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

Descripción de la presentación clínica de un caso de lactococosis en trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*)

TESINA

PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MEDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

P R E S E N T A

Manuel Alejandro Gomez Casillas

ASESORES:

Dr. Cesar Ortega Santana
Dr. Benjamín Valladares Carranza
Biol. Omar Evanivaldo González Sandoval

Toluca de Lerdo, México, Enero 2026

TÍTULO

Descripción de la presentación clínica de un caso de lactococosis en trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss)*

Índice General

I. Introducción 1
II. Revisión de la Literatura 3
2.1 Antecedentes del cultivo de trucha arcoíris 3
2.1.1 Antecedentes del cultivo de trucha arcoíris en México 4
2.1.2 Enfermedades que afectan al cultivo de la trucha arcoíris 7
2.2. La lactococosis 18
2.3. Distribución. 19
2.4. Impacto económico. 19
2.5. Importancia sanitaria. 20
2.6. El agente 22
2.7. Aislamiento del agente 25
2.8. Patología. 25
2.9. Factores de virulencia 27
2.9.1 Toxinas 27
2.9.2 Evasión de mecanismos inmunológicos 28
2.9.3 Mecanismos de adhesión 29
2.10. Tratamiento. 30
2.11. Prevención y control 30
III. Justificación 32
IV. Objetivo 33
V. Material y Método 34
VI. Límite de Espacio 35
VII. Límite de Tiempo 36
VIII Resultados 37
8.1 Unidad de producción "Las Pilas" 37
8.2 Análisis clínico y obtención de muestras 41
IX Discusión 51
X Conclusiones 59
XI Referencias 61

Índice de figuras

Fig. 1: Ejemplar de trucha arcoíris (Oncorhynchus mykiss). Foto de internet 3
Fig. 2: Estanque de concreto tradicional para el cultivo de trucha arcoíris. Foto de MVZ. Padilla-Martínez Carlos E..... 3
Fig. 3: Estanque circular de concreto para trucha arcoíris en la UPA “Los Manantiales” en Villa del Carbón, (Foto de autoría propia)..... 7
Fig. 4: (A) Crecimiento de pequeñas colonias grisáceas de *Lactococcus garvieae* en una placa de agar sangre después de 24 h de incubación a 35 ºC en condiciones aeróbicas. (B) Tinción de Gram de *Lactococcus garvieae*, se aprecian cocáceas grampositivas, dispuestas en cadenas cortas y en pares. (Clavero *et al.,* 2017) 25
Fig. 5: Trucha arco iris creciendo en canales y afectada por *L. garvieae* mostrando: (A) exoftalmia bilateral típica y ningún cambio en el color de la piel, (B) exoftalmia bilateral típica y comienzo del cambio de color de la piel, (C) catarata típica y color oscuro, (D) exoftalmia bilateral y pérdida completa del ojo, (E) oscurecimiento del cuerpo y explosión del ojo, (F) hemorragia del intestino, (G) preparación de tinción de Gram directa del bazo de peces enfermos que muestra un gran número de células cocoides Gram positivas confirmadas como *L. garvieae* por fenotipado y trabajos moleculares (Soltani *et al*., 2021). 26
Fig. 6: Ubicación del Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Salud Animal (CIESA). (Google Maps, 2025)..... 35
Fig. 7: Esquema que representa la distribución general de la Unidad de Producción Las Pilas. Se muestran el manantial y 17 estanques divididos en 4 secciones, inicialmente distribuidos en dos líneas de agua. 37
Fig. 8: Vista satelital de la Unidad de Producción “Las Pilas”, que muestra la distribución de los estanques que la conforman (Imagen internet). 38
Fig. 9 y 10: Vista de los estanques de la unidad de producción siendo estos un canal con bases para colocar los bastidores de división. 40
Fig. 11: Ejemplar de la UPA Las Pilas tomado para necropsia con presencia de exoftalmia y branquias pálidas. 44
Fig. 12: Ejemplar de la UPA Las Pilas que presenta puntos necróticos en el hígado, vejiga natatoria hemorrágica y pared abdominal hemorrágica como principales lesiones. .. 45

Fig. 13: Ejemplar con prolapso anal. 46
Fig.14: Hígado con palidez y puntos necróticos. 47
Fig. 15: Limpieza de los estanques durante el vacío sanitario. 49

Índice de tablas y gráficas

Tabla 1. Parásitos más importantes de trucha arcoíris. Recopilada del manual Merck de veterinaria (Winter & Moses, 2022). 8
Tabla 2: Secuencias del genoma completo de *Lactococcus garvieae* disponibles en la base de datos NCBI (www.ncbi.nlm.nih.gov/) (Meyburgh *et al*., 2017). 23
Tabla 3. Características fenotípicas de *Lactococcus garvieae,* TSI: triple azúcar hierro; V: reacción variable; (): reacción débil o lenta; A/A−: acidificación del medio (Vendrell *et al*. 2006). 24
Tabla 4: Temperatura (°C), Precipitación (mm), Humedad (%), Días lluviosos (días), Horas de sol (horas). Data: 1999 – 2019 (Merkel., 2021). 39
Gráfica 1: Mortalidad durante el ciclo de engorda de trucha arcoíris en el periodo de septiembre 2018 a noviembre 2019, donde se puede observar la mortalidad por mes y el peso promedio de los peces afectados. 42
Gráfica 2: Mortalidad en trucha arcoíris bajo tratamiento durante el periodo del 16 de abril al 5 de mayo del 2019. 43
Gráfica 3: Mortalidad registrada durante distintos brotes de Lactococcus en la granja las pilas, la gráfica azul representa el lote de peces sembrados en el año 2018, la gráfica naranja representa los peces sembrados en el año 2019 y la gráfica gris los peces sembrados en el año 2020. 48

I. Introducción

El cultivo de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) ha sido una práctica arraigada en diversas culturas a lo largo de la historia, con orígenes que se remontan al siglo XVIII con su éxito en la reproducción artificial (González-Serrano, 2001). Esta especie, originaria de las aguas frías y limpias de América del Norte, ha sido aclimatada en numerosas regiones del mundo debido a su valor económico y recreativo (FAO, 2009). Sin embargo, a medida que la demanda por este pez ha crecido, también lo han hecho los desafíos asociados con su cría en cautiverio.

Uno de los mayores retos que enfrentan los piscicultores son los frecuentes brotes mundiales de enfermedades infecciosas, incluidas las de etiología bacteriana, que son actualmente uno de los principales obstáculos que causan enormes pérdidas financieras y reducciones significativas en los estándares de calidad de la producción acuícola. Los informes iniciales de agentes bacterianos Gram-positivos involucrados en enfermedades bacterianas sistémicas en especies de acuicultura incluida la trucha arcoíris vinieron de regiones del este de Asia, siendo estas enfermedades causadas por varias bacterias pertenecientes a los géneros *Lactococcus, Streptococcus, Vagococcus y Carnobacterium* (Soltani *et al.*, 2021), que pueden diezmar poblaciones enteras de truchas y otras especies de peces.

Entre estas enfermedades, la lactococosis se destaca como una de las más devastadoras; donde las principales especies bacterianas implicadas en trucha son *Lactococcus garvieae* y *Lactococcus petauri,* las cuales pueden afectar gravemente la salud de los peces, provocando síntomas que van desde lesiones y úlceras en la piel hasta procesos de septicemia y muerte (Soltani *et al.*, 2021).

El impacto de la lactococosis en la industria acuícola ha llevado a la búsqueda activa de métodos de prevención y control. Comprender la dinámica de los brotes es crucial para implementar estrategias de manejo efectivas; para esto, es necesario

conocer el papel de varios factores de riesgo para el surgimiento de la enfermedad, como las condiciones ambientales, la densidad de peces, la calidad del agua y factores estresantes (Duman *et al.*, 2023). Los esfuerzos están dirigidos a salvaguardar la salud de las poblaciones de la trucha arcoíris y garantizar la sostenibilidad de esta importante actividad económica.

En México el cultivo de trucha por su volumen se encuentra posicionada en el lugar 37 de la producción pesquera del país; sin embargo, por el valor económico que representa se encuentra en el lugar 31. La tasa media de crecimiento anual de la producción en los últimos 10 años es de -19.39 % (Anuario estadístico de acuicultura y pesca, 2023). Sin embargo, la razón de esta tendencia negativa en la producción no ha sido debidamente explicada; una probable explicación podría asociarse con la ocurrencia de enfermedades que a nivel mundial se han documentado como uno de los principales factores que afectan la producción piscícola. En este sentido, pese a que en el cultivo de trucha arcoíris del país, oficialmente únicamente se ha reconocido a la necrosis pancreática infecciosa (IPN) como causa de impacto sanitario negativo para la especie, también se han registrado casos de lactococosis, enfermedad considerada de alto riesgo sanitario en la truticultura mundial, pero que no han sido debidamente informada en el país.

En este trabajo se abordó el seguimiento de un caso clínico de lactococosis en una Unidad de producción de trucha arcoíris de la comunidad de Aputzio de Juárez, Municipio de Zitácuaro, Estado de Michoacán, donde después de la ocurrencia de la enfermedad se implementaron diversas acciones orientadas para su control. En el trabajo se analizan los resultados de las estrategias utilizadas en la Unidad de producción, y los desafíos que enfrentan los piscicultores ante la presentación de la enfermedad, así como las estrategias generales que se están implementando para mitigar los riesgos asociados a la presencia de la enfermedad.

II. Revisión de la Literatura

2.1 Antecedentes del cultivo de trucha arcoíris

La trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) (Fig. 1) es una especie nativa de las cuencas que drenan al Pacífico de Norteamérica, abarcando desde Alaska hasta el norte de México. Desde 1874 se introdujo en las aguas de todos los continentes excepto a la Antártica con propósitos recreacionales para pesca deportiva y para acuicultura (Fig. 2). La producción se expandió notablemente en los años 1950 con el desarrollo de los alimentos peletizados. Las pesquerías de trucha o su cultivo se practica en las cuencas altiplánicas de muchos países tropicales y subtropicales de Asia, este de África y Sudamérica. Como resultado, se han desarrollado varios linajes o cepas locales domesticadas, mientras que otras han surgido a través de selección masiva y entrecruzamiento para mejorar la calidad de los peces para cultivo (FAO, 2009).

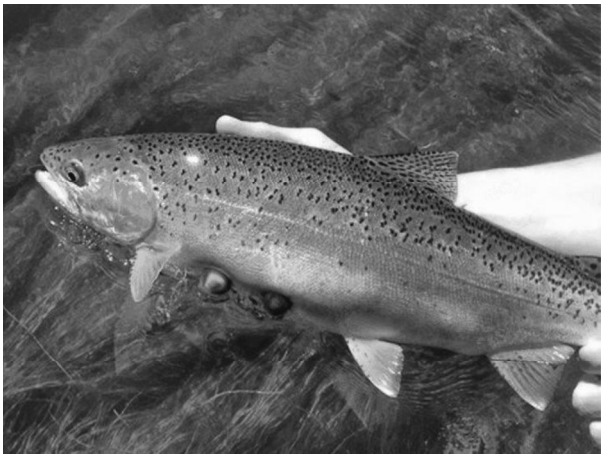


Fig. 1: Ejemplar de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*).

Foto de internet



Fig. 2: Estanque de concreto tradicional para el cultivo de trucha arcoíris.

Foto de MVZ. Padilla-Martínez Carlos E.

2.1.1 Antecedentes del cultivo de trucha arcoíris en México

En América Latina las primeras acciones para establecer la actividad acuícola fueron la publicación del libro "Piscicultura de agua dulce", escrito por Esteban Cházari en 1884, y la incubación de un lote de huevo de trucha arcoíris proveniente de EE. UU, sembrado en una laguna del Municipio de Ocoyoacac, Estado de México (García-Mondragón *et al.*, 2013).

A partir de 1930, la acuicultura en México fue dirigida al repoblamiento de embalses y cuerpos de agua, principalmente con carpa (*Cyprinus carpio*), lobina (*Micropterus salmoides*) y trucha arcoíris. En esta época, la actividad fue llamada piscicultura agrícola y su desarrollo estuvo ligado a la construcción de obras hidráulicas promovidas por la Comisión Nacional de Irrigación (García-Mondragón *et al.*, 2013).

Durante la Piscicultura agrícola (1930-1970), "La política gubernamental se enfocó en el aprovechamiento integral de los recursos naturales para el mejoramiento del nivel alimenticio de los nacionales" (Banco Nacional de Crédito Ejidal, 1966); mediante la creación de varios centros acuícolas, y la repoblación de cuerpos de agua continentales (García-Mondragón *et al.*, 2013).

En 1936 se construyó la estación acuícola "El Zarco" ubicado en el parque nacional "Insurgente Miguel Hidalgo", mejor conocido como "*La Marquesa*", localizado en el municipio de Ocoyoacac, en límites del Estado de México y el entonces Distrito Federal. Con esta acción, el Estado de México se convirtió en la primera entidad federativa productora de crías de trucha arcoíris con fines de repoblación (García-Mondragón *et al.*, 2013).

A partir de la publicación del libro de Cházari, surge en México la acuicultura institucional, caracterizada por la dependencia de apoyos gubernamentales constantes para el desarrollo de la actividad, como una alternativa productiva para la mejora de los modos de vida en poblaciones rurales con índices de marginación

y pobreza (García-Mondragón *et al.*, 2013). Posterior a la Piscicultura agrícola, la producción de trucha arcoíris en el Estado de México ha pasado por dos etapas:

Establecimiento y fomento (1976-1995)

Inicia con el establecimiento de Unidades de Producción de Trucha (UPT) con recursos de dos programas de desarrollo gubernamental; el primero de orden federal, bajo la responsabilidad del Fideicomiso para el Desarrollo de la Flora y Fauna Acuáticas – FIDEFA, y el segundo Estatal a cargo de la empresa gubernamental Protectora e Industrializadora de Bosques del Estado de México (PROTIMBOS), que promovió la producción de trucha como alternativa para detener la tala clandestina en pequeña escala y el deterioro de los bosques por la agricultura en las comunidades de montaña. Los objetivos de estos programas marcaron la directriz del fomento de la producción de trucha estatal, siendo la primera vez que en un plan de desarrollo se apoyaba la construcción de unidades de producción intensiva con presupuesto federal y/o estatal. El punto medular que determinó el rumbo en la producción de trucha a partir de estos programas fue el cambió del concepto, de ser una alternativa para la alimentación de las familias productoras, a ser reconocida como una fuente de ingresos complementaria a la agricultura y ganadería. Este cambio se reflejó en el aumento de la producción, pasando de 84 toneladas en 1983 producidas en 7 UPT a 1783 t en 1995, contando con 100 UPT establecidas. La producción obtenida superaba ampliamente las expectativas de autoconsumo para una familia, con un promedio de 12 t anuales en 1983, llegando hasta las 17 t promedio en 1995 (García-Mondragón *et al.*, 2013).

La proximidad del Estado de México con la Ciudad de México, cómo la más poblada del país, generó una oportunidad de mercado para la trucha arcoíris en la región geográfica conocida como “La Marquesa”, favorecido por la población urbana, que se convirtió en el principal punto de venta de trucha preparada en los pequeños restaurantes que abundan en la zona. Durante esta etapa, se identificaron cuatro factores que favorecieron el crecimiento de la producción de trucha en el Estado. La

continuidad de los programas gubernamentales con apoyo a la actividad acuícola, las condiciones ambientales necesarias para el buen desarrollo del cultivo y en especial la construcción de UPT con fines de diversificación en las actividades productivas de la población y la incursión de la trucha en un mercado nuevo con gran aceptación (García-Mondragón *et al.*, 2013).

Consolidación de la actividad trutícola con fines empresariales (de 1995 a la fecha).

Dos eventos se han distinguido en esta etapa, los apoyos gubernamentales fueron dirigidos al establecimiento de UPT con un paradigma de desarrollo sustentable y una contingencia sanitaria por la aparición del virus de la necrosis pancreática infecciosa (IPNV), que en condiciones de agua dulce, afecta a la trucha en su fase de cría.

Como consecuencia de la ocurrencia de la necrosis pancreática infecciosa (IPNV) en el Centro Acuícola "El Zarco", este Centro debió cerrar sus actividades, surgiendo un desabasto de crías a nivel nacional. Los requerimientos sanitarios para la importación de huevo establecidos en las normas oficiales NOM-010-PESC-1993 y NOM-011-PESC-1993 (DOF, 1994a; 1994b) fueron aplicados de manera más estricta; el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) de México ejerció una mayor vigilancia de las prácticas sanitarias relacionadas con la actividad acuícola, tanto en cantidad como en calidad, a través de la creación del Comité de Sanidad Acuícola del Estado de México. Dichos acontecimientos marcaron una nueva cultura en la producción de trucha estatal, por lo que a partir del año 2000 las nuevas UPT fueron establecidas bajo un esquema empresarial, con mejora en instalaciones, servicios, y principalmente, ante la escases de huevo se empezaron a establecer granjas con ciclo productivo completo (Fig. 3).

Ante este nuevo modelo de UPT empresariales se ha dado una diversificación al interior de la actividad, por lo que ahora los factores que determinan el cauce productivo son de carácter intrínseco, es decir, de lo que ocurre al interior de la UPT como, el nivel educativo de los productores, la falta de capacitación para manejar el cultivo y el uso ineficiente del alimento (García-Mondragón *et al.*, 2013).

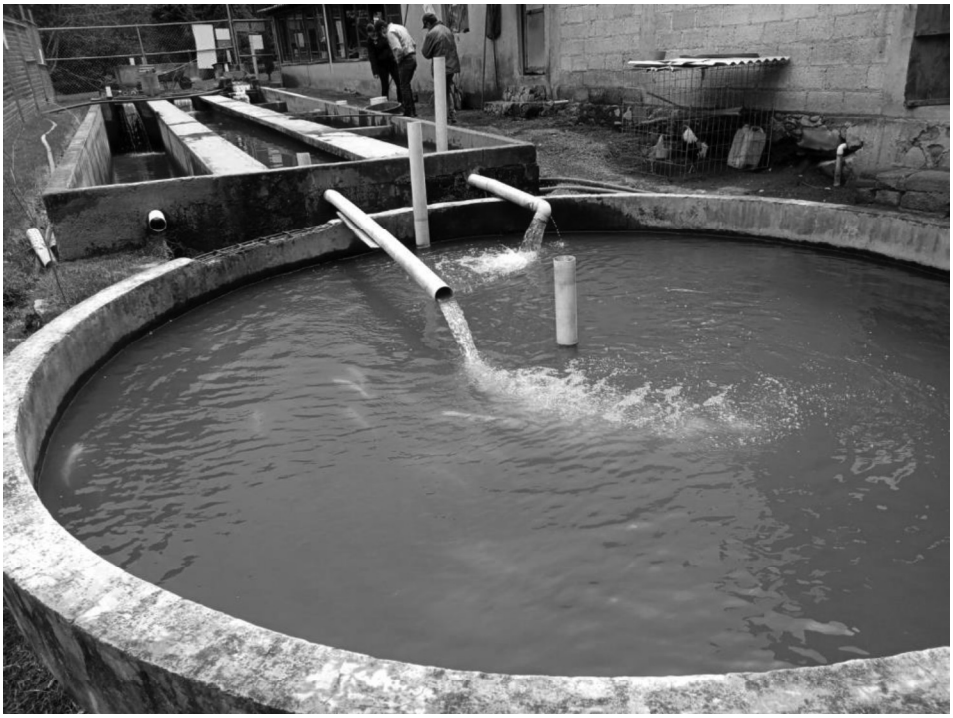


Fig. 3: Estanque circular de concreto para trucha arcoíris en la UPA "Los Manantiales" en Villa del Carbón, (Foto de autoría propia).

2.1.2 Enfermedades que afectan al cultivo de la trucha arcoíris

Los brotes de enfermedades infecciosas son el problema más grave que causa pérdidas significativas a la acuicultura, producen enormes pérdidas de producción y contribuye a la inseguridad alimentaria, reduce los ingresos y genera la pérdida de empleos (Soltani *et al.*, 2021). La trucha arcoíris es una de las especies de peces en las que más se han reportado la ocurrencia de enfermedades de distinta etiología, esto es debido a su alto costo en el mercado, lo que hace que se preste mucha atención a todos los microorganismos que causan enfermedad, pues estos representan una gran pérdida a los productores. De hecho, de las 11 enfermedades

de reporte obligatorio para peces que actualmente están incluidas en la OMSA (antes OIE), 7 afectan a la especie.

Enfermedades parasitarias que afectan a la trucha arcoíris.

La clasificación de los parásitos más importantes en la trucha arcoíris se presenta en la tabla 1.

Parásitos	Tejido afectado	Principales signos y lesiones
Ichthyophthirius multifilis	Branquias, piel, aletas.	Enfermedad del punto blanco; sin puntos visibles si aparece únicamente en branquias.
Trichodina, Chilodonella	Branquias, piel, aletas.	Heridas, exceso de moco, saltos, pérdida de condición.
Ichthyobodo	Branquias, piel, aletas.	Limo azul, saltos, ortopnea, exceso de moco, pérdida de condición.
Gyrodactylus	Piel, aletas.	Exceso de moco, saltos y pérdida de peso.
Dactylogyrus	Branquias.	Pérdida de peso, lesiones cutáneas.
Myxosoma cerebralis	Cabeza, cartílago, columna vertebral.	Cola negra, deformidad del esqueleto.
Ceratomyxa shasta	Intestino posterior.	Pérdida de pesos, distensión y hemorragias en la cloaca.
Diplostomum	Ojo (cristalino).	Cataratas, ceguera.
Diphyllobothrium latum	Vísceras, musculatura.	Adherencia, infertilidad (afecta las gónadas).

Tabla 1. Parásitos más importantes de trucha arcoíris. Recopilada del manual Merck de veterinaria (Winter & Moses, 2022).

Los crustáceos, copépodos y branquiuros son otros parásitos que también suelen ser importantes para la trucha arcoíris. Algunos copépodos como *Lernea spp.,* son parásitos obligados de los peces durante etapas específicas de su ciclo biológico. Estos pierden su forma copépoda, incluso sus apéndices, y se convierten en estructuras con forma tubular o sacular específicamente adaptadas para la perforación, adhesión, alimentación y reproducción. Macroscópicamente presentan un aspecto similar al de púas adheridas a la piel o las branquias, donde se alimentan de sangre y fluidos corporales. Pueden causar hemorragia, anemia, y destrucción tisular, así como una puerta de entrada para otros patógenos (Winter & Moses, 2022).

Los parásitos braquiuros, a menudo llamados piojos, presentan cuerpos aplanados adaptados para el desplazamiento veloz sobre la superficie cutánea de los peces. Con la ayuda de ganchos y ventosas, se adhieren para alimentarse insertando la parte perforante de la probóscide (estilete) dentro de la piel. *Argulus spp.* se suele encontrar en peces criados en acuarios, estanques y en peces silvestres de agua dulce (Winter & Moses, 2022).

La infección por *Aphanomyces invadans,* comúnmente conocido como síndrome ulcerante epizoótico (SUE), también conocido como enfermedad de las manchas rojas (RSD), granulomatosis micótica (MG) y micosis ulcerosa (UM), es causada por el oomiceto *A. invadans.* Clínicamente se caracteriza por la presencia de hifas invasoras no septadas en el músculo esquelético, que suelen provocar una respuesta granulomatosa. Los datos publicados sobre la estabilidad del agente patógeno en los tejidos del hospedador son escasos. No está claro si el agente patógeno sigue creciendo durante algún tiempo tras la muerte del hospedador. En los peces suelen aparecer manchas rojas o lesiones ulcerosas de pequeño a gran tamaño en el cuerpo. La aparición de lesiones cutáneas y, en última instancia, la mortalidad varía según la especie de pez. Los peces que presentan lesiones suelen

estar débiles, tienen color más oscuro, menor apetito, permanecen inmóviles y es posible que floten en el agua. Por lo general, los peces infectados se encuentran en aguas poco profundas y presentan retardada capacidad para escapar de la captura, ocasionalmente seguida de episodios breves de hiperactividad caracterizados por movimientos espasmódicos (OMSA, 2023).

Las enfermedades virales más importantes de la trucha arcoíris son:

Necrosis pancreática infecciosa (IPN):

Es una enfermedad aguda, sistémica y contagiosa de alevines y crías de los salmónidos causada por un birnavirus. La morbilidad y la mortalidad solo se producen en los animales jóvenes, por lo general <3g; sin embargo, el virus puede aislarse de los supervivientes durante toda su vida, dando lugar a un estado de portador persistente. La signología clínica en les peces enfermos es inespecífica; los peces pueden estar anoréxicos, atáxicos y presentar un patrón de natación en espiral. Externamente, presentan oscurecimiento corporal; la exoftalmia y las petequias externas pueden ser evidentes. Internamente, las petequias pueden ser visibles en las vísceras; el intestino suele estar vacío y puede contener un exudado amarillo. Histológicamente, aparecen focos de necrosis coagulativa que afectan a los ácinos e islotes pancreáticos y a las células hematopoyéticas del riñón, se observa enteritis catarral (Winter & Moses, 2022).

Si bien, la IPN no es una enfermedad que esté inscrita en la lista de enfermedades de peces de la OMSA, continúa siendo uno de los problemas sanitarios más importantes para los salmónidos. En México, Ortega *et al.,* (2002) publicaron el reporte de caso donde se proporcionaron datos patológicos y documentación diagnóstica confirmatoria de la primera Epizootia clínica de la necrosis pancreática infecciosa en trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en una piscifactoría del centro de México. Tanto la patología macroscópica como la microscópica fueron consistentes con IPN, y el virus fue aislado en células de cultivo que mostró el efecto

citopático típico de este virus. La identificación positiva como IPNV se logró mediante una prueba de inmunofluorescencia indirecta específica contra este virus, reforzada por la prueba de la reacción en cadena de la polimerasa con transcriptasa inversa. Posteriormente, se realizó el genotipado que identificó este aislado emparentado con la cepa Buhl de IPNV, que es miembro de West Buxton (A1) serotipo del serogrupo A del birnavirus acuático (Ortega *et al*., 2002).

Septicemia hemorrágica viral (SHV):

Según el Manual Acuático de la Organización Mundial de Sanidad Animal (OMSA), la mortalidad causada por esta enfermedad es variable, dependiendo de las condiciones ambientales y fisiológicas, la mayoría de las cuales no han sido totalmente determinadas. La enfermedad en general, es típica de agua dulce y fría, con una mortalidad máxima a temperaturas de entre 9 y 12 ºC. Los alevines de trucha arcoíris pequeños (0,3-3 g) son los más susceptibles al genotipo Ia, con mortalidades cercanas al 100%, pero todos los tamaños de trucha arcoíris pueden verse afectados con mortalidades que van del 5 al 90%. En la trucha arcoíris, el aspecto clínico suele ser el de peces oscuros y letárgicos con exoftalmia en las orillas del estanque y en la salida. Es característico que los peces enfermos no intenten escapar cuando se les desea capturar (OMSA, 2023).

Necrosis hematopoyética infecciosa (NHI):

La infección por el virus de la necrosis hematopoyética infecciosa (IHNV) es una infección por el agente patógeno denominado novirhabdovirus de los salmónidos que pertenece al género Novirhabdovirus, familia Rhabdoviridae. Según el Manual Acuático de la Organización Mundial de Sanidad Animal (OMSA), dependiendo de la especie de pez infectado, las condiciones de cría, la temperatura y la cepa del virus, los brotes de infección por IHNV pueden variar de agudos a crónicos. Los

peces con infección aguda pueden presentar letargo intercalado con episodios de actividad frenética y anormal. Durante los brotes, los peces pueden mostrar natación en espiral, movimientos súbitos y un arrastre de heces fecales. Los peces también pueden presentar oscurecimiento de la piel, exoftalmia, abdomen distendido y hemorragia externa. En los casos en que los peces sobreviven a un brote, pueden hacerse evidentes deformidades de la columna (OMSA, 2023).

Enfermedades Bacterianas de mayor importancia sanitaria en la trucha arcoíris

Enfermedad entérica de la Boca Roja:

La yersiniosis es una importante enfermedad bacteriana, aguda o crónica en la cría intensiva de salmónidos. El agente etiológico es *Yersinia ruckeri;* los signos de la enfermedad son el oscurecimiento corporal y hemorragia de la boca, la piel, el ano y las aletas. Los signos crónicos se asocian con inapetencia, exoftalmia, inflamación y cambios degenerativos de órganos internos. Las tasas de mortalidad son variables, pero se exacerban con la mala calidad del agua y el estrés relacionado. Los peces que sobreviven quedan como portadores y pueden eliminar bacterias de forma cíclica, en particular cuando están expuestos a condiciones estresantes y a temperaturas del agua de 15-18 °C (Winter & Moses, 2022).

En México, se informó un caso de yersiniosis en el año 2000 en juveniles de trucha arcoíris, 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 ha sido aislada de truchas que no mostraron signos de enfermedad (Alcántara-Jauregui *et al*., 2022).

Las enfermedades causadas por bacterias del género *Flavobacterium* son muy comunes en la piscicultura; las 3 principales especies que afectan a peces son *Flavobacterium columnare, F. branchiophilum* y *F. psychrophilum*

Enfermedad Bacteriana del agua fría (BCWD), Síndrome del alevín de la trucha arcoíris (RTFS) o enfermedad del pedúnculo:

El RTFS es causado por *Flavobacterium psychrophilum,* esta enfermedad es más grave a temperaturas del agua de 4-10 °C, y no deberían observarse signos a temperaturas >18 °C. Las lesiones cutáneas suelen comenzar en la superficies dorsal y posterior del pez, pero pueden encontrarse en cualquier parte del cuerpo. Los casos avanzados muestran necrosis y ulceración del pedúnculo, y la musculatura subyacente quedara expuesta. A medida que la enfermedad progresa, la infección se vuelve sistémica afectando por lo general al bazo al riñón y al hígado (Winter & Moses, 2022).

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 (Alcántara-Jauregui *et al*., 2022).

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 (Alcántara-Jauregui *et al*., 2022).

En el primer antecedente de *Flavobacterium* spp. en peces de México, 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; 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, indicando

que la bacteria tendría su origen en la importación de huevo oculado. 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 (Alcántara-Jauregui *et al*., 2022).

Enfermedad bacteriana del riñón (Bacterial Kidney Disease -BKD):

Es una enfermedad económicamente importante en la cría de salmónidos. El agente causal es *Renibacterium salmoninarum*, una bacteria intracelular obligada que es uno de los relativamente pocos organismos Gram positivos que causa enfermedades en los peces. Es una enfermedad crónica que afecta a los juveniles (6-12 meses de edad) y a los adultos antes del desove, con signos clínicos muy similares a los de la micobacteriosis. Clínicamente los peces infectados se muestran letárgicos y de color oscuro y pueden presentar distensión celómica, branquias pálidas y hemorragias en la cloaca. Las lesiones típicas incluyen granulomas grisáceos, localizados o agrupados en las vísceras, especialmente en el riñón o en la pared corporal; exoftalmos; ceguera; cavidades quísticas en la musculatura; y emaciación (Winter & Moses, 2022).

En México no hay reportes de la presencia de la enfermedad, Zamudio-Negrete *et al*., (2013), presentaron un trabajo de investigación basado en la técnica de ELISA donde se muestrearon granjas de trucha del estado de México, concluyendo esta bacteria no se encuentra en las zonas analizadas.

Es importante no confundir la lesión principal de esta enfermedad con la nefrocalcinosis, una enfermedad no infecciosa relacionada con la exposición a altos niveles de CO_2 durante la fase de cultivo en agua dulce en el caso de los salmónidos. Otras causas que se han descrito asociadas a esta condición son la

intoxicación por selenio y deficiencia de magnesio. Histopatológicamente a nivel de riñón posterior se observa presencia de depósitos basófilos en los túbulos renales y ductos colectores que corresponden a precipitados de calcio, cambios degenerativos glomerulares y del epitelio tubular. En casos crónicos se observa fibrosis del tejido y formación de granulomas (Godoy, M. 2009).

Weissellosis por *Weissella ceti:*

El género *Weissella* comprende 23 especies de bacterias acido lácticas (BAL), cocobacilos Gram-positivos, catalasa y oxidasa negativas, no esporuladas, inmóviles, anaerobias facultativas de metabolismo fermentativo. 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 (Alcántara-Jauregui *et al*., 2022).

En animales, *Weissella ceti* causa la "weissellosis", una enfermedad septicémica emergente que provoca alta mortalidad en cultivos de trucha arcoíris. 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, pudiendo desaparecer en invierno, pero se ha comprobado que es recurrente. Aunque se considera una patología de peces mayores a 100 g, se ha informado que puede afectar peces de cualquier etapa de producción (Alcántara-Jauregui *et al*., 2022).

En México, Castrejón-Nájera *et al., (*2018), publicaron el primer caso de weiselosis en trucha arco iris cultivada a finales de 2015. El brote de enfermedad provocó una tasa de mortalidad del 60% entre los 20.000 peces enfermos. La trucha arcoíris (100-300 g promedio) exhibió caquexia severa, oscurecimiento del cuerpo, distensión abdominal, exoftalmia, hemorragias y opacidad corneal. Internamente,

los peces enfermos tenían branquias pálidas, manchas blanquecinas diseminadas multifocales en el hígado, hemorragias en la vejiga natatoria, el ovario y en la superficie parietal del músculo, y corazones con formación de pseudomembrana. Histológicamente las lesiones se caracterizaron por edema corneal, hepatitis degenerativa y necrótica y meningitis. Se identificó un aislado de cerebro (W-1) y riñón (W-2) como *W. ceti* mediante análisis polifásico, taxonomía, que incluía caracterización fenotípica y secuenciación de ARNr 16S (Castrejón-Nájera, *et al*., 2018)

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 weissellosis presenta signos similares a otras enfermedades causadas por bacterias Gram-positivas (Alcántara-Jauregui *et al*., 2022).

Furunculosis:

El agente causal es *Aeromonas salmonicida*. En la forma aguda de la enfermedad, se observan hemorragias en las aletas, cola, músculos, branquias y órganos internos de los peces. En las formas más crónicas, se pueden observar zonas localizadas de inflamación, hemorragia y necrosis tisular en los músculos. Estas lesiones evolucionan a abscesos crateriformes que descargan desde la superficie de la piel. En el bazo y riñón se produce necrosis por licuefacción (Winter & Moses, 2022).

En México, *Aeromonas* spp. han sido aisladas e identificadas de peces clínicamente enfermos y sanos. Un primer registro de enfermedad bacteriana en peces de México informó de ascitis infecciosa en carpa común, atribuida a *Aeromona* spp. y *Pseudomona* 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 (Alcántara-Jauregui *et al*., 2022).

En un estudio basado en 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.

Salgado-Miranda *et al.,* (2010) 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 (Alcántara-Jauregui *et al*., 2022).

Lactococosis

La lactococosis es una enfermedad septicémica hemorrágica hiperaguda, considerada emergente en la piscicultura mundial causada por bacterias Grampositivas del género *Lactococcus*, que se ha informado afectando no únicamente a peces de cultivo, sino también a camarones y otras especies de peces de ambientes de agua dulce y salina a temperaturas del agua superiores a 15 °C (Ortega *et al*., 2020).

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 weiselosis. Sin embargo, estudios posteriores confirmaron a *L. garviae* como agente causal (Alcántara-Jauregui *et al*., 2022). Posteriormente, estudios moleculares confirmaron a la bacteria responsable de los casos como *L. petauri* (Shahin *et al*., 2022).

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 (Alcántara-Jauregui *et al*., 2022).

2.2. La lactococosis

La lactococosis es una importante enfermedad reemergente que afecta seriamente la sostenibilidad de la industria piscícola, particularmente causada por la bacteria Gram positiva *Lactococcus garvieae* (Soltani *et al.*, 2021). Afecta a muchas especies de peces y causa importantes pérdidas económicas tanto en la acuicultura marina como en la de agua dulce cuando la temperatura del agua aumenta por encima de los 16 °C en los meses de verano. Normalmente, causa una septicemia hiperaguda y hemorrágica (Vendrell *et al.*, 2006).

Lactococcus petauri tiene algunas diferencias genéticas con *L. garvieae;* crece entre 6 y 40 °C, mientras que *L. garvieae* crece entre 4 y 45 °C. Después de la descripción de *L. petauri* en 2017, la especie también se identificó como agente patógeno para la trucha arcoíris, que anteriormente se describió como *L. garvieae* en la costa turca del Mar Negro en 2011, pero se caracterizó además como *L. petauri*. Estudios han demostrado que el agente responsable de los brotes de lactococosis en trucha arcoíris observados en 2007 y 2011, inicialmente identificado como *L. garvieae,* realmente correspondió a *L. petauri* (Duman *et al.*, 2023).

En un primer y único informe de *L. piscium* como causa de enfermedad en peces, se logró aislar a esta bacteria de truchas arcoíris afectadas, denominada enfermedad pseudo-renal. Hasta donde se sabe, nunca se ha demostrado la participación directa de la bacteria como agente patógeno de los peces debido a que no hay evidencia de patogenicidad para las cepas aisladas. La bacteria tampoco se ha vuelto a aislar ni a identificarse mediante técnicas independientes de cultivo de la microbiota intestinal de peces (Soltani *et al.*, 2021).

El único informe de infección por *L. raffinolactis* en peces se ha reportado como comensal o como patógeno oportunista, pero no hay más datos sobre su función patógena en los peces (Soltani *et al.*, 2021).

2.3. Distribución.

La lactococosis es una enfermedad mundialmente distribuida; tiene alta capacidad para adaptarse y sobrevivir en muchas condiciones ambientales, lo que le confiere características para tener amplia distribución geográfica; ha sido aislado de diferentes animales acuáticos y terrestres, de ríos y aguas residuales y de diferentes alimentos y piensos (Soltani *et al*, 2021). En México, fue detectada en el año de 2016, inicialmente asociada a *L. garvieae* (Ortega *et al*., 2020); estudios moleculares realizados posteriormente a algunos de los aislados previamente descritos como *L. garvieae*, confirmaron ser *L. petauri* (Shahin *et al*., 2022).

2.4. Impacto económico.

Lactococcus spp. pueden invadir una amplia gama de especies de peces tanto en aguas cálidas como frías, así como especies de agua dulce como de agua marina, incluyendo anguila japonesa (*Anguilla japonica*), tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*), lábrido rojo (*Coris aygula*), pez pinta (*Pseudoplathystoma corruscans*), lenguado oliva (*Paralichthys olivaceous*), pez limón (*Seriola dumerili*), pez rey (*Seriola quinqueradiata*), trucha arcoíris, salmonete (*Mugil cephalus*), bagre (*Silurus glanis*); también se ha informado afectando al camarón de agua dulce (*Macrobrachium rosenbergii*), delfín mular (*Tursiops truncatus*) y pulpo común (*Octopus vulgaris*) en todo el mundo (Soltani *et al.*, 2021).

En la piscicultura mundial se han reportado grandes pérdidas económicas causadas por enfermedades infecciosas, en el año 2018, la pérdida anual de ingresos debido

a enfermedades alcanzó hasta 6 mil millones de USD (Assefa & Abunna, 2018). Sin embargo, estos cálculos son una estimación aproximada y, por lo tanto, es crucial enfatizar que no existe una estimación anual real de las pérdidas económicas. Incluso en el caso de una enfermedad infecciosa individual, como la lactococosis, no hay datos calculados que presenten una pérdida estimada. Sin embargo, su impacto económico en peces de cultivo es muy alto.

La pérdida anual causada por los brotes de enfermedades en la trucha de cultivo en Irán se ha estimado en aproximadamente 23 millones de dólares, lo que está asociado con ciertos factores predisponentes, como la mala gestión sanitaria y la mala calidad del agua en este país. Incluso en países desarrollados, como Japón, las pérdidas económicas causadas por enfermedades infecciosas, incluida la lactococosis, superaron los 20 000 millones de yenes (180 millones de dólares) antes de 1996. Por lo tanto, la pérdida anual estimada por *Lactococcus* spp. en peces de cultivo es una incógnita que requiere una evaluación necesaria a nivel mundial (Soltani *et al.*, 2021).

2.5. Importancia sanitaria.

La lactococosis es una enfermedad en la que es frecuente la recurrencia, asociado a la temperatura del agua de cultivo, y en donde pese a que se realicen acciones de tratamiento, la infección puede volver a inducir enfermedad clínica. Para su control, se han utilizado antibióticos, como eritromicina, espiramicina, kitasamicina, josamicina (antibióticos macrólidos), oxitetraciclina, doxiciclina, enrofloxacina, florfenicol, lincomicina y amoxicilina. Sin embargo, uno de los problemas con los agentes antibacterianos utilizados, es que exhiben una buena función *in vitro* hacia *L. garvieae*, pero su uso en granjas de peces no se ha mostrado satisfactorio, debido a la pérdida de apetito de los peces afectados o puede deberse a un metabolismo ineficaz de los antibióticos en los peces enfermos (Soltani *et al.*, 2021).

Un problema posterior con el tratamiento quimioterapéutico de la lactococosis en la acuicultura es el aumento de la resistencia bacteriana, y se ha informado con frecuencia de la resistencia múltiple a eritromicina, lincomicina y oxitetraciclina en aislamientos acuáticos de *L. garvieae* o a la clindamicina, ampicilina y gentamicina en aislamientos humanos. Así mismo, se ha informado del desarrollo de plásmidos R aislados de *L. garvieae* resistentes a la eritromicina, lincomicina y oxitetraciclina, macrólidos, lincomicina y tetraciclina o cloranfenicol (Soltani *et al.*, 2021).

Las frecuentes reinfecciones de la lactococosis también son otra limitación y restricción con esta enfermedad, debido a la formación de tejido de granulación en diferentes órganos que hace que el tratamiento se vuelva temporal. Además, un tratamiento frecuente de peces enfermos puede causar una acumulación de antibióticos en la carcasa del pez, lo que plantea un problema de salud pública. Además, la liberación de los fármacos en los ecosistemas acuáticos puede aumentar el desarrollo de resistencia bacteriana (Soltani *et al.*, 2021).

Lactococcus garvieae fue inicialmente identificado como agente causal de mastitis subclínica en ganado, y también es conocido como agente de infección en otros procesos como neumonía en rumiantes y cerdos. Así mismo, la implicación de *L. garvieae* en infecciones clínicas humanas ha sido demostrada, y durante los últimos años se han reportado varios tipos de infecciones por *L. garvieae* a través de la manipulación e ingestión de pescado crudo, elevando el estatus de la enfermedad como un agente zoonótico emergente (Soltani *et al.*, 2021).

Los pacientes humanos afectados por *Lactococcus* spp. presentan endocarditis, bacteriemia, infección de prótesis de cadera, colecistitis, meningitis, infección urinaria, espondilodiscitis, osteomielitis, absceso hepático, peritonitis o bacterioascitis. En el caso de la endocarditis infecciosa humana, hasta 2019 se han reportado en la literatura más de veinticinco casos de *L. garvieae* como causa de endocarditis infecciosa y en comparación con otros cocos Gram-positivos, *L. garvieae* afecta con mayor frecuencia a pacientes (16%) con válvulas protésicas en

comparación con la endocarditis infecciosa (15,7%) causada por miembros estreptocócicos. Este agente puede transmitirse de productos acuáticos a humanos; por lo tanto, el papel de la transmisión a través de los alimentos sigue siendo una ruta importante de transmisión de enfermedades a los humanos, ya que algunas cepas de *L. garvieae* con origen en pescado o mariscos son responsables de infecciones humanas (Soltani *et al.*, 2021).

Estudios han demostrado que la especificidad de huésped es esencial para aclarar el vínculo entre la aparición de la enfermedad en especies de acuicultura e infecciones humanas, especialmente en las regiones donde los agricultores cultivan especies de peces altamente susceptibles, como la trucha arcoíris. Por ejemplo, de 64 muestras de trucha arcoíris fresca recolectadas de un mercado de pescado en Irán, el 23,43% (15 muestras) fueron positivas para *L. garvieae* en sus órganos internos o musculares.

En general, a pesar de su papel principal como patógeno bacteriano de peces, las evidencias de septicemia, endocarditis y osteomielitis causadas por *L. garvieae* en humanos plantean el consumo de pescado infectado como un factor de riesgo importante para humanos, por lo que en las poblaciones de peces en las que se presenta la enfermedad se deben realizar las atenciones necesarias antes de ofrecer el pescado para el consumo humano (Soltani *et al.*, 2021).

2.6. El agente

Inicialmente, *Lactococcus garvieae* fue llamado *Streptococcus garvieae*, cuando fue aislado de un caso de mastitis bovina en el Reino Unido, y el aislado fue seleccionado como cepa de referencia (ATCC 43921) para estas especies. Estreptococos lácticos del género *Streptococcus* fueron asignados a un nuevo género, *Lactococcus*, en 1985. En 1988, una bacteria aislada del primer brote de lactococosis en España en la trucha arcoíris fue descrita como *Enterococcus spp*,

pero luego fue identificado como *L. garvieae* basado en características bioquímicas. Cocos Gram-positivos sudafricanos, inicialmente descritos como *Streptococcus spp*. fueron reclasificados recientemente como *Enterococcus spp*. y como *L. garvieae* basado en la secuenciación ribosomal 16S de ARN (ARNr). Los avances recientes en las tecnologías de secuenciación de última generación han contribuido a un aumento constante en la publicación de numerosas secuencias completas y parciales; algunas secuencias de *L. garvieae* descritas en la última década se listan en la Tabla 2 (Meyburgh *et al.*, 2017).

Strain	Source	Geographical origin	Accession no.	Reference
21881	Human blood	Spain	AFCC00000000	Aguado-Urda et al. (2011b)
8831	Rainbow trout	Spain	AFCD00000000	Aguado-Urda et al. (2011a)
ATCC 49156	Yellowtail	Japan	AP009332	Morita et al. (2011)
Lg2	Yellowtail	Japan	AP009333	Morita et al. (2011)
UNIUD074	Rainbow trout	Italy	AFHF00000000	Reimundo et al. (2011)
DCC43	Mallard duck intestines	Norway	AMQS00000000	Gabrielsen et al. (2012)
IPLA 31405	Raw-milk cheese	Spain	AKFO01000000	Flórez et al. (2012)
LG9	Rainbow trout	Italy	AGQY00000000	Ricci et al. (2012)
TB25	Cheese	Italy	AGQX00000000	Ricci et al. (2012)
I113	Pork sausage	Italy	AMFD00000000	Ricci et al. (2013)
Tac2	Turkey meat	Italy	AMFE00000000	Ricci et al. (2013)
122061	Yellowtail	Japan	AP017373	Nishiki et al. (2016)
PAQ102015-99	Rainbow trout	USA	LXWL00000000.	Nelson et al. (2016)

Tabla 2: Secuencias del genoma completo de *Lactococcus garvieae* disponibles en la base de datos NCBI (www.ncbi.nlm.nih.gov/) (Meyburgh *et al*., 2017).

Lactococcus spp. es una bacteria Gram positiva, anaeróbica facultativa, no móvil, que no produce endosporas. Es generalmente descrita como una bacteria α-hemolítica, pero se ha señalado como β-hemolítico. Los aspectos fenotípicos, fisiológicos y las propiedades bioquímicas de *L. garvieae* se enumeran en la Tabla 3 (Meyburgh *et al.*, 2017).

Property	Reaction	Property	Reaction
Cell morphology	Ovoid cocci	**Production of:**	
Gram stain	+	Arginine	+
Motility	–	Ornithine	–
Growth:	+	Lysine	–
4°C	+	**Acid from:**	
20°C	+	Glycerol	–
37°C	+	Raffinose	–
45°C	+	Arabinose	–
pH 9.6	+	Sorbitol	+
6.5% NaCl	+	Mannitol	+
Haemolysis	α–	Cellobiose	+
Catalase	–	Galactose	+
Oxidase	–	D-Glucose	+
TSI	A/A–	Maltose	+
Oxidative/ fermentative	F	Trehalose	+
		D-Mannose	+
Nitrate reduction	–	Inositol	–
Citrate	–	Lactose	(+)
Urea	–	Ribose	V
Indole production	–	Sucrose	V
Esculin	+	Adonitol	–
Voges-Proskauer	+	Glycogen	–
H_2S production	–	Melibiose	–
Arginine dihydrolase	+	Melezitose	–
Pyrrolidonyl arylamidase	+	Starch	–
		Tagatose	V
Alkaline phosphatase	–	L-Rhamnose	–
β-Glucuronidase	V	D-Xylose	–
Leucine arylamidase	+	Salicin	+
Sodium hippurate hydrolysis	–		

Tabla 3. Características fenotípicas de *Lactococcus garvieae,* TSI: triple azúcar hierro; V: reacción variable; (): reacción débil o lenta; A/A−: acidificación del medio (Vendrell *et al*. 2006).

2.7. Aislamiento del agente

El crecimiento de *Lactococcus* spp. se produce en forma de cocos Gram positivos y en cadenas cortas y en pares (Fig. 4) a temperaturas que oscilan entre 4 y 45 °C. El crecimiento óptimo ocurre a 37 °C, la bacteria crece rápidamente en medios enriquecidos como caldo tripticasa-soja, agar bilis-esculina y en caldo de infusión cerebro-corazón, pero el crecimiento se inhibe en agar McConkey y agar Enterococcus (Meyburgh *et al.*, 2017). *L. petauri* crece entre 6 y 40 °C (Duman *et al.*, 2023).

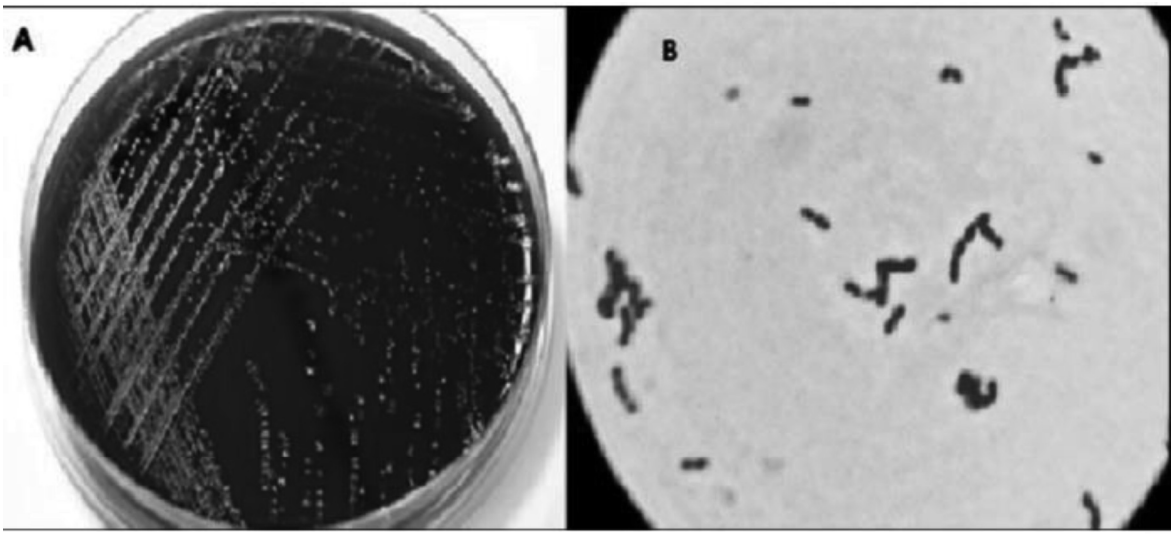


Fig. 4: (A) Crecimiento de pequeñas colonias grisáceas de *Lactococcus garvieae* en una placa de agar sangre después de 24 h de incubación a 35 ºC en condiciones aeróbicas. (B) Tinción de Gram de *Lactococcus garvieae*, se aprecian cocáceas grampositivas, dispuestas en cadenas cortas y en pares. (Clavero *et al.,* 2017)

2.8. Patología.

Los peces afectados por la infección por *L. garvieae* y *L. petauri*, inicialmente se tornan relativamente anoréxicos, con un oscurecimiento visible de la piel, mostrando movimientos lentos y comportamientos anormales, como natación errática y en espiral. En las últimas etapas de la enfermedad, los peces afectados muestran abdomen abultado, prolapso anal, exoftalmia lateral o bilateral, cataratas, congestión de los órganos internos, agrandamiento del bazo e hígado, acumulación

de líquido ascítico turbio en la cavidad peritoneal y presencia de exudado en el cerebro. También se pueden observar hiperemia aguda y/o hemorragia extensa y petequias de los órganos, incluidas las capas mucosas del intestino, y en algunos casos los peces enfermos muestran signos de explosión en los ojos antes de su pérdida (Soltani *et al.*, 2021).

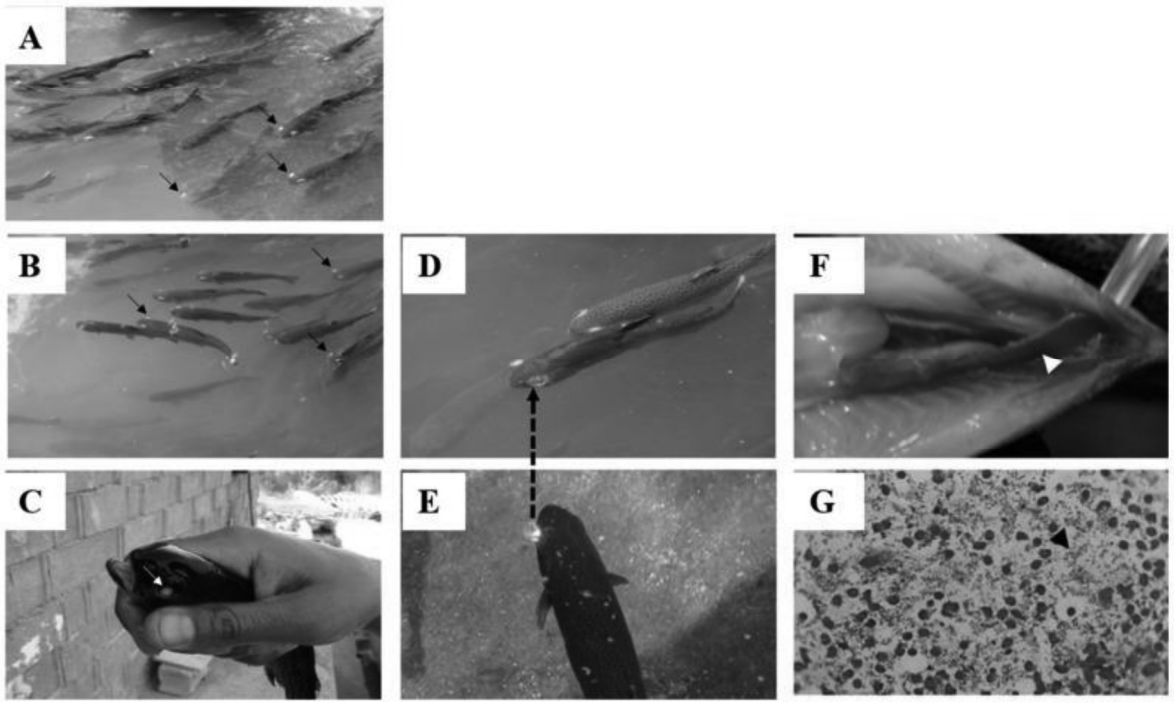


Fig. 5: Trucha arco iris creciendo en canales y afectada por *L. garvieae* mostrando: (A) exoftalmia bilateral típica y ningún cambio en el color de la piel, (B) exoftalmia bilateral típica y comienzo del cambio de color de la piel, (C) catarata típica y color oscuro, (D) exoftalmia bilateral y pérdida completa del ojo, (E) oscurecimiento del cuerpo y explosión del ojo, (F) hemorragia del intestino, (G) preparación de tinción de Gram directa del bazo de peces enfermos que muestra un gran número de células cocoides Gram positivas confirmadas como *L. garvieae* por fenotipado y trabajos moleculares (Soltani *et al*., 2021).

Histológicamente, se aprecia pericarditis, peritonitis y meningitis, hemorragia difusa en la esclerótica del ojo, necrosis focal en el bazo y acúmulos de bacterias, hemorragia en la serosa de la vejiga natatoria y en el intersticio de músculos esqueléticos, degeneración y necrosis en epitelios de las glándulas del estómago y sus lúmenes llenos de material necrótico. Los cambios vasculares en el bazo, riñón

y la degeneración en el epitelio tubular con un aumento de los centros melano-macrófagos, hemorragia en forma de hematoma que cubre el miocardio y el bulbo arterioso, hemorragia petequial, cambio vascular, degeneración y necrosis son hallazgos histopatológicos importantes. La infiltración de lípidos y elastina en el hígado, hemorragia y cambios vasculares en los músculos, y hemorragia petequial y edema en las branquias son otros cambios microscópicos también reportados. Sin embargo, la gravedad de tales cambios patológicos varía y depende de varios factores, incluido el nivel de virulencia de la cepa bacteriana, la especie y el tamaño del pez, las condiciones de manejo de la salud, y la temperatura del agua (Soltani *et al.*, 2021).

2.9. Factores de virulencia

Los factores de virulencia son productos o subproductos que le confieren a los microorganismos la capacidad o facilidad para invadir los tejidos de un huésped o para causar daños; para el caso de *Lactococcus spp.,* los principales factores de virulencia que son sus toxinas, algunas cepas producen capsula y tienen mecanismos de adhesión al tejido del huésped; cuando el sistema inmunitario no es capaz de luchar, neutralizar o eliminar estos factores es cuando se produce la enfermedad clínica en los animales infectados.

2.9.1 Toxinas

La toxigénesis juega un papel crucial en los procesos patológicos de varias bacterias Gram-positivas. Los primeros estudios sobre toxinas de *Streptococcus* spp. aislado de jurel (*Seriola* spp.), (presumiblemente *Lactococcus garvieae*), mostró la presencia de una toxina hemolítica en el sobrenadante del cultivo. Las mortalidades causadas por inyección intramuscular de esta toxina fueron bajas (<20%), pero los síntomas característicos de estreptococosis como exoftalmia,

hemorragia ocular y enrojecimiento de la base de aleta fueron muy notables. Una toxina intracelular mostro una actividad leucocida débil (<44%), que fue responsable de tasas de mortalidad más altas de hasta el 60% a la inyección intramuscular (Kusuda & Hamaguchi 1988). Un estudio identificó y caracterizó 5 plásmidos circulares en un aislado clínico de *L. garvieae* cepa 21881. Se demostró que el mayor de estos plásmidos (68798 pb), pGL5, codifica supuestos factores de virulencia, incluida una proteína que posee el dominio enzimático correspondiente a la familia de actina-ADP-ribosiltransferasa (Meyburgh *et al.*, 2017).

La ADP ribosiltransferasa bacteriana es una toxina que mata las células eucariotas transfiriendo ADPribosa a proteínas esenciales, lo que contribuye a la virulencia en una variedad de patógenos. Sin embargo, la toxicidad de esta proteína aún se encuentra bajo estudio experimental (Meyburgh *et al.*, 2017).

2.9.2 Evasión de mecanismos inmunológicos

Desde hace tiempo se sabe que la virulencia de *L. garvieae* es influenciada en gran medida por la formación de cápsulas. La encapsulación contribuye a la virulencia de bacterias tanto en Gram positivos como en Gram negativos de distintas maneras; por ejemplo, confiriendo resistencia a la fagocitosis y exhibiendo mimetismo molecular del tejido huésped. Aunque la cápsula de polisacárido es ampliamente considerada como un importante factor de virulencia de *L. garvieae*, se ha informado que las cepas no encapsuladas Lgper y ATCC 49156 son patógenas para la trucha arcoíris y causan 98% y 90% de mortalidad, respectivamente. Sin embargo, en la cepa ATCC 49156 fue demostrado ser menos virulento por exposición a inmersión en comparación con la inyección intraperitoneal (12% y 90% de mortalidad relacionada con la enfermedad, respectivamente). Estos resultados sugieren que la presencia de la cápsula de polisacárido no puede correlacionarse directamente con patogenicidad. El grupo de genes capsulares consta de 15 genes, de los cuales 8 (eps-R, -X, -A, -B, -C, -D y cps-L, -W) se conservan en el grupo de genes de

biosíntesis de exopolisacáridos (EPS) de 4 cepas de *L. lactis* aisladas de muestras fecales humanas (Meyburgh *et al.*, 2017).

La protección contra aislados encapsulados fue proporcionada por inmunización pasiva de trucha arcoíris con antisuero específico contra *L. garvieae*, lo que llego a especular que los anticuerpos específicos mejoran la fagocitosis y la actividad bactericida de los macrófagos. De hecho, demostraron que las propiedades antifagocíticas de la cápsula de polisacárido pueden superarse en presencia de anticuerpos específicos (Meyburgh *et al.*, 2017).

2.9.3 Mecanismos de adhesión

Tanto las bacterias comensales como las patógenas expresan adhesinas para facilitar la unión a los receptores de la célula huésped. Se han identificado genes que codifican 2 supuestas proteínas de superficie que contienen un motivo de clasificación de la pared celular asociado con la unión covalente al peptidoglicano, LPXTG (Leu-Pro-any-Thr-Gly), en el plásmido pGL5 de un aislado clínico de *L. garvieae* (21881); el gen Orf5 codifica una proteína que contiene 3 dominios de proteína de unión a mucina, además de un motivo de clasificación de la pared celular (LPQTG) en el extremo carboxi terminal, lo que sugiere que la proteína Orf5 podría ayudar en la adhesión de *L. garvieae* mediante la interacción con los receptores de la mucosa. Otra supuesta proteína de la superficie celular, codificada por Orf25, contiene un dominio de unión a colágeno que podría permitir la adhesión de la bacteria a los tejidos colágenos del huésped. En 34 aislados de *L. garvieae* patógenos para peces se han descubierto a varios supuestos genes de virulencia; los genes que codifican adhesina Pav (adhPav) y adhesina PsaA (adhPsaA), LPxTG que contiene proteínas de superficie 2 y 3 (LPxTG-2, -3) y grupos de adhesina 1 y 2 (adhCI, adhCII) estuvieron presentes en todos los aislados analizados (Meyburgh *et al.*, 2017).

2.10. Tratamiento.

Los antibióticos se han utilizado ampliamente para tratar de controlar las infecciones bacterianas de peces, incluyendo las estreptocócicas. La administración de estos productos generalmente se realiza por vía oral mediante la mezcla del antibiótico con piensos especialmente formulados. Los agentes antimicrobianos muestran una fuerte actividad *in vitro* contra *L. garvieae*, pero no funcionan de igual manera en condiciones de campo debido a la anorexia de los peces infectados y posiblemente el metabolismo ineficaz de los antibióticos en los peces.

Antibióticos como la Lincomicina, oxitetraciclina y macrólidos (eritromicina, espiramicina, kitasamicina y josamicina) se han utilizado ampliamente para tratar la lactococosis en peces de cultivo. En la trucha arcoíris, la eritromicina, la oxitetraciclina, la amoxicilina y la doxiciclina en niveles bajos se utilizan principalmente para tratar los brotes de lactococosis (Meyburgh *et al.*, 2017).

Una preocupación latente es la resistencia que la bacteria ha adquirido a lo largo de los años por el uso indebido de los antibióticos, en un artículo recientemente publicado en Brasil por Rosário *et al.,* 2024. Se evaluaron los perfiles de resistencia a los antimicrobianos de L. garvieae, L. formosensis y L. petauri, observándose una variación interespecie. Se observó un mayor porcentaje de resistencia a varios antimicrobianos entre los aislados evaluados, especialmente para L. petauri, incluyendo cepas multirresistentes. Se ha observado resistencia a florfenicol y oxitetraciclina entre cepas de Lactococcus spp. obtenidas de peces nativos en Brasil (Rosário, *et al.,* 2024)

2.11. Prevención y control

La prevención mediante vacunación se considera la mejor opción para controlar la lactococosis, pero aún existen varias limitaciones con las vacunas disponibles, por ejemplo, limitación de la duración de la inmunización, vacunas locales o regionales

requeridas que utilizan diferentes cepas de la bacteria (vacunas autógenas) y ninguna eficacia fuerte por vacunación por baño en comparación con la vía de inyección (Soltani *et al.*, 2021).

En un estudio realizado por de Ruyter *et al.,* 2023 se llevó a cabo la inmunización mediante inyección intracelómica (IC) o rutas de inmersión (Imm) solamente teniendo como resultados que;

La vacuna inyectable confirió protección significativa contra la lactococosis inducida por *L. petauri* en comparación con los otros tratamientos, lo que resultó en un RPS (porcentaje relativo de supervivencia) del 89,5% ($p < 0,001$).

La vacuna Imm confirió una protección significativa, aunque limitada, contra *L. petauri*, resultando en un RPS del 28%, pero una supervivencia significativamente mayor en comparación con el grupo de control positivo ($p = 0,0006$).

En conclusión, este estudio demuestra que la inyección IC única y las vacunas Imm producen niveles significativos de protección contra *L. petauri* en desafíos de laboratorio, aunque la vacunación con la vacuna de inyección IC fue mucho más efectiva en la protección de la trucha arcoíris contra *L. petauri* que la vacuna Imm, con valores de RPS de 89.5 vs. 28%. En ensayos de cohabitación con truchas infectadas, la combinación de vacunación primaria Imm y refuerzo de inyección IC produjo la mayor supervivencia (97.5%). Los resultados demuestran el potencial del uso de vacunas autógenas para proteger contra pérdidas por lactococosis inducida por *L. petauri* en truchas arcoíris y representan un inicio para el desarrollo de una metodología de inmunización efectiva. Sin embargo, se necesita más investigación para dilucidar un esquema de vacunación "ideal" susceptible de adopción por la industria de la trucha que resulte en protocolos de vacunación seguros, económicos y logísticamente sólidos (Ruyter *et al.,* 2023).

III. Justificación

El presente trabajo se realizó para describir el comportamiento clínico de un brote de lactococosis en trucha arcoíris en una unidad de producción del Estado de Michoacán, y para conocer los resultados de las acciones que se llevaron a cabo como medidas para controlar la enfermedad, a manera de que esta experiencia clínica pueda utilizarse como guía para los productores de trucha ante la eventual aparición de este patógeno en sus UPT. Esto porque la lactococosis es una enfermedad muy complicada con tendencia a la recurrencia por factores poco claros, por lo que es importante conocer las diferentes posibles estrategias de control y los tratamientos que se pueden emplear una vez que se presenta un brote en las unidades de producción, ya sea debido a alguna falla en el seguimiento de las buenas prácticas de producción acuícola, o bien de manera abrupta asociado a variaciones ambientales. En cualquier caso, será necesario comprender el proceso de la ocurrencia de la enfermedad para poder solucionar el problema de la forma más rápida y concisa posible, evitando o disminuyendo pérdidas en la producción que afecten severamente al productor.

IV. Objetivo

Describir la presentación clínica y el comportamiento de un caso de lactococosis ocurrido en una unidad de producción de trucha arcoíris localizado en la localidad de Aputzio de Juárez, municipio de Zitácuaro, Michoacán, haciendo énfasis en cómo se desarrolló la enfermedad, su evolución ante las acciones que se tomaron y los resultados obtenidos.

V. Material y Método

Material para consulta:

- Computadora
- Internet
- Revistas científicas
- Buscadores electrónicos
- *Bases de datos especializadas*

Para elaborar el trabajo escrito, se realizó una búsqueda en las diferentes fuentes de información como artículos científicos, revistas digitales, en las diferentes plataformas como Pub Med, Google scholar y se seleccionó la información más relevante a través de palabras clave tales como lactococosis, trucha arcoíris, *Lactococcus petauri*, *Lactococcus garvieae,* enfermedades de las truchas, buenas prácticas de producción acuícola. El trabajo incluye los siguientes temas, basados en las referencias de literatura reciente y veraz acerca del tema de lactococosis en la trucha arcoíris.

Los temas que integran el presente trabajo son los siguientes:

1. ¿Qué es la lactococosis?
2. Distribución.
3. Impacto económico.
4. Importancia sanitaria.
5. Patología.
6. Factores de virulencia

6.1 Toxinas

6.2 Evasión de mecanismos inmunológicos

6.3 Mecanismos de adhesión

7. Tratamiento.
8. Prevención y control
9. Buenas prácticas en producción acuícola

VI. Límite de Espacio

El presente trabajo se realizó en las instalaciones del Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Salud Animal (CIESA), ubicado en Km 15.5 de la carretera Toluca-Atlacomulco, CP. 50295, San Cayetano Morelos, Toluca, Estado de México. Sus coordenadas son; Latitud (dec) 19.399170, Longitud (dec): -99.712927



Fig. 6: Ubicación del Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Salud Animal (CIESA) *(Google Maps, 2025)*

VII. Límite de Tiempo

El presente trabajo se realizará conforme a lo descrito en el siguiente cronograma:

ACTIVIDAD	FECHA
Inicio de elaboración de protocolo	junio 2024
Investigación bibliográfica	junio - septiembre 2024
Revisión y corrección de protocolo	junio - octubre 2024
Registro de protocolo	noviembre 2024
Elaboración de la tesina	diciembre 2024 – agosto 2025
Revisión de la tesina	septiembre – octubre 2025
Aprobación de la tesina	noviembre 2025

VIII Resultados

8.1 Unidad de producción "Las Pilas"

La Unidad de producción y procesamiento primario de trucha arcoíris "LAS PILAS", está ubicada en la localidad de Aputzio de Juárez, perteneciente al municipio de Zitácuaro, Estado de Michoacán. Geográficamente, se encuentra en la latitud 19°21'21"N, longitud 100°21'21"W a una altura de 2,024 m. s. n. m. Esta Unidad comenzó actividades de producción en el año de 1995; su máximo nivel de producción ha sido de 6 toneladas de producto al año. La Unidad consta de 17 estanques de concreto de distintos tamaños divididos internamente en 4 secciones (Figuras 7 y 8); su abastecimiento de agua es de un manantial ubicado en la misma unidad de producción, que en promedio mantiene temperatura de entre 16 a 18 °C.

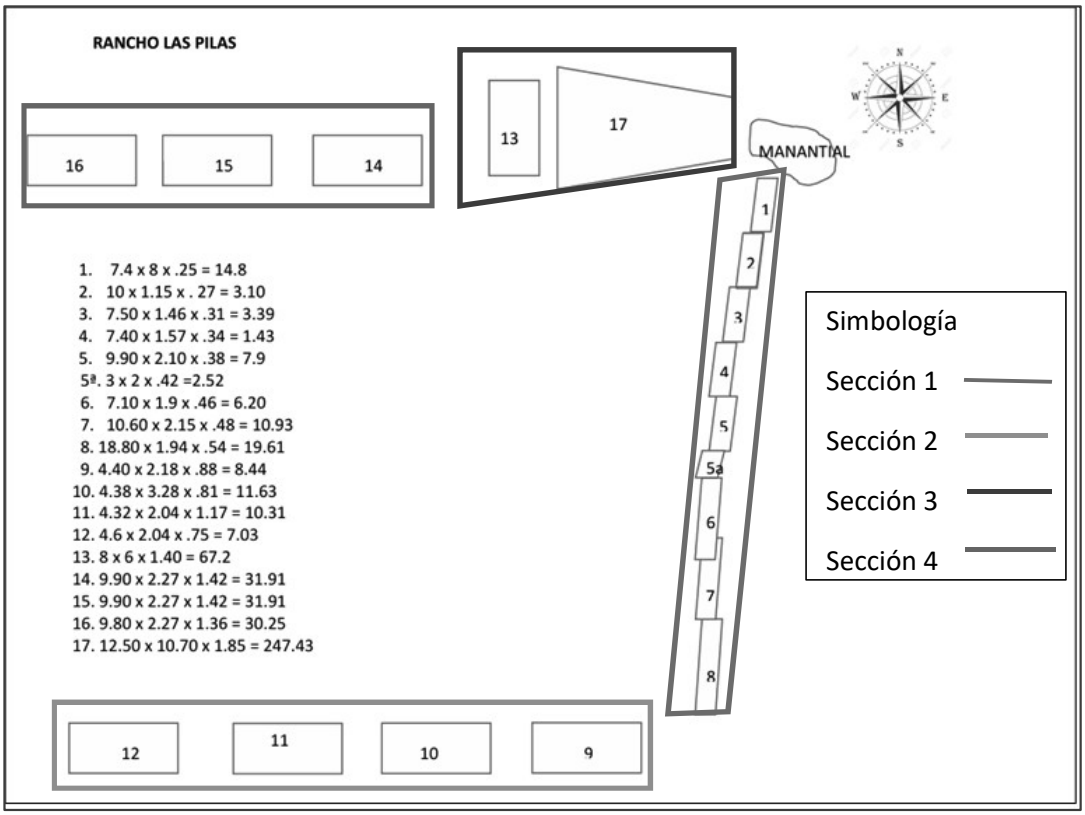


Fig. 7: Esquema que representa la distribución general de la Unidad de Producción Las Pilas. Se muestran el manantial y 17 estanques divididos en 4 secciones, inicialmente distribuidos en dos líneas de agua. (Elaboración propia).



Fig. 8: Vista satelital de la Unidad de Producción “Las Pilas”, que muestra la distribución de los estanques que la conforman (Imagen internet).

El proceso de producción de la trucha arcoíris en esta granja comienza cuando las crías de aproximadamente 2 g de peso y 5 cm de longitud llegan a la Unidad de producción provenientes de otras granjas que proveen las crías. En este caso casi siempre son de importación. En promedio, los peces tardan entre 7 a 8 meses en alcanzar los 350 g de peso, que se considera el tamaño comercial para venta en restaurantes o para los consumidores directos de la misma zona. Eventualmente, los peces pueden permanecer mayor tiempo en engorda para alcanzar un peso mayor para cubrir pedidos específicos.

Aputzio de Juárez es una comunidad rural que pertenece al Municipio de Zitácuaro, en el Estado de Michoacán. Colinda por el norte con la Tenencia de Chichimequillas de Escobedo; al sur con el municipio de Juárez, al poniente con el mismo municipio de Juárez y el de Susupuato, y al oriente con el Municipio de Villa de Allende e Ixtapan del Oro, Estado de México.

El clima en Aputzio en general es cálido-templado, con temperaturas moderadas durante la mayor parte del año, con excepción de la parte sur, donde predomina el clima tropical (Ayuntamiento de Zitácuaro, 2024). La variación de la temperatura durante el año es de 5.6 °C. En la Tabla número 4 se indican las temperaturas promedio que se han registrado en la zona entre los años 1991 a 2021 (Merkel., 2021).

La temporada de lluvias es de junio a septiembre, con precipitaciones más intensas durante los meses de julio y agosto. Por su parte, la temporada seca se extiende desde el mes de noviembre a abril, con pocas lluvias. La diferencia de precipitaciones entre el mes más seco y el mes más lluvioso es de 404 mm. El clima que prevalece en la mayor parte del territorio de la Tenencia es templado con lluvias en verano (Merkel A., 2021).

En la región se cuenta con diversos manantiales, entre ellos Las Pilas, Agua Bendita y La Pera (Ayuntamiento de Zitácuaro., 2024).

Tabla del clima // Tiempo por mes Zitácuaro

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	15	16.4	18	20.3	20.6	18.5	17.5	17.5	17.2	17	16	15.1
Temperatura min. (°C)	8.7	9.4	10.4	12.4	13.6	13.8	13.1	13.2	13.1	12.4	10.5	9
Temperatura máx. (°C)	22.3	24	25.7	27.8	27.5	24.1	22.9	22.9	22.5	22.7	22.6	22.2
Precipitación (mm)	25	19	20	25	125	308	420	390	309	148	43	16
Humedad(%)	53%	47%	40%	37%	49%	74%	83%	83%	84%	77%	66%	57%
Días lluviosos (días)	3	3	3	4	12	18	21	21	19	14	6	2
Horas de sol (horas)	9.1	9.8	10.5	11.0	10.2	7.9	7.0	7.1	6.6	7.4	8.3	9.0

Tabla 4: Temperatura (°C), Precipitación (mm), Humedad (%), Días lluviosos (días), Horas de sol (horas). Data: 1999 – 2019 (Merkel., 2021).

Con respecto a la humedad relativa de la zona, durante el año, la humedad es más baja en el mes de abril (36.64 %); mientras que el mes con mayor humedad es septiembre, alcanzando un promedio de 84.36%. La menor cantidad de días

lluviosos se espera en diciembre (2.80 días), mientras que en el mes de julio se registra un promedio de 28.37 días con lluvia (Merkel., 2021).

La Unidad consta de 17 estanques de concreto de distintos tamaños divididos internamente en 4 secciones (Figuras 7 y 8), cada sección es un canal que se divide con bastidores de malla con calibre que impide el paso de los peces (Figuras 9 y 10) y su abastecimiento de agua es de manantial ubicado en la misma unidad de producción.



Fig. 9 y 10: Vista de los estanques de la unidad de producción siendo estos un canal con bases para colocar los bastidores de división.
(Fotos de autoría propia del trabajo)

8.2 Análisis clínico y obtención de muestras

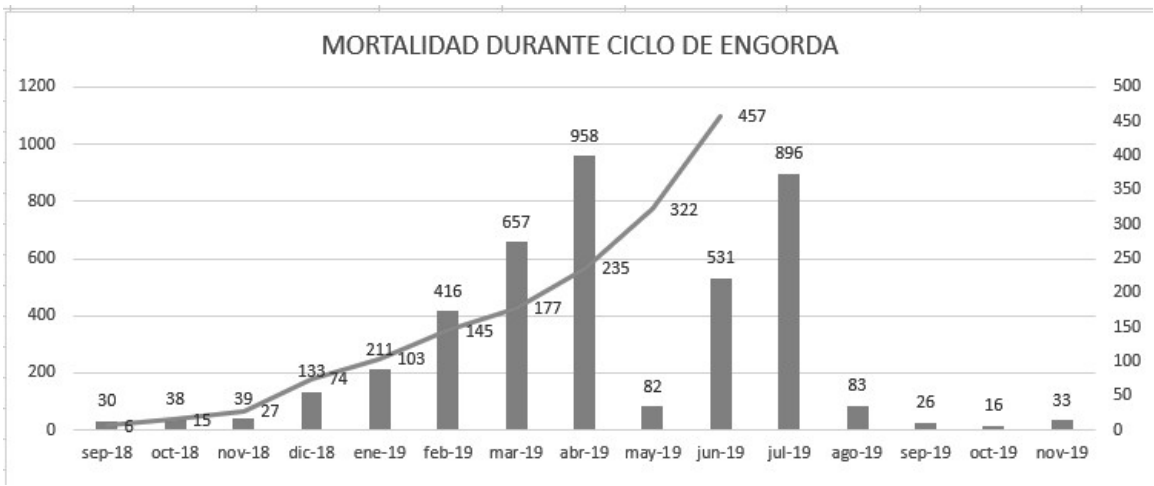
El día 4 de marzo del año 2019, ante un llamado de una situación de emergencia sanitaria reportada en un lote de truchas arcoíris, se realizó una visita de asistencia técnica por parte de técnicos de campo del comité estatal de sanidad e inocuidad acuícola del Estado de Michoacán (CESAMICH) a la granja de trucha arcoíris denominada “Las Pilas”.

El grupo de peces bajo situación de emergencia sanitaria inicialmente estuvo formado por diez mil ejemplares adquiridos de la Unidad de producción “El Paso”, ubicada en el municipio de Ocampo, en el propio Estado de Michoacán el día 13 de septiembre del año 2018. Estos organismos originalmente fueron importados como huevo oculado de Norteamérica, de la empresa Troutlodge. Al llegar a la granja “Las Pilas”, los peces se distribuyeron en 4 estanques, en los estanques número 1, 7 y 8 de la sección 1, y en el 9 de la sección 2 (ver figura 7); en cada uno de estos espacios se sembraron 2500 animales.

Durante la visita técnica, el especialista inicialmente realizo la inspección de las instalaciones de la granja y de los animales reportados con problemas de enfermedad. Los responsables de la Unidad de Producción informaron que, tenían la sospecha de que el problema sanitario habría comenzado desde el mes de diciembre del año anterior, donde se registró una mortalidad de 133 ejemplares que en promedio tenían 74 g de peso; sin embargo, este hecho no fue notificado al Técnico del Comité de Sanidad, y fue hasta que se registraron mortalidades y signos más evidentes durante el mes de enero, cuando se dio a conocer de la situación de emergencia sanitaria.

De acuerdo con los registros de la granja, el brote se presentó prácticamente en todos los estanques de la Unidad, aunque no se reportaron mortalidades por estanque. En el mes de enero de 2019 se registró una mortalidad de 211 peces cuyo peso promedio rondaba los 103 g, y para febrero casi se duplico, siendo de 416 peces de aproximadamente 145 g de peso. Ante esto, los responsables de la

granja decidieron realizar una medicación con florfenicol al 50% en dosis de 100 mg por kg de biomasa; sin embargo, la mortalidad continuó incrementándose y en marzo, fue de 657 peces de un peso de 177 g; el mes que presento mayores pérdidas fue abril, donde murieron 958 peces de alrededor de 235 g; en mayo la mortalidad disminuyó notablemente a solo 82 peces de 322 g de peso. Sin embargo, en junio de nueva cuenta se observó un incremento de mortalidad, cuando perecieron 531 peces de un peso de 457 g; posteriormente, en el mes de julio se perdieron 896 peces, registrando de manera alarmante un claro incremento con relación a los dos meses anteriores, donde los animales presentaron los mismos signos y lesiones de meses anteriores, y de las cuales se obtuvieron muestras que confirmaron el diagnóstico etiológico. Para los meses de agosto, septiembre, octubre y noviembre se observó una disminución de mortalidad, al registrar 83, 26, 16 y 33 peces muertos, respectivamente (Gráfica 1).

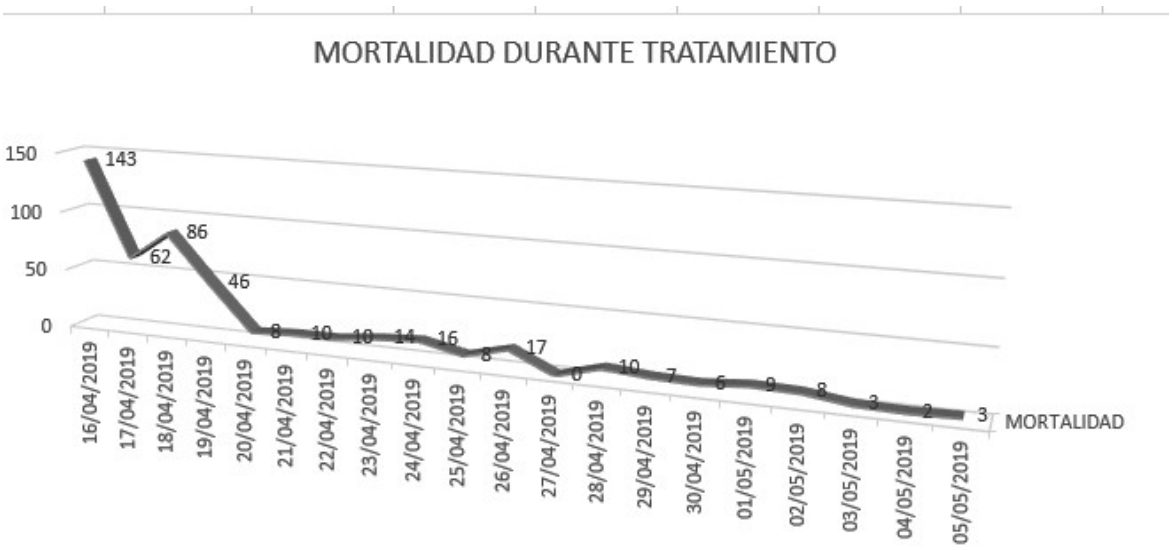


Gráfica 1: Mortalidad durante el ciclo de engorda de trucha arcoíris en el periodo de septiembre 2018 a noviembre 2019, donde se puede observar la mortalidad por mes y el peso promedio de los peces afectados.

Los registros levantados por personal de la unidad de producción indican que, durante el periodo de diciembre de 2018 a noviembre de 2019 (Gráfica 1), se registró una mortalidad total de 4739 peces; es decir, casi el casi 50% de la

población original del lote. Sin embargo, no se obtuvieron datos del comportamiento de la enfermedad y de la mortalidad por estanque, únicamente se registró como mortalidad total.

La gráfica número 2, indica la mortalidad en los peces que entre el 16 de abril y el 5 de mayo fueron sometidos a tratamiento con florfenicol (Gráfica 2); se muestra una clara disminución de la mortalidad después de los primeros tres días de tratamiento. Durante este periodo de monitoreo, se registró mayor mortalidad en el estanque número 1 con 168 peces, seguido del estanque 8 con 166, el 9 con 73 y el 7 con 64 peces (no mostrado).



Gráfica 2: Mortalidad en trucha arcoíris bajo tratamiento durante el periodo del 16 de abril al 5 de mayo del 2019.

Durante la visita de asesoría a la Unidad de Producción, el técnico del CESAMICH reportó presencia de peces con signos de enfermedad en prácticamente todos los estanques de la granja. De manera semidirigida se obtuvo una muestra de 10 peces que presentaron los siguientes hallazgos: 6 ejemplares con oscurecimiento corporal y nado lento, orillados en áreas de baja o lenta corriente agua, 2 ejemplares con hemorragias en contorno de ojos y opacidad corneal; un organismo presentaba ausencia de un ojo, branquias con acortamiento y contorno irregular en 8 truchas; los 10 peces presentaron aletas deshilachadas (Fig. 11).



Fig. 11: Ejemplar de la UPA Las Pilas tomado para necropsia con presencia de exoftalmia y branquias pálidas, (Foto de autoría propia).

Los hallazgos a la necropsia de los peces colectados fueron: 3 presentaron hemorragias en las paredes costales de la cavidad abdominal, dos con hígado congestionado y con hemorragias, vejiga natatoria abultada y hemorrágica (fig. 12); uno de los peces presentó prolapso anal (fig. 13). El estómago de los diez ejemplares contenía mucosidad con escaso contenido de alimento; en el intestino

se hallaron heces gelatinosas amarillentas, el hígado presentaba palidez y con puntos negros en 2 ejemplares (fig. 14), la vesícula biliar hemorrágica y color amarillo, con puntos blancos, riñón abultado y corazón con presencia de membranas de aspecto graso blanquecino.

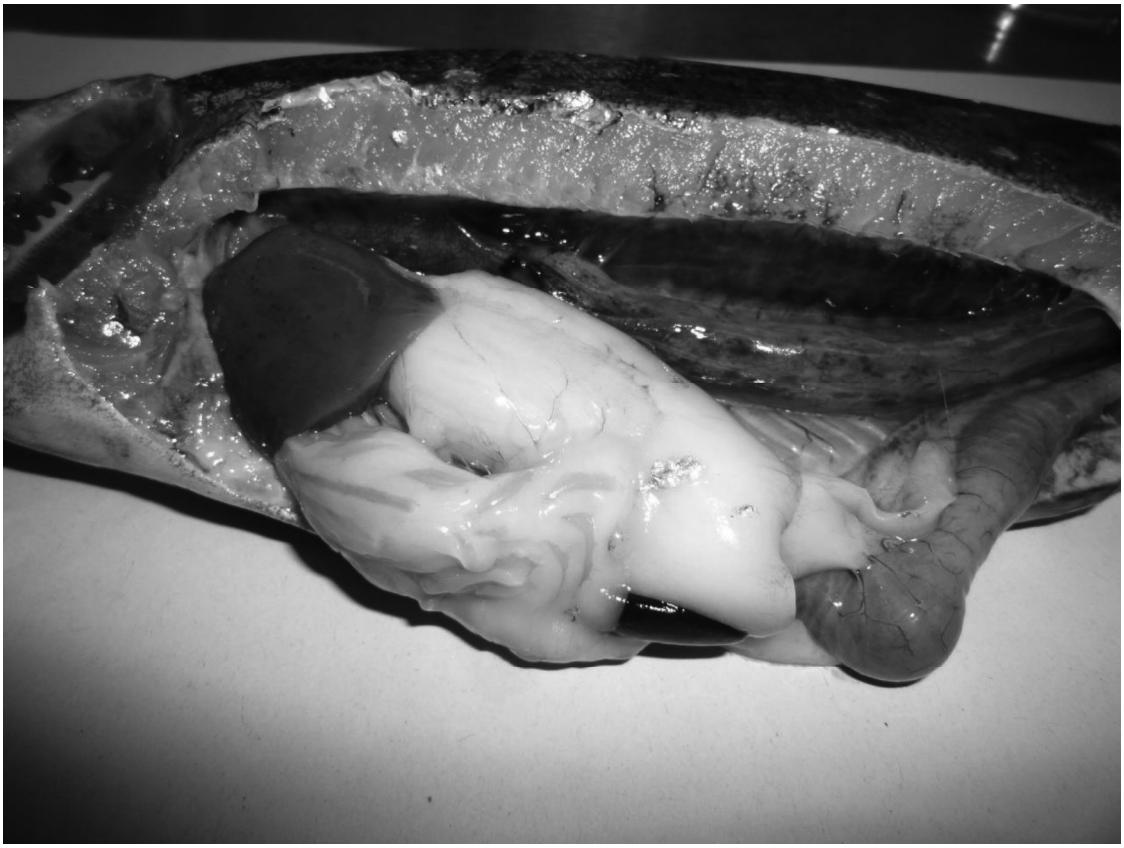


Fig. 12: Ejemplar de la UPA Las Pilas que presenta puntos necróticos en el hígado, vejiga natatoria hemorrágica y pared abdominal hemorrágica como principales lesiones (Foto de autoría propia).



Fig. 13: Ejemplar con prolapso anal (Foto de autoría propia).



Fig.14: Hígado con palidez y puntos necróticos (Foto de autoría propia).

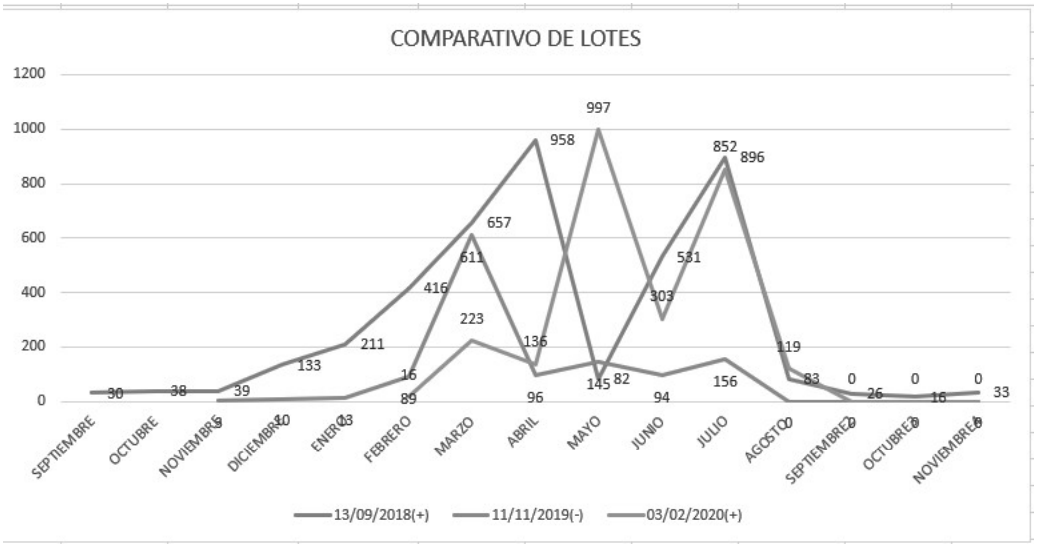
En el análisis bacteriológico del hígado, riñón, bazo, cerebro y ojo se aislaron bacterias Gram positivas de aspecto cocoide, y a la par se aislaron enterobacterias de las branquias, piel e intestino.

Pese a la presencia clínica de lactococosis en la Unidad de Producción, el 11 de noviembre de 2019 se realizó una nueva siembra de 10,000 crías derivadas de huevo importado de USA, procedentes del Centro acuícola "El Paso" ubicada en el municipio de Ocampo, Michoacán. De acuerdo con registros sanitarios de la Unidad de Producción, en marzo de 2020 se presentó un evento de mortalidad en estos animales que contaban con alrededor de 120 g, pero, de acuerdo con el diagnóstico

emitido por el CESAMICH, el cuadro clínico caracterizado por lesiones cutáneas, estuvo asociado a infección por *Aeromonas* spp.

El 3 de febrero de 2020 nuevamente se sembraron 10,000 crías, en las cuales nuevamente se confirmó un brote de lactococosis, iniciando en peces de 100 g, en los cuales se registró una mortalidad de 2646 animales en un lapso 7 meses (febrero -agosto), con el pico más alto en mayo y julio, siendo los estanques 5, 8, 9, 10 los afectados. Al realizar el análisis sanitario, los animales presentaron signos clínicos y lesiones característicos de una infección por *Lactococcus* spp., y en el proceso de identificación se confirmó a este agente como la causa.

Para este nuevo brote se llevó a cabo una estrategia de tratamiento con Enrofloxacina (Enroxil) al 10%, iniciando el 22 de julio y terminando el 31 de julio; la respuesta al tratamiento aparentemente fue positivo (Gráfica 3).



Gráfica 3: Mortalidad registrada durante distintos brotes de Lactococcus en la granja las pilas, la gráfica azul representa el lote de peces sembrados en el año 2018, la gráfica naranja representa los peces sembrados en el año 2019 y la gráfica gris los peces sembrados en el año 2020.

Pese a la presencia del problema sanitario en la granja, posteriormente se realizaron 2 siembras más, que posteriormente también fueron afectadas por lactococosis en los meses cálidos, donde la temperatura del agua alcanzo más de 16 °C.

Ante la situación sanitaria que enfrentó la Unidad de Producción, padeciendo cuadros recurrentes de lactococosis en truchas a partir de los 100 g de peso, y ante las pérdidas económicas asociadas al brote y acciones relacionadas al control, en junio de 2021 se decidió realizar el vacío sanitario de la Unidad a través de despoblamiento parcial de peces, lavado y desinfección de estanques y canales; lavado y raspado profundo, con aplicación de sulfato de cobre, cloro y cal, terminando con el secado de las instalaciones (fig. 15). Así mismo, se implementaron medidas como control del movimiento de animales y de personas, uso de ropa y aditamentos de trabajo adecuado para los técnicos y operarios.



Fig. 15: Limpieza de los estanques durante el vacío sanitario (Foto de autoría propia del trabajo).

Las acciones anteriores permitieron considerar a la Unidad de Producción como sanitizada, y el 19 de agosto de 2021 se volvieron a sembrar 5000 crías, las cuales

se desempeñaron sin contratiempos durante todo su ciclo productivo. Después de un mes de haberse introducido los peces recibían cada mes baños de ácido peracético al 35%, y 5 días de alimento con ajo. Sin embargo, después de estar trabajando de manera normal sin reporte de nuevos brotes por casi dos años, en 2023 se presentó una recurrencia.

IX Discusión

La granja de trucha arcoíris “LAS PILAS”, está ubicada en una localidad que se considera de clima cálido-templado, muy propicia para el cultivo de esta especie ya que la temperatura del agua de 17 °C se mantiene dentro del rango superior para que los peces se mantengan en condiciones de bienestar, y es ideal para que alcancen en poco tiempo el peso de venta deseado por los productores y consumidores. Sin embargo, de acuerdo con lo reportado en la literatura (Alcántara-Jauregui *et al*., 2022), los rangos de temperatura en que se mantiene el agua (16 a 18 °C) también es propicia para el desarrollo de la lactococosis, una enfermedad que a nivel mundial es considerada una de las enfermedades bacterianas más importantes para el cultivo de la trucha arcoíris (Duman *et al*. 2023, Meyburgh *et al*. 2017, Ortega *et al*. 2020, Soltani *et al.* 2022).

La Unidad de Producción cuenta con un manantial ubicado dentro del propio predio, capaz de abastecer a todos los estanques que la integran. Disponer de este manantial que aporta agua suficiente y de excelente calidad físico química fortalece a la Unidad de producción para poder mantener a la especie en todas las etapas del ciclo de producción, incluida la incubación. Al utilizar agua de primer uso, se tiene menos riesgo de introducir agentes patógenos que puedan representar amenazas sanitarias para los peces.

Tomando en cuenta lo anterior, la posibilidad de que el microorganismo causal haya ingresado a la granja a través del agua es menor. Es decir, la mayor posibilidad de ingreso de la bacteria en esta granja podría estar asociada a la introducción de peces infectados provenientes de alguna otra granja que le vende peces de tamaño comercial a “Las Pilas”.

La llegada de aves, animales de la fauna local, predadores de la zona y animales domésticos dentro de la unidad de producción es otro aspecto importante a destacar, si bien la granja cuenta con malla perimetral, es común observar presencia de ovinos y perros que pueden circular por todo el lugar, tambien la unidad no cuenta con malla anti pájaros observando aves dentro de las instalaciones; tanto los perros y aves pueden consumir los peces muertos que hayan muerto y no se dispongan adecuadamente. Las aves predadoras llegan a los estanques en busca de alimentarse siendo una fuente principal de infección porque pueden venir de otras unidades de producción donde los peces pueden estar muriendo por causa de este agente, del mismo modo la fauna local puede actuar como vector, la literatura menciona que prevenir y controlar este tipo de brotes es difícil pues aves y mamíferos cumplen un papel importante en la diseminación de la bacteria en unidades de producción (Heckman *et al*., 2024) y más en sistemas de producción sin control estricto de acceso esto se agrava más cuando los peces muertos no son dispuestos en la fosa de desechos de manera oportuna antes de que los depredadores lleguen y consuman las carcasas de los peces diseminando más la enfermedad

Personas (proveedores, compradores) y vehículos. Tambien pueden actuar como vectores debido al uso de equipos ajenos a la granja cuando se trata de compradores o a la introducción de alimento contaminado en el trayecto del proveedor en las granjas de la zona, otras cuestiones es la entrada con calzado contaminado de otra unidad de producción si no se cuenta con un vado sanitario por lo que se debe delimitar la granja para que personas ajenas a la Unidad o animales ingresen sin control y contaminen o introduzcan agentes infecciosos, se debe evitar el uso de artes de pesca ajenas a la granja; las personas y vehículos que ingresan deben pasar por tapetes sanitarios.

Así mismo, se debe disponer adecuadamente de los peces muertos o desechos biológicos de la granja. Deben ser recolectados e incinerados o en su defecto la UPA debe contar con una fosa de desechos para inactivar agentes infecciosos, que se ubique lejos de las instalaciones, debe ser segura, evitar emisión de olores con cal para no atraer fauna nociva.

Al tratar de obtener información acerca del posible origen de la situación de emergencia sanitaria. Se indicó que, en septiembre del año 2015, la unidad de producción enfrentó una situación de mortalidad alarmante en peces de aproximadamente 280 g que habían sido introducidos desde una granja de una zona donde se informó que se había detectado lactococosis. Ante la ocurrencia de mortalidad anormal de peces, los responsables de la granja y el técnico del CESAMICH sospecharon que el brote ocurrido en las truchas sembradas el 13 de septiembre del 2018 tenía relación con el episodio de enfermedad y moralidad que ocurrió en 2015 y que, probablemente el patógeno causal permaneció latente en las instalaciones de la granja. Aunque esta hipótesis es muy posible, no existen evidencias o estudios que lo hayan comprobado.

La lactococosis es una enfermedad con tendencia a la cronicidad porque se ha informado de que la bacteria forma tejido de granulación en diferentes órganos, y cuenta con mecanismos de evasión de la inmunidad como la formación de capsulas que confieren resistencia a la fagocitosis, haciendo que los tratamientos con antibióticos sean una solución temporal (Meyburgh *et al*, 2017; Soltani *et al*, 2021) teniendo la recurrencia del problema cuando la temperatura del agua supera los 16 °C. Tomando en cuenta la resistencia bacteriana de algunas cepas y que muchas veces los tratamientos antimicrobianos en peces no son efectivos debido a la anorexia de los mismos y a que se trata de manera poblacional y no individual la su dosificación hace difícil la resolución del problema.

De acuerdo con lo anterior y tomando en cuenta los datos de la mortalidad del lote del 2018, el problema pudo resurgir debido a las características de encapsulación del agente, las temperaturas superiores a los 17 °C y una falta de limpieza exhaustiva a la hora de preparar los estanques, además de que puede permanecer adherido a las divisiones o paredes de los estanques y en utensilios utilizados para el manejo de los mismos.

La reaparición clínica de la enfermedad en los meses de junio y julio pudo ser ocasionado por las condiciones de temperatura de esos meses donde la temperatura promedio media es de 17.5 °C a 18.5 °C, ideal para el desarrollo de la bacteria.

Administrativamente, la Unidad consta de 17 estanques de concreto de distintos tamaños divididos internamente en 4 secciones; sin embargo, se pudo constatar que en realidad cuenta con 2 líneas de conducción de agua, que presentan divisiones. El agua utilizada sigue dos líneas de flujo constante; la sección 1 se trata de un cuerpo de agua de aproximadamente un metro de ancho por 70 centímetros de profundidad que sirve como canal que a su vez se divide en 8 estanques, identificados del 1 al 8, los cuales únicamente están separados uno del otro por un bastidor de malla plástica de calibres que impiden el paso de los peces que se mantienen en estos espacios. Al final de esta sección, el agua pasa a la sección 2, que a su vez está conformada por 4 estanques comunicados, del 9 al 11. Así mismo, las secciones 3 y 4 comparten agua de la misma línea, derivada desde el manantial ubicada en el propio predio.

De acuerdo a lo anterior, es factible suponer que, la razón de que se haya observado mortalidad en prácticamente todos los estanques durante el brote inicial, tiene relación porque comparten la misma agua, además de los utensilios (cubetas, tinas y redes), provocando la entrada del agente por vía horizontal.

El tratamiento

El resultado de un tratamiento de lactococosis ante brotes han sido poco claros. Se ha reportado que inicialmente se puede observar una respuesta positiva, disminuyendo los porcentajes de mortalidad; sin embargo, se ha documentado que después de terminar el tratamiento suele haber recurrencia clínica de la enfermedad (Meyburgh *et al*. 2017, Soltani *et al.* 2022), tal como se ha observado en este caso. Lo anterior puede explicar las curvas que se presentan en la gráfica de mortalidad, en donde la mayor mortalidad se presentó en abril, disminuyo drásticamente en mayo, e incrementándose de nueva cuenta en junio y julio, para nuevamente descender en los meses subsecuentes (Gráfica 1).

La recurrencia de la enfermedad también puede estar asociada a que el agente infeccioso tiene capacidad de formar tejido de granulación en los tejidos de los peces, lo que le permite tener la posibilidad de quedar protegido, sobreviviendo a la acción de antibióticos, haciendo que el efecto del tratamiento sea temporal, pudiendo resurgir al bajar la concentración del agente antimicrobiano, lo cual también puede favorecerse cuando la temperatura del agua vuelve a ser ideal para manifestar su virulencia y patogenicidad del agente. Algunas bacterias cuentan con mecanismos de evasión como la encapsulación, que les confiere resistencia a la fagocitosis; existen estudios donde se han encontrado cepas resistentes a varios de los antibióticos permitidos para su uso en la acuicultura.

En el caso de los tratamientos con antibióticos, cuando se trata de peces de talla de consumo, próximos a ser cosechados como en este caso, la implementación de tratamientos con antimicrobianos queda descartada porque de contener restos de antibióticos en la carne el producto afecta la inocuidad, y por ende no sería apto para consumo humano. Ante este escenario, se pueden usar tratamientos

alternativos que son de elección para mantener la inocuidad del producto; sin embargo, no suelen dar mejores resultados como con el tratamiento antimicrobiano. En este caso, esto se practicó después de que el 29 julio se realizó un muestreo y se diagnosticó a *Lactococcus* spp. como agente causal, la recomendación fue únicamente seguir acciones de bioseguridad y aplicación de ajo y sal.

La implementación de un tratamiento con florfenicol (Aquaflor 10 mg/kg) a partir del 16 de abril y hasta el 5 de mayo de 2019, junto con la aplicación de buenas prácticas de producción, considerando medidas de limpieza y bioseguridad para evitar la diseminación a otras áreas de la unidad de producción, pudo haber sido una buena estrategia de control; sin embargo, la complejidad del patógeno requiere que todas las actividades sean realizadas de manera estricta y controlada, sin excepciones, ya que de otra manera se tiene el riesgo de fracasar.

El florfenicol y la oxitetraciclina son antibióticos de elección para el control de enfermedades septicémicas en trucha arcoíris. Sin embargo, tomando en consideración que algunos peces de tamaño comercial no mostraban afectación clínica podrían ser cosechados, únicamente se recomendó aplicar ajo en polvo en el alimento y baños con sal al 10%. Soltani *et al*., 2021 en su trabajo hace referencia a que el ajo presenta las siguientes sustancias cuando se extrae su aceite esencial trisulfuro, di-2-propenilo, disulfuro, di-2-propenilo y trisulfuro, metil 2-propenilo presentando las siguientes cualidades en base a su concentración en µg o µl x ml siendo estas las concentraciones:

concentración mínima inhibitoria 0.5 µg o µl x ml

concentración mínima bactericida 1 µg o µl x ml

Otro estudio realizado por El-Saber *et al*., 2020 menciona que la actividad antimicrobiana del ajo se atribuye a la actividad de alicina que se informó hacia una amplia variedad de microorganismos, incluidas bacterias grampositivas y

gramnegativas resistentes a los antibióticos como *Shigella, Escherichia coli, Staphylococcus aureus, Pseudomonas aeruginosa, Streptococcus mutans, S. faecalis, S. pyogenes, Salmonella enterica, Klebsiella aerogenes, Vibrio, Mycobacteria, Proteus vulgaris y Enterococcus faecalis*. Se informó que varios extractos de ajo (extractos acuosos, cloroformo, metanólicos y etanólicos) inhiben el crecimiento de varias bacterias patógenas con diversos grados de susceptibilidad, pero no se tienen datos concretos de si esto funciono o funciona para el caso suscitado en la unidad de producción Las Pilas.

En el caso de peces de menor tamaño, en etapa de cría y juveniles se permitió realizar el tratamiento con antibiótico ya que se cumplirían con los tiempos de retiro del producto. Pese a que no se presentan evidencias de los resultados de esta práctica, los responsables de la Unidad de producción indicaron que fueron favorables. En la literatura se han observado cepas resistentes a la Enrofloxacina (Rosário *et al.,* 2024); así mismo, tomando en cuenta la información científica disponible sobre el tema, el descenso de la temperatura en el mes de agosto, pudo ayudar en parte a la resolución del problema (de Ruyter *et al*. 2023, Duman *et al*. 2023, Meyburgh *et al*. 2017, Ortega *et al*. 2020, Soltani *et al.* 2022, Vendrell *et al*. 2006).

Ante la recurrencia de casos en la Unidad de Producción, los dueños de la granja decidieron realizar una sanitización parcial de la Unidad; sin embargo, no es claro si se ajustaron a un correcto protocolo del procedimiento. Pese a haber realizado medidas de sanitización, tras casi dos años de aparente ausencia de la enfermedad, en 2023 se presentó una recurrencia clínica. Se ha propuesto que esto pudo haber sido favorecido porque hubo cambio de responsable de la granja, que ocasionó descuidos en las medidas de prevención-control.

Actualmente suelen ocurrir nuevos brotes que tienden a la cronicidad, aunque con baja mortalidad.

Derivado de la ocurrencia de lactococosis en esta Unidad de producción, no se han estimado las pérdidas económicas reales ocasionadas por la enfermedad. Se informó que el lote de peces afectado ingreso en septiembre de 2018, y que en marzo de 2019 se reportó del brote; sin embargo, los responsables de la granja reportaron sospechas de que, probablemente el problema habría comenzado desde diciembre el año anterior o antes. Es decir, que en caso de que hubiese habido una oportuna intervención o acciones de diagnóstico y prevención, el problema pudo haber sido menos grave. Esto, es una clara evidencia de la importancia de disponer de servicios de diagnóstico sanitario que detecten oportunamente la ocurrencia de enfermedades y así establecer acciones de prevención y control.

Además de contar con servicios o laboratorios de diagnóstico debidamente capacitados, las instancias sanitarias han publicado manuales de aplicación de buenas prácticas de producción de trucha arcoíris que de aplicarse de manera adecuada ayudar a reducir la ocurrencia y los efectos de las enfermedades. Entre otras acciones, se recomienda que la Unidad cuente con un manual de procedimientos de limpieza y desinfección, desglosados en pre-limpieza, pre-enjuague, limpieza, enjuague, desinfección, post-enjuague, almacenamiento y verificación de que el proceso se llevó de la manera correcta (García-Ortega & Calvario-Martínez, 2003). Así mismo, es fundamental la capacitación del personal, ya que por una parte son las principales fuentes de contaminación biológica, por tanto, deben practicar buena higiene personal y en la realización de sus actividades, como en el manejo de peces, utensilios y equipos de trabajo.

Cuando se utilizan productos químicos en los procesos de limpieza y desinfección, se debe realizar la formulación o preparación tal como recomienda el fabricante.

X Conclusiones

Los brotes recurrentes observados en la unidad de producción acuícola Las Pilas confirma que la lactococosis es una enfermedad compleja de alto impacto sanitario y productivo.

Se observó que, cuando no se aplican medidas de prevención y control oportunas, e integrales, la enfermedad tiende a ser recurrente y crónica. En este caso, favorecido por la incompleta e incorrecta limpieza y desinfección, la cual fue llevada a cabo sin éxito debido a la persistencia ambiental del agente, y a la deficiencia de las medidas de bioseguridad de la granja

Tomando en cuenta las características de la unidad de producción, se determinó que la fuente de agua difícilmente pudo ser la vía de entrada del agente debido a que se utiliza un manantial de primer uso, lo cual reduce las posibilidades. En contraste, la introducción de peces provenientes de otras unidades de producción y carentes de información sanitaria, se identifica como una de las principales vías de transmisión del agente, asi como la presencia de aves, fauna local, animales domésticos y la falta de control estricto de acceso a personas y vehículos, se consideran elementos relevantes para la diseminación de patógenos hacia y dentro de la unidad de producción.

Si bien, los responsables de la unidad reportaron una respuesta favorable a los tratamientos implementados, la evidencia indica que la efectividad de los tratamientos fue muy variable, generalmente insuficiente. El mejor resultado se presentó cuando se realizó un vacío sanitario y una sanitización completa de la unidad de producción además de la aplicación de medidas de bioseguridad más estrictas. Pese a esto, la recurrencia tras un periodo de aparente ausencia de la enfermedad refuerza la idea de que la bacteria puede permanecer inactiva pero viable, sobre todo cuando las medidas aplicadas no fueron suficientes o no se realizaron bajo un correcto protocolo de bioseguridad.

La implementación de un tratamiento preventivo con baños de ácido peracético al 35%, y 5 días de alimento con ajo cada inicio de mes además de medidas de bioseguridad más estrictas se logró mantener controlada la situación de la unidad de producción, cuidando el estatus sanitario de la misma a la par de que se elaboraron protocolos a seguir en caso de otra recurrencia o de la entrada de otro agente patógeno de importancia.

La experiencia obtenida en la Unidad de Producción “Las Pilas” aporta información valiosa para comprender el comportamiento de la enfermedad en condiciones reales de campo y puede servir como referencia para que otros productores sepan actuar de manera oportuna ante la ocurrencia de brotes, reduciendo las pérdidas económicas que genera la enfermedad.

Queda claro que, la prevención a través del control de ingreso de organismos, la correcta aplicación de medidas de bioseguridad y el seguimiento técnico sanitario son elementos clave para reducir el impacto de la lactococosis en la truticultura.

El uso de antibióticos debe ser racional, la educación sanitaria y la implementación de protocolos de buenas prácticas acuícolas son esenciales para reducir el riesgo de transmisión y garantizar la sostenibilidad de la producción.

XI Referencias

Alcántara-Jauregui, F. M., Valladares-Carranza, B., & Ortega, C. (2022). Enfermedades bacterianas y sus agentes etiológicos identificados en peces de México-Una Revisión: enfermedades bacterianas en peces de México. *Revista MVZ Córdoba*, *27*(2), e2387-e2387.

Assefa, A., & Abunna, F. (2018). Maintenance of Fish Health in Aquaculture: Review of Epidemiological Approaches for Prevention and Control of Infectious Disease of Fish. Veterinary medicine international, 2018, 5432497. https://doi.org/10.1155/2018/5432497

Ayuntamiento de Zitácuaro, Michoacán, Administración 2024 - 2027. (2024). Aputzio de Juárez. Consultado el 25 de febrero del 2025 en: https://www.zitacuaro.gob.mx/articulo_150021

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(6), 1401-1407.

Clavero, R., Escobar, J., Ramos., Merello, L. & Álvarez, Francisco. (2017). Endocarditis por Lactococcus garvieae en un paciente sometido a hemodialisis crónica. Primer caso reportado en Chile y revisión de la literatura. Revista chilena de infectología. 34. 397-403. 10.4067/s0716-10182017000400397.

CONAPESCA. (2023). Anuario estadístico de acuicultura y pesca. 2023. Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca: México; https://nube.conapesca.gob.mx/sites/cona/dgppe/2023/ANUARIO_ESTADISTICO_DE_ACUACULTURA_Y_PESCA_2023.pdf

de Ruyter, T., Littman, E., Yazdi, Z., Adkison, M., Camus, A., Yun, S., Welch, T. J., Keleher, W. R., & Soto, E. (2023). Comparative Evaluation of Booster Vaccine Efficacy by Intracoelomic Injection and Immersion with a Whole-Cell Killed Vaccine against Lactococcus petauri Infection in Rainbow Trout (Oncorhynchus mykiss). Pathogens (Basel, Switzerland), 12(5), 632. https://doi.org/10.3390/pathogens12050632

Duman, M., Altun, S., Saticioglu, I. B., & Romalde, J. L. (2023). A review of bacterial disease outbreaks in rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) reported from 2010 to 2022. Journal of fish diseases, 10.1111/jfd.13886. Advance online publication. https://doi.org/10.1111/jfd.13886

El-Saber Batiha, G., Magdy Beshbishy, A., G Wasef, L., Elewa, Y. H. A., A Al-Sagan, A., Abd El-Hack, M. E., Taha, A. E., M Abd-Elhakim, Y., & Prasad Devkota, H. (2020). Chemical Constituents and Pharmacological Activities of Garlic (Allium sativum L.): A Review. Nutrients, 12(3), 872. https://doi.org/10.3390/nu12030872

FAO. (2009). Oncorhynchus mykiss. En Cultured aquatic species fact sheets. Texto de Cowx, IG. Editado y compilado por Valerio Crespi y Michael New. https://www.fao.org/fishery/docs/DOCUMENT/aquaculture/CulturedSpecies/file/es/es_rainbowtrout.htm

García-Mondragón, D., Gallego-Alarcón, I., Espinoza-Ortega, A., García-Martínez, A., & Arriaga-Jordán, CM (2013). Desarrollo de la producción de trucha arcoíris (Oncorhynchus mykiss) en el Centro de México. Acuática, (38), 46-56. https://www.redalyc.org/pdf/494/49428034005.pdf

García-Ortega, A., Calvario-Martínez, O. (2003) Manual de Buenas Prácticas de Producción Acuícola de Trucha para la Inocuidad Alimentaria. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/311359/ManualBPTrucha.pdf

Godoy, M. (2009). Nefrocalcinosis en Trucha arcoíris (Oncorynchus mykiss); Histopatología I, Riñón. https://marcosgodoy.com/nefrocalcinosis-en-trucha-arcoiris-oncorynchus-mykiss-histopatologia-i-rinon/

González-Serrano, J. L. (2001). Evolución histórica y situación actual de la acuicultura en el mundo y en España. Serie Estudios-Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (España), (145), 91-158. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/fondo/pdf/29259_8.pdf

Heckman, T. I., Yazdi, Z., Older, C. E., Griffin, M. J., Waldbieser, G. C., Chow, A. M., Medina Silva, I., Anenson, K. M., García, J. C., LaFrentz, B. R., Slavic, D., Toohey-Kurth, K. L., Yant, P., Fritz, H. M., Henderson, E. E., McDowall, R., Cai, H., Adkison, M., & Soto, E. (2024). Redefining piscine lactococcosis. Applied and environmental microbiology, 90(5), e0234923. https://doi.org/10.1128/aem.02349-23

Kusuda R, Hamaguchi M (1988) Extracellular and intracellular toxins of Streptococcus sp. isolated from yellowtail. Bull Eur Assoc Fish Pathol 8: 9−10

Merkel A. (2021). Clima Zitacuaro (México). Consultado en: https://es.climate-data.org/america-del-norte/mexico/michoacan-de-ocampo/zitacuaro-28392/

Meyburgh, C. M., Bragg, R. R., & Boucher, C. E. (2017). Lactococcus garvieae: an emerging bacterial pathogen of fish. Diseases of aquatic organisms, 123(1), 67–79. https://doi.org/10.3354/dao03083

OMSA. (2023). Manual de las Pruebas de Diagnóstico para los Animales Acuático. Organización Mundial de Sanidad Animal. https://www.woah.org/es/que-hacemos/normas/codigos-y-manuales/acceso-en-linea-al-manual-acuatico/

Ortega Santana, 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. http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/71016

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: an open access journal from MDPI, 10(9), 1609. https://doi.org/10.3390/ani10091609.

Rosário, A. E. C. D., Barbanti, A. C. C., Matos, H. C., Maia, C. R. M. D. S., Trindade, J. M., Nogueira, L. F. F., Pilarski, F., Gallani, S. U., Leal, C. A. G., Figueiredo, H. C. P., & Tavares, G. C. (2024). Antimicrobial Resistance in Lactococcus spp. Isolated from Native Brazilian Fish Species: A Growing Challenge for Aquaculture. Microorganisms, 12(11), 2327. https://doi.org/10.3390/microorganisms12112327

Shahin, k., Mukkatira, K., Yazdi, Z,. Richey, C., Kwak, K., Heckman, T. I., Mohammed, H. H., Ortega, C., Avendaño-Herrera, R., Keleher, B., Hyatt, M. W.,

Drennan, J. D., Adkison, M., Griffin, M. J., & Soto, E. (2022). Development of a quantitative PCR assay for detection of the etiological agents of piscine lactococosis. Journal of Fish Diseases, 45(6), 847-859. https://doi.org/10.1111/jfd.13610

Soltani, M., Baldisserotto, B., Hosseini Shekarabi, S. P., Shafiei, S., & Bashiri, M. (2021). Lactococcosis a Re-Emerging Disease in Aquaculture: Disease Significant and Phytotherapy. Veterinary sciences, 8(9), 181. https://doi.org/10.3390/vetsci8090181

Vendrell, D., Balcázar, J. L., Ruiz-Zarzuela, I., de Blas, I., Gironés, O., & Múzquiz, J. L. (2006). Lactococcus garvieae in fish: a review. Comparative immunology, microbiology and infectious diseases, 29(4), 177–198. https://doi.org/10.1016/j.cimid.2006.06.003

Winter, A. L., & Moses, M. A. (2022). El Manual Merck de veterinaria. Grupo Asís Biomedia SL. 11 ed. Pp. 1878-1881, 1886, 1922-1923, 1928-1929, 1932

ZAMUDIO-NEGRETE, S. (2013). DETECCIÓN DE Renibacterium salmoninarum EN TRUCHA ARCO IRIS (Oncorhynchus mykiss) DE GRANJAS COMERCIALES DEL ESTADO DE MÉXICO. http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/80062