



Enfermedades bacterianas y bacterias obtenidas en peces cultivados de México

Frida M. Alcántara-Jauregui¹ ; Benjamín Valladares-Carranza¹ ; César Ortega S^{1*} 

¹Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM). Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ). Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Salud Animal (CIESA). San Cayetano Morelos, Toluca, Mexico. CP 50295
Correspondencia: cortegas@uaemex.mx

Recibido: Mayo 2021; Aceptado: Septiembre 2021; Publicado: Mayo 2022.

RESUMEN

Este trabajo concentra información de las publicaciones que han descrito la ocurrencia de enfermedades bacterianas y el 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 y 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 arcoiris (*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*). Cabe resaltar que, 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; diagnóstico; emergentes; enfermedades; peces; sanidad (*Fuente AGROVOC*).

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 and that in the last decade the occurrence of septicemic diseases caused by emerging bacteria has been confirmed. In freshwater

Como citar (Vancouver).

Alcántara-Jauregui FM, Valladares-Carranza B, Ortega SC. Enfermedades bacterianas y sus agentes etiológicos identificados en peces de México. Rev MVZ Córdoba. 2022; 27(2):e2387. <https://doi.org/10.21897/rmvz.2387>



©El (los) autor (es) 2022. Este artículo se distribuye bajo los términos de la licencia internacional Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>), que permite a otros distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir de su obra de modo no comercial, siempre y cuando den crédito y licencien sus nuevas creaciones bajo las mismas condiciones.

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.

Keywords: Bacteria; diseases; diagnosis; emerging; fish; health (*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 arcoíris (*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. veronni* 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 del 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 *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. 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. salmonicida*, *A. sobria* y *A. veronii* bv. *sobria* se obtuvieron de órganos internos principales. *Aeromonas 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 mesofílicos competidores, incluyendo bacterias del género *Aeromonas* (22). *P. fluorescens*, *P. anguilliseptica*, *P. aeuroginosa* y *P. putida* son descritas como las principales *Pseudomonas* 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 gibelio*) (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 hospedero 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 ± 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). Actividades de diagnóstico (no publicadas) han mostrado que, posterior a esta notificación, RTFS ha sido observado en crías de trucha arcoíris de varios estados del país, ocasionando mortalidad en peces de primera alimentación; asimismo, en tilapias se han observado casos sugestivos de enfermedad columnar. Estas aseveraciones son probables ya que *Flavobacterium* spp. son patógenos comunes de sistemas piscícolas (25,26). Sin embargo, es necesario investigar y tener registros de los casos.

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).

Weisselosis 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 inunoestimulante. 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 "weisselosis", 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 weisselosis 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 weisselosis 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). Es posible que hayan ocurrido otros casos de esta enfermedad emergente; sin embargo, no se han informado. Una posibilidad es que la ausencia de reportes se deba a situaciones de subregistro, ya que clínicamente la weisselosis presenta signos similares a otras enfermedades causadas por bacterias Gram-positivas (32,33).

Infecciones por bacterias tipo *Streptococcus*.

La Streptococosis 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. faecalis*, *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 18-25°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 periocular, 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 Streptococosis 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 Streptococosis (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 weisselosis (10). 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 (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 lactococosis 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 asintóticamente 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 esporotricoides" 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 γ -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 causó 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; wiseellosis y streptococcosis-lactococcosis en trucha arcoíris, y nocardiosis en corvina roja. No se ha informado aislamiento o identificación de *Renibacterium salmoninarum* (6), una bacteria de gran impacto sanitario, considerada exótica para el país.

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).

Agradecimientos

Este trabajo fue apoyado por el Proyecto de Investigación 4489/2018/CI registrado en SIEA - UAEM; Ciencia Básica CONACYT: 287537.

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>
2. CONAPESCA. Anuario estadístico de acuicultura y pesca. 2018. Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca: México; 2018. [On line]. 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
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.org/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 *Aeromona 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/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0301-50922010000200004
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.org/10.3354/dao02999>
9. Ortega C, García I, Irgang R, R Fajardo, D Tapia-Cammas, JAcosta, 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.org/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.org/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.org/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.org/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.org/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/>
15. Fernández-Bravo A, Figueras MJ. An Update on the Genus *Aeromonas*: Taxonomy, Epidemiology, and Pathogenicity. *Microorganisms*. 2020; 8(1):129. <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://medicinainterna.org.mx/article/infeccion-de-piel-y-tejidos-blandos-por-el-genero-aeromonas/>
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/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=116>
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.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.org/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 (*Oncorhynchus 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. IJABR. 2015; 6(2):189-195. http://www.bipublication.com/ijabr_V6I2.html
22. Pękala-Safińska A. Contemporary Threats of Bacterial Infections in Freshwater Fish. J Vet Res. 2018; 62(3):261-267. <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/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=5679>
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
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. <https://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; 6(3):289-299. <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.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.org/10.1016/j.vetmic.2011.11.008>
34. Vázquez-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.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; 11:1005-1012. <http://www.lifesciencesite.com/lisj/life1109/>
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/>
39. Hossain MM, Ehsan A, Rahman M.A, Haq M, Chowdhury BR. Transmission and pathology of *Streptococcus inane* in monosex Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in aquaculture of Bangladesh. *J Fisheries.* 2014; 2:90-99. <https://doi.org/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.org/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.org/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.org/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.org/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.org/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.org/10.1099/ijsem.0.004009>
47. Soto E, Baumgartner W, Wiles J, Hawke JP. *Francisella asiatica* as the causative agent of piscine francisellosis in cultured tilapia (*Oreochromis* sp.) in the United States. *J Vet Diagn Inv.* 2011; 23:821-825. <https://doi.org/10.1177/1040638711407058>
48. Soto E, Hawke JP, Fernandez D, Morales JA. *Francisella* sp., an emerging pathogen of tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.), in Costa Rica. *J Fish Dis.* 2009; 32:713. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.2009.01070.x>
49. López-Crespo R, Martínez-Chavarría L, Lugo-García AT, Romero-Romero L, García-Márquez LJ, Reyes-Matute A. Outbreak of francisellosis (*Francisella noatunensis* subsp. *orientalis*) in cultured neon jewel cichlids *Hemichromis bimaculatus* from Morelos, Mexico. *DAO.* 2019; 137:125-130. <https://doi.org/10.3354/dao03429>
50. Maekawa S, Yoshida T, Wang PC. Current knowledge of nocardiosis in teleost fish. *J Fish Dis.* 2018; 41(3):413-419. <https://doi.org/10.1111/jfd.12782>
51. Nayak SK, Nakanishi T. Development of Vaccines Against Nocardiosis in Fishes. *Methods Mol Biol.* 2016; 1404:193-201. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3389-1_13
52. Oidtman B, Peeler E, Lyngstad T, Brun E, Bang Jensen B, Stärk KD. Risk-based methods for fish and terrestrial animal disease surveillance. *Prev Vet Med.* 2013; 112(1-2):13-26. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2013.07.008>
53. Wallace IS, McKay P, Murray AG. A historical review of the key bacterial and viral pathogens of Scottish wild fish. *J Fish Dis.* 2017; 40(12):1741-1756. <https://doi.org/10.1111/jfd.12654>
54. Janda JM, Abbott SL, McIver CJ. *Plesiomonas shigelloides* revisited. *Clin Microbiol Rev.* 2016. 29:349-374. <https://doi.org/10.1128/CMR.00103-15>
55. Oliveira RV, Oliveira MC, Pelli A. Disease Infection by Enterobacteriaceae Family in Fishes: A Review. *J Microbiol Exp.* 2017; 4(5):00128. <https://doi.org/10.15406/jmen.2017.04.00128>