilapia-del-lago?idiom=es>. Accesado 27 de mayo 2020.

Sheehan B, Lee YS, Wong ES, Chan J, Labrie L, Komar C, Wendover N, Grisez L. (2009). Aquavac Strep Sa: Una novedosa vacuna para el control de las infecciones causadas por *Streptococcus agalactiae* Biotipo 2 en tilapia de granja. En memorias: Manejo de Streptococcus en peces de aguas cálidas, pp. 21–26.

Soriano-Vargas E, Castro-Escarpulli G, Aguilera-Arreola MG, Vega-Castillo F, Salgado-Miranda C. (2010). Aislamiento e identificación de *Aeromonas bestiarum* a partir de carpa común de cultivo (*Cyprinus carpio* L.) procedentes

- de Santa María Chapa de Mota, Estado de México, México. *Veterinaria México* 41(2):111-115.
- Soto E, Baumgartner W, Wiles J, Hawke JP. (2011). *Francisella asiatica* as the causative agent of piscine francisellosis in cultured tilapia (*Oreochromis* sp.) in the United States. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*. 23, 821–825. doi: 10.1177/1040638711407058.
- Soto E, Hawke JP, Fernandez D, Morales JA. (2009). *Francisella* sp., an emerging pathogen of tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.), in Costa Rica. *Journal Fish Diseases*. 32:713. doi: 10.1177/1040638711407058.
- Soto-Rodríguez S, Cabanillas-Ramos J, Alcaraz U, Gomez-Gil B, Romalde J. (2013). Identification and virulence of *Aeromonas dhakensis*, *Pseudomonas mosselii* and *Microbacterium paraoxydans* isolated from Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, cultivated in Mexico. *Journal Applied Microbiology*. 115: 654-662. doi: 10.1111/jam.12280.
- Soto-Rodríguez S. (2009). Calidad del agua y bacterias presentes en tilapia cultivada. En Investigación de presas de Sinaloa; Fundación Produce Sinaloa, SAGARPA. Disponible enfile:///C:/Users/Dell/Downloads/Calidad%20del%20agua%20y%20bacterias%20presentes%20en%20tilapia%20cultivada.pdf
- Tortoli E. (2014). Microbiological features and clinical relevance of new species of the genus *Mycobacterium*. *Clin Microbiol Rev* 27:727–752. <https://doi.org/10.1128/CMR.00035-14>.
- Vásquez-Machado G, Rubiano-Garzón M, Yepes-Blandón J, Gordillo-González D, Avila-Coy J. (2020). Weissellosis in rainbow trout in Colombia. *Brazilian Journal Veterinary Pathology*. 2(3): 575-580. doi:10.24070/bjvp.1983-0246.v13i3p575-580
- Vega-Sánchez V, Acosta-Dibarrat J, Vega-Castillo F, Castro-Escarpulli G, Aguilera-Arreola MG, Soriano-Vargas E. (2014). Phenotypical characteristics, genetic identification, and antimicrobial sensitivity of *Aeromonas* species isolated from

- farmed rainbow trout (*Onchorynchus mykiss*) in Mexico. *Acta Tropica*. 130: 76–79. doi.org/10.1016/j.actatropica.2013.10.021
- Vendrell D, Balcázar JL, Ruiz-Zarzuela I, De Blas I, Gironés O, Múzquiz JL. (2006), *Lactococcus garvieae* in fish: a review. *Comp Immunol Microbiol Infect Dis*. 29(4):177-198. doi:10.1016/j.cimid..06.003.
- Zepeda-Velázquez AP, Vega-Sánchez V, Salgado-Miranda C, Soriano-Vargas E. (2015). Histopathological findings in farmed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) naturally infected with 3 different *Aeromonas* species. *Canadian Journal Veterinary Research*. 79:250–254.