

## Trabajo Fin de Máster

### Gastroenteritis por *Aeromonas*

Aeromonal gastroenteritis



Ana Perdomo Soto

Tutora: Dra. Laila Moujir Moujir

Máster en Calidad y Seguridad de Los Alimentos

Facultad de Farmacia

Universidad de La Laguna

2022 – 2023

## Índice

• Resumen.....	3
• Introducción.....	4
· Taxonomía.....	4
• Objetivos.....	6
• Material y métodos.....	6
• Resultados y discusión.....	7
· Ecología y epidemiología.....	7
· Vías de transmisión.....	9
· Factores de virulencia.....	10
· Infecciones causadas por Aeromonas. Gastroenteritis.....	13
· Medidas de control.....	14
• Conclusiones.....	16
• Bibliografía.....	17

## **Resumen**

El género *Aeromonas* pertenece a las Gammaproteobacteria, un grupo de 36 especies consideradas autóctonas de ambientes acuáticos, y capaces de colonizar y proliferar en diversos ambientes, generando toxiinfecciones que pueden desencadenar graves problemas dentro de la salud pública. Actualmente, estas bacterias han generado interés debido a los posibles riesgos que pueden generar en la industria alimentaria, sobre todo en lo relacionado a la industria pesquera. Además, debido al aumento de temperaturas de mares y océanos, es posible que se experimente un crecimiento de las poblaciones de bacterias de este género, poniéndolo en el punto de mira del control alimentario.

**Palabras clave:** *Aeromonas*, infecciones alimentarias, gastroenteritis.

## **Abstract**

The genus *Aeromonas* belongs to the Gammaproteobacteria, a group of 36 species that are considered indigenous to aquatic environments. These bacteria are capable of colonizing and proliferating in various environments, leading to the development of toxic infections that can pose serious public health problems. Currently, there is growing interest in these bacteria due to the potential risks they may pose in the food industry, particularly in relation to the fishing industry. Furthermore, the rise in sea and ocean temperatures is likely to result in increased populations of bacteria within this genus, making it a target for food control measures.

**Keywords:** *Aeromonas*, food diseases, gastroenteritis.

## **1. Introducción**

La gastroenteritis es una afección común que afecta al sistema digestivo, pudiendo ser causada por diferentes patógenos, entre los que se encuentran las bacterias del género *Aeromonas*. Este organismo es habitante del suelo y ecosistemas acuáticos, generando infecciones tras la exposición a agua o alimentos contaminados.

Inicialmente, las aeromonas eran reconocidas como agentes de enfermedades sistémicas en animales poiquilotermos. Hoy en día, el género *Aeromonas* se considera no solo un importante patógeno causante de enfermedades de los peces y otras especies de sangre fría, sino también como el agente etiológico responsable de una gran variedad de complicaciones infecciosas, tanto en personas inmunocompetentes como inmunocomprometidas. Las especies más comunes relacionadas con la infección humana incluyen al complejo *A. hydrophila* (*A. hydrophila*, *A. bestiarium*, *A. salmonicida* y *A. popoffi*), el complejo *A. caviae* (*A. caviae*, *A. media*, *A. eucrenophila*) y el complejo *A. veronii* (*A. veronii* subespecie *veronii*, y subespecie *sobria* y *A. allosaccharophila*) (1, 2).

### **Taxonomía**

El género *Aeromonas* (*aer*, del griego: gas; *monas*, unidades; unidades productoras de gas), se encuentra dentro de la clase Gammaproteobacteria, perteneciente al orden Aeromonadales y a la familia *Aeromonadaceae*, que incluye además, los géneros *Oceanimonas* y *Tolumonas*. Se han llevado a cabo varias reconsideraciones sobre su taxonomía y nomenclatura, estableciéndose mediante análisis filogenéticos y fenotípicos 36 especies dentro del género. Estos microorganismos son bacilos Gram negativos, y generalmente oxidasa y catalasa positivos, fermentadores de la glucosa, reductores de nitratos y resistentes al factor vibriostático O/129 (2,4-Diamino-6,7- diisopropilpteridina fosfato). Estas características han hecho que inicialmente fueran clasificadas dentro de otras familias taxonómicas. La identificación, mediante pruebas bioquímicas, no siempre han sido concluyentes, debido a que algunas especies del género presentan resultados heterogéneos. Las técnicas de identificación molecular han podido resolver algunas de las dudas que se presentan al analizar las secuencias de ARNr16S e hibridación ADN-ADN, puesto algunas especies de este género son demasiado similares (3).

Desde el primer aislamiento de *Aeromonas* por Sanarelli et al., en 1891 al que denominó *Bacillus hydrophillus fuscus*, la taxonomía de las aeromonas ha cambiado

notablemente. En un principio, se clasificó este género dentro de la familia *Vibrionaceae*, junto con los géneros *Vibrio* y *Plesiomonas* (1). En 1986, Colwell et al., llevaron a cabo una secuenciación del ARNr16S, ARNr5S y estudios de hibridación ADN-ADN, que demostraban que *Aeromonas* pertenecía a una rama filogenética diferente, creando la familia *Aeromonadaceae* (4). Posteriormente en 1970 el género se divide en dos grupos en función de sus características:

- Grupo mesófilo: Crecimiento óptimo entre los 35-37°C y cepas móviles.
- Grupo psicrófilo: Crecimiento óptimo entre los 22-28°C y cepas inmóviles (5).

Figueras et al. (6), estudiaron como existían elevados valores de similitud para el gen ARNr16S (superior al 99%), entre especies que se consideraban distintas, al tener características fenotípicas diversas. Se vio por ello necesario el estudio de otros genes para la identificación de especies, por ejemplo, el análisis de genes constitutivos (HKG). El primer HKG seleccionado para las especies del género *Aeromonas* fue el gen *gyrB*, que codifica para la subunidad B de la enzima ADN-girasa. Este gen presenta una elevada heterogeneidad a nivel intraespecífico, por lo que podría proponerse un protocolo de identificación de las especies del género basado en el análisis de patrones de restricción de este gen (7). También se ha empleado el gen constitutivo *rpoD*, similar a *gyrB*, que codifica para el factor  $\sigma^{70}$  de la RNA polimerasa. El análisis de estos genes ha permitido la correcta agrupación de las cepas dentro de las diferentes especies, y la detección de nuevas especies (8).

Las bacterias del género *Aeromonas* son consideradas autóctonas del medio acuático, aunque se encuentra ampliamente distribuida en el ambiente, pudiendo aislarse en animales, principalmente peces (sanos o enfermos) y mariscos (siendo responsables de grandes epidemias en piscifactorías), vegetales y productos cárnicos. Así mismo, cada vez se aíslan con mayor frecuencia desde muestras clínicas humanas donde se las reconocen como patógenos emergentes, causando infecciones intestinales y extraintestinales (1).

## **2. Objetivos**

De acuerdo con los antecedentes indicados anteriormente, en este trabajo pretendemos llevar a cabo una revisión bibliográfica centrada en:

- Conocer la epidemiología de *Aeromonas* y los principales alimentos implicados como vía de transmisión al hombre a través de la cadena alimentaria.
- Estudiar los factores de virulencia del género *Aeromonas* y su implicación en los procesos infecciosos (gastroenteritis).

## **3. Material y métodos**

Esta revisión bibliográfica se ha llevado a cabo principalmente a través de la plataforma PuntoQ, Google Scholar y Web Of Science (WOS).

Las palabras clave que se emplearon en la búsqueda fueron:

- *Aeromonas* food diseases.
- *Aeromonas* infection.
- *Aeromonas* epidemiology.
- *Aeromonas* stomach flu.

Se tomaron en consideración mayoritariamente artículos publicados después del año 2000. También se realizaron búsquedas de artículos anteriores cuando resultaron fundamentales para el desarrollo de este trabajo, especialmente en el caso de la historia taxonómica del grupo entre otros aspectos relevantes.

## **4. Resultados y discusión**

### **Ecología y epidemiología de *Aeromonas***

*Aeromonas* es un grupo de bacterias que crece entre 3-42°C, con una temperatura óptima de crecimiento de 15-20°C, que proliferan más fácilmente a pH superior al 4,5 y concentraciones de NaCl inferiores al 4%. Puede crecer en medios diferenciales y selectivos para bacterias Gram negativas (agar sangre ampicilina o agar dextrina ampicilina (9)).

El género está ampliamente distribuido en los ecosistemas acuáticos de ambientes cálidos. Encontrándose en aguas marinas, salobres, agua dulce, estanques, ríos, agua potable corriente, agua mineral embotellada o aguas residuales (10). En este medio se encuentran desde concentraciones bajas (1UFC/mL) a altas (>10<sup>8</sup> UFC/mL) en aguas residuales. Aunque es principalmente un residente de agua dulce, las especies de *Aeromonas* se pueden recuperar con frecuencia de los océanos y estuarios, existiendo como bacterias de vida libre o en asociación con crustáceos (1).

*Aeromonas* es capaz de colonizar otros ambientes, pudiendo crecer y proliferar en carnes, frutas y verduras, pescados y mariscos (Tabla 1). *A. salmonicida* y *A. hydrophila* son patógenos reconocidos de peces, especialmente de la familia de los salmónidos generando úlceras, hemorragias, forunculosis y septicemias, produciendo grandes pérdidas en la industria de la acuicultura. Las incidencias de *A. hydrophila* parecen ser más frecuentes que las de *A. caviae* y *A. sobria*, lo que indica que *A. hydrophila* es la cepa más virulenta. Las aeromonas están universalmente presentes en mariscos, leche cruda, pollo y carnes (cordero, ternera, cerdo y carne molida). La concentración inicial va de 10<sup>2</sup> a 10<sup>5</sup> UFC/g a 5°C, sin embargo, después de 7 días a temperatura de refrigeración, el número aumenta de 1 a 3 log en la mayoría de los productos (11).

**Tabla 1.** Principales especies de *Aeromonas* en la colonización de los diversos alimentos.

<b>Alimentos Contaminados</b>	<b>Especies Implicadas</b>	<b>Referencias</b>
<b>Pescados y Mariscos</b>	<i>A. salmonicida</i> <i>A. bestiarum</i> <i>A. veronii</i> <i>A. encheleia</i> <i>A. hydrophila</i> <i>A. allosaccharophila</i> , <i>A. bivalvium</i>	(19)
<b>Carnes</b>	<i>A. veronii</i> <i>A. salmonicida</i> <i>A. jandaei</i> <i>A. simiae</i> <i>A. hydrophila</i> <i>A. caviae</i>	(20)
<b>Frutas y Verduras</b>	<i>A. hydrophila</i> <i>A. caviae</i>	(21)

*A. salmonicida* y *A. hydrophila* en la familia de los salmónidos generan úlceras, hemorragias, forunculosis y septicemias. *A. hydrophila* y *A. veronii* producen septicemias en carpas, tilapias, bagres, salmones, bacalaos, lubinas y camarones de agua dulce. *A. hydrophila* se aísla en tejidos como riñón, hígado y sangre de carpas en granjas.

Las enfermedades en otros animales ectotermos incluyen úlceras (lagartijas y serpientes), enfermedad de las “patas rojas” (ranas), septicemia (perros), artritis séptica (terneros), vesiculitis (toros).

En el estudio de Franco-Monsreal (13) se analizaron las prevalencias de *A. hydrophila* en alimentos marinos procesados, observándose la más alta incidencia en productos crudos que en cocinados. Así mismo, un estudio realizado en Italia determinó *A. hydrophila* es la especie que está presente con más frecuencia en alimentos listos para consumo, como quesos, verduras, carnes, huevos y helados. (14).

También se han identificado a los organismos del género *Aeromonas* como los principales promotores del deterioro de carne y pescado crudos junto con otros

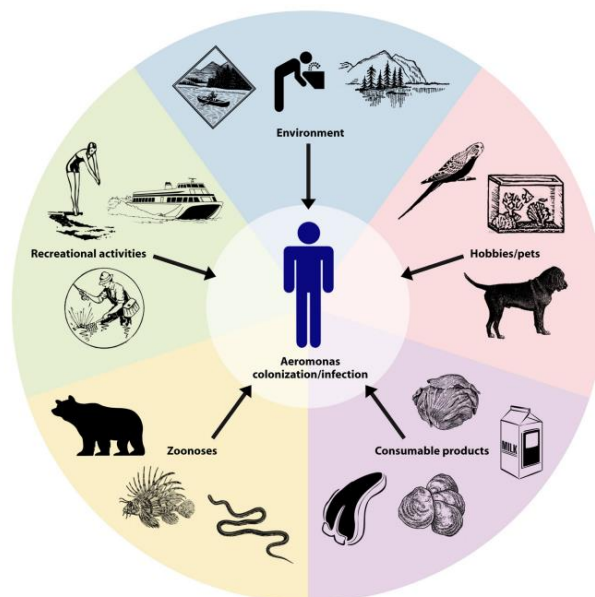


microorganismos como *Shewanella putrefaciens*, responsables de la putrefacción de estos alimentos (15).

Algunos estudios indican que el 95,4% de las cepas relacionadas con casos clínicos pertenecen a las siguientes especies: *A. caviae* (37,26%), *A. dhakensis* (23,49%), *A. veronii* (21,54%) y *A. hydrophila* (13,07%). Estos porcentajes pueden variar en función de la situación geográfica y las condiciones socioculturales del país, que afectan de manera directa a las condiciones higiénicas de los mismos (3). El ser humano es portador de aeromonas en su tracto gastrointestinal, encontrándose individuos sintomáticos y asintomáticos. Por ello, es de gran importancia la higiene de los manipuladores de alimentos, que pueden ser portadores de la bacteria sin presentar sintomatología, y contaminar los productos con los que trabaja (16).

## Vías de transmisión

La íntima asociación entre las aeromonas y los ecosistemas acuáticos ha llevado a considerar el término “Aeromonas” como sinónimo de “agua”. La Figura 1 muestra las vías principales y secundarias por las cuales los humanos se infectan con especies de *Aeromonas*.



**Figura 1.** Principales vías de transmisión de *Aeromonas*. Tomada de (1). Consumo de alimentos procesados y derivados de orígenes zoonóticos; actividades recreativas como pesca y buceo, pudiendo causar infecciones a través de traumatismos importantes o no aparentes; mordeduras por vertebrados (osos, serpientes y reptiles) y picaduras por invertebrados (insectos).

La principal vía de entrada de las aeromonas mesófilas es a través del consumo de aguas potables contaminadas ya que son capaces de crecer en las aguas de distribución pública, mediante la formación de biopelículas que favorecen su resistencia a la cloración (17) o mediante la ingestión de alimentos (productos agrícolas, lácteos o carnes). En otros casos las infecciones se pueden dar por manipular peces contaminados presentando heridas en las manos, trabajos en el sector de la acuicultura; consumo de bivalvos como las ostras y los mejillones, ya que estos se contaminan a través de las aeromonas presentes en las aguas de estuarios (1).

### **Factores de virulencia de *Aeromonas***

La virulencia de las bacterias del género *Aeromonas* se describe como multifactorial y está relacionada con la expresión de genes que codifican diferentes toxinas, componentes estructurales, sistemas de secreción y proteínas asociadas a metales (18).

### **Componentes estructurales**

La adhesión de las bacterias a los tejidos del huésped conforma un punto crítico en la fase inicial de las infecciones por microorganismos. Al adherirse a los tejidos y células del huésped se alteran sus mecanismos de defensa, comenzando la fase de colonización (3). Los componentes estructurales más estudiados en el grupo son:

- **Flagelos**: Con disposición polar y lateral, le otorgan al microorganismo mayor movilidad facilitando la adhesión y colonización. La ausencia de flagelos en *A. hydrophila* demostró que la movilidad es imprescindible para la adhesión e invasión de líneas celulares de peces. Los flagelos laterales como en otras bacterias confieren una movilidad de tipo “*swarming*”, que les permite moverse en superficies sólidas, asociándose a la formación de biofilms (19).
- **Pilis**: En las bacterias gram-negativas podemos encontrar cuatro tipos diferentes de pilis (I-IV), donde el tipo IV es el más estudiado al ser el más relacionado con los procesos de virulencia y adhesión celular (18).
- **Lipopolisacáridos**: De gran importancia en la producción de respuestas antiinflamatorias inespecíficas. Atendiendo al antígeno somático O, el género

*Aeromonas* contiene 96 serogrupos (1). Además, son capaces de producir coagulación intravascular, en individuos que presentan septicemia (20).

- Cápsula: Cubre la membrana externa y se describe como factor de virulencia al ser resistente a la fagocitosis y al sistema del complemento. Los serogrupos O:11 y O:34 de *A. hydrophila*, generan una cápsula de polisacáridos cuando crecen en medios ricos en glucosa (21).

### **Componentes extracelulares**

- Enterotoxinas citotónicas: Poseen mecanismos de acción similares a los de la toxina colérica, aumentando los niveles de adenosín monofosfato cíclico (AMPc) y prostaglandinas. Entre ellas, distinguimos la toxina termolábil (LT), que no reacciona con la antitoxina del cólera y la termoestable (ST), que reacciona con la antitoxina del cólera.
- Enterotoxinas citotóxicas: Provocan la degeneración en las criptas y vellosidades del intestino delgado, y han sido aisladas generalmente de pacientes que sufren diarreas. También forman poros en las membranas de las células diana, favoreciendo la entrada de agua del medio externo, provocando la hinchazón y lisis de éstas. Es por esto que la actividad de estas toxinas incluye daño a los tejidos y altas secreciones de líquidos en las células de los epitelios intestinales. Además, inhiben la actividad fagocítica de las células hospedadoras, produciendo hemólisis y aumentando los niveles del factor de necrosis tumoral y de interleucina, en las líneas celulares de macrófagos en animales de experimentación (22).
- Hemolisinas: Se han encontrado dos tipos de hemolisinas,  $\alpha$  y  $\beta$ , que presentan diferencias fisiológicas y funcionales, aunque ambas son capaces de formar poros en las membranas de las células diana, generando procesos de lisis osmótica. Este género de bacterias produce hemolisinas propias, codificadas por el gen *aerA* y secretadas por sistemas de secreción de tipo 2 (T2SS), conocidas como aerolisinas, que fueron caracterizadas por primera vez en 1974 por Bernheimer y Avigad (23).
- Proteasas: Permiten que las aeromonas persistan en diversos hábitats y facilita las interacciones con otros microorganismos. Estas enzimas contribuyen a la

patogenicidad de las bacterias, puesto que promueven la invasión por daño directo al tejido del organismo huésped. También contribuyen al establecimiento de la infección, facilitando superar las defensas iniciales del huésped mediante la inactivación del sistema del complemento y aportando nutrientes que posibilitan la proliferación celular (18). En *Aeromonas* se han identificado tres tipos de proteasas: Metaloproteasas, acetilcolinesterasas y serina-proteasas (24).

- Lipasas: Actúan sobre los lípidos de la membrana de las células a las que ataca (19). Una de estas lipasas es la glicerolfosfolípido-colesterol-aciltransferasa (GCAT), que tiene la capacidad de digerir las membranas de los eritrocitos para producir su lisis (18). La presencia del gen de GCAT puede emplearse para identificar la bacteria a nivel de género (25). *Aeromonas hydrophila* expresa diversas enzimas que pueden contribuir a la virulencia, como la colagenasa, elastasa y la enolasa (26).
- Toxina Shiga: Inactiva a los ribosomas, deteniendo la síntesis de proteínas lo que desemboca en la muerte celular (27).
- Iones metálicos: Esenciales para el correcto funcionamiento de los procesos biológicos y durante algunos procesos de infección, el huésped restringe el acceso a metales cruciales para inactivar algunos procesos del organismo patógeno, que compensa sintetizando diversas proteínas. También se describen cofactores metálicos con importancia en los procesos de patogenicidad de aeromonas, como los genes de resistencia al cobre o la plata que codifican para diversas proteínas (28). Fernández-Bravo en 2020, demostró que la proteína de unión al níquel en *Aeromonas* (HypA) podría tener importancia en la tolerancia a ácidos del género y en la defensa contra los macrófagos (3).
- Quorum sensing: Mecanismo de comunicación empleado por algunos microorganismos entre los que se incluyen *Aeromonas*, en la regulación de la expresión génica, y la coordinación del comportamiento colectivo en función de la densidad celular. Consiste en la producción y percepción de señales químicas, como las N-acil homoserina-lactonas (AHL), que actúan como moléculas de comunicación entre las bacterias. Cuando la concentración de estas señales alcanza un umbral específico, las bacterias detectan la presencia de otras células en su entorno y responden coordinadamente mediante la activación de genes específicos. Esto permite a las bacterias “saber” cuándo están presentes en suficiente número para llevar a cabo ciertas actividades conjuntas, como la

formación de biofilms, producción de factores de virulencia, liberación de enzimas... (3).

### **Infecciones causadas por *Aeromonas*. Gastroenteritis.**

Las bacterias del género *Aeromonas*, son conocidas como agentes causantes de múltiples enfermedades, tanto para el ser humano como para algunos animales. Se han aislado cepas en peces, tortugas, caimanes, serpientes y ranas, así como en animales domésticos, cerdos, vacas u ovejas, relacionándose la presencia de aeromonas con brotes de origen alimentario (29).

Las aeromonas están involucradas como responsables de una amplia variedad de enfermedades que van desde las gastroenteritis a infecciones de la piel y tejidos blandos, sepsis, infecciones del tracto urinario, respiratorias y, en ocasiones infecciones del sistema nervioso central. Estas manifestaciones clínicas pueden variar dependiendo de la especie de *Aeromonas* involucrada, la virulencia de la cepa y la susceptibilidad del individuo afectado.

En los últimos años, se ha observado como las infecciones humanas provocadas por *Aeromonas* involucran a más de un tipo de bacteria en la misma muestra, lo que se conoce como “infecciones polimicrobianas o mixtas”. La bacteria dominante varía en función del tipo de infección, estudios previos demuestran que, si el cuadro clínico viene relacionado con episodios de diarrea, normalmente debido al consumo de alimentos infectados, se debe a una poliinfección de *Aeromonas* junto otras bacterias del género *Campylobacter* y *Salmonella*. (1).

Algunas de las cepas del género son enterotoxigénicas, provocando fiebres muy altas y diarreas; mientras otras cepas son enteroinvasivas, provocando diarreas con mucus y sangre (30). Algunas de las bacterias del género asociadas a procesos gastrointestinales son *Aeromonas hydrophila*, *A. caviae* y *A. veronii* (biotipo *sobria*). También se han aislado con relativa frecuencia de heces *A. media*, pudiendo estar relacionada con casos de colitis crónicas. Desde el primer caso de infección humana por *Aeromonas* en Jamaica en el año 1954, se considera a este grupo de bacterias como agente de diarreas, incluyéndose en la lista de organismos que requieren control por algunas autoridades alimentarias a nivel mundial (31).

A pesar de que la gastroenteritis se considera común y fácil de tratar, es una de las causas más frecuentes de translocación intestinal bacteriana, llevando a complicaciones graves como peritonitis o colitis. Las primeras, son procesos inflamatorios del peritoneo, generalmente causadas por infecciones bacterianas. Por ejemplo, en Corea se notificó en 2018, un caso de peritonitis relacionado con una infección por *A. hydrophila*. Durante un proceso de diálisis peritoneal, un paciente lavó una de las partes desechables del dispositivo con agua del grifo, y posteriormente desarrolló dolores abdominales agudos que terminaron en una peritonitis (32). Por otro lado, la colitis ulcerosa se da por un desequilibrio del sistema inmune frente a la presencia de antígenos externos como son los microorganismos. *Aeromonas* es capaz de desarrollar colitis invadiendo la mucosa intestinal o secretando toxinas que produzcan la inflamación del intestino, como presencia de la continuidad del proceso infeccioso (33). En México en 2014, se recoge un caso de una mujer con dolor abdominal y diarrea 3 días después de comer pescado. Diversos análisis detectaron úlceras e inflamación, con la detección de *Aeromonas spp* (34). Frecuentemente, se han aislado estas bacterias en heces de pacientes de menos de 5 años y de diversas partes del cuerpo en adultos (35).

### **Medidas de control**

El Reglamento (CE) n° 2073/2005, relativo a los criterios microbiológicos aplicables a los productos alimenticios, no contempla el control de *Aeromonas* como obligatorio (36). Tampoco el Real Decreto 1614/2008 de 3 de octubre, relativo a los requisitos zoonosarios de los animales y de los productos de la acuicultura, así como a la prevención y el control de determinadas enfermedades de los animales acuáticos hace referencia a las normas sobre criterios microbiológicos aplicables a productos de la industria pesquera con respecto al control de *Aeromonas* (37).

Sin embargo, en la Guía para la Gestión Sanitaria en Acuicultura desarrollada por la Junta Nacional Asesora de Cultivos Marinos (JACUMAR), se nombra a *A. salmonicida* como patógeno relevante en peces suponiendo un riesgo regional en algunas comunidades autónomas de España (38). En el Plan Nacional de Gestión Sanitaria de la Acuicultura (GESAC) recomienda como medida de control, analizar bazo, hígado o riñón de estos peces para comprobar la presencia del patógeno. Como método de detección se recomienda el cultivo directo en medio TSA (Agar Triptona-Soja). También recomiendan

la desinfección de las superficies de huevos de peces con yodo antes y después de sus llegadas a las piscifactorías para evitar la contaminación con *A. salmonicida* (39).

La EPA (Agencia de Protección Ambiental de Los Estados Unidos de América) considera al género *Aeromonas* dentro de la lista de “Candidatos a Contaminantes por la EPA”, al ser capaces de causar enfermedades en animales que terminarán por convertirse en productos marinos de consumo humano, causando así infecciones en estos últimos, particularmente entre pacientes inmunodeprimidos (40). También la FDA en el “Bad Bug Book”, incluye a las especies del género *Aeromonas* como un patógeno contaminante de múltiples alimentos y señalan la importancia de su control y seguimiento (42).

## **5. Conclusiones**

- El género *Aeromonas* es fenotípica y genotípicamente muy heterogéneo, lo cual dificulta su aislamiento e identificación del medio ambiente y de las muestras clínicas. Esto ha llevado, a que el diagnóstico tenga un enfoque basado en la genotipificación como la ribotipificación y el análisis del gen *gyrB*.
- Las *Aeromonas* son organismos versátiles y adaptables que pueden encontrarse en ambientes acuáticos diversos, incluyendo agua dulce y salada, así como en alimentos crudos y procesados. Estas bacterias poseen una amplia gama de factores de virulencia, como toxinas, enzimas y sistemas de adherencia, que les permiten colonizar y causar infecciones en hospedadores susceptibles.
- Las enfermedades producidas por *Aeromonas* abarcan desde infecciones gastrointestinales leves, hasta infecciones sistémicas graves, como la septicemia. Además, estas bacterias pueden desencadenar enfermedades en animales acuáticos, incluyendo peces y anfibios, lo que tiene implicaciones tanto en la acuicultura como en la conservación de especies.
- Durante mucho tiempo, la gastroenteritis por *Aeromonas* ha sido subestimada. Sin embargo, el aumento de su incidencia debe de concienciar a la comunidad científica a seguir profundizando en este grupo para así tener una mayor comprensión de la epidemiología y la virulencia de estas bacterias, lo que es fundamental para el desarrollo de estrategias de prevención, diagnóstico y tratamientos efectivos.



## 6. Bibliografía

1. Janda, J. M., & Abbott, S. L. (2010). The Genus *Aeromonas*: Taxonomy, Pathogenicity, and Infection. *Clinical Microbiology Reviews*, 23(1), 35-73. <https://doi.org/10.1128/cmr.00039-09>
2. Silver, A. C., Williams, D. R., Faucher, J., Horneman, A. J., Gogarten, J. P., & Graf, J. (2011). Complex Evolutionary History of the *Aeromonas veronii* Group Revealed by Host Interaction and DNA Sequence Data. *PLOS ONE*, 6(2), e16751. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0016751>
3. Fernández-Bravo, A., & Figueras, M. J. (2020). An Update on the Genus *Aeromonas*: Taxonomy, Epidemiology, and Pathogenicity. *Microorganisms*, 8(1), 129. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8010129>
4. Colwell, R. R., MacDonell, M., & De Ley, J. (1986). Proposal to Recognize the Family *Aeromonadaceae* fam. nov. *International journal of systematic bacteriology*, 36(3), 473-477. <https://doi.org/10.1099/00207713-36-3-473>
5. Martínez-Murcia, A. J., Benlloch, S., & Collins, M. D. (1992). Phylogenetic Interrelationships of Members of the Genera *Aeromonas* and *Plesiomonas* as Determined by 16S Ribosomal DNA Sequencing: Lack of Congruence with Results of DNA-DNA Hybridizations. *International journal of systematic bacteriology*, 42(3), 412-421. <https://doi.org/10.1099/00207713-42-3-412>
6. Figueras, M.J., Beaz-Hidalgo, R., Collado, L., Martínez-Murcia, A.J. (2011). Recommendations for a new bacterial species description based on analyses of the unrelated genera *Aeromonas* and *Arcobacter*. *The Bulletin of Bergey's International Society for Microbial Systematics*. Parte 1, 1-16. <https://www.researchgate.net/publication/285286653>
7. Yáñez, M., Catalán, V., Apráiz, D., Figueras, M. J., & Martínez-Murcia, A. J. (2003). Phylogenetic analysis of members of the genus *Aeromonas* based on *gyrB* gene sequences. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 53(3), 875-883. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.02443-0>
8. Soler, L., Yáñez, M., Chacón, M. R., Aguilera-Arreola, M. G., Catalán, V., Figueras, M. J., & Martínez-Murcia, A. J. (2004). Phylogenetic analysis of the genus *Aeromonas* based on two housekeeping genes. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 54(5), 1511-1519. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.03048-0>
9. Bhunia, A. K. (2018). Opportunistic and Emerging Foodborne Pathogens: *Aeromonas hydrophila*, *Plesiomonas shigelloides*, *Cronobacter sakazakii*, and *Brucella abortus*. En *Food science text series* (pp. 343-350). Springer Nature. [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-7349-1\\_20](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-7349-1_20)
10. Majeed, S., De Silva, L. A. D. S., Kumara, P. M., & Heo, G. (2023). Occurrence of potential virulence determinants in *Aeromonas* spp. isolated from different aquatic environments. *Journal of Applied Microbiology*, 134(3). <https://doi.org/10.1093/jambio/txad031>
11. Martin-Carnahan, A., Joseph, S. W. 2005. Genus I: *Aeromonas*. *Bergey's Manual of systematic bacteriology* (2nd edn). Springer, 2: 557-578. <https://doi.org/10.1007/0-387-28021-9>
12. Nagar, V., Shashidhar, R., & Bandekar, J. R. (2013). Characterization of *Aeromonas* strains isolated from Indian foods using *rpoD* gene sequencing and whole cell protein analysis. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 29(4), 745-752. <https://doi.org/10.1007/s11274-012-1212-1>
13. Franco-Monsreal, J., Flores-Abuxapqui, J. J., Suárez-Hoíl, G., Puc-Franco, M. A., Heredia-Navarrete, M. R., Vivas-Rosel, M. L. (2016). Prevalencia de *Aeromonas hydrophila* en alimentos marinos de origen animal de restaurantes de la ciudad de Mérida, Yucatán, México. *Higiene*, 3(1), 144-54. <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=103321>
14. Davies, A., Capell, C. J., Jehanno, D., Nychas, G. J., & Kirby, R. (2001). Incidence of foodborne pathogens on European fish. *Food Control*, 12(2), 67-71. [https://doi.org/10.1016/s0956-7135\(00\)00022-0](https://doi.org/10.1016/s0956-7135(00)00022-0)
15. Beaz-Hidalgo, R., Agüeria, D., Latif-Eugenín, F., Yeannes, M. I., & Figueras, M. J. (2015). Molecular characterization of *Shewanella* and *Aeromonas* isolates associated with spoilage of Common carp (*Cyprinus carpio*). *Fems Microbiology Letters*, 362(1), 1-8. <https://doi.org/10.1093/femsle/fnu029>

16. Pereira, C. S., De Albuquerque Possas, C., Viana, C. M., & Rodrigues, D. D. P. (2004). *Aeromonas* spp. e *Plesiomonas shigelloides* isoladas a partir de mexilhões (Perna perna) in natura e pré-cozidos no Rio de Janeiro, RJ. *Food Science and Technology*, 24(4), 562-566. <https://doi.org/10.1590/s0101-20612004000400014>
17. Jjemba, P., Weinrich, L. A., Cheng, W., Giraldo, E., & LeChevallier, M. W. (2010). Regrowth of Potential Opportunistic Pathogens and Algae in Reclaimed-Water Distribution Systems. *Applied and Environmental Microbiology*, 76(13), 4169-4178. <https://doi.org/10.1128/aem.03147-09>
18. Beaz-Hidalgo, R., & Figueras, M. J. (2013). *Aeromonas* spp. whole genomes and virulence factors implicated in fish disease. *Journal of Fish Diseases*, 36(4), 371-388. <https://doi.org/10.1111/jfd.12025>
19. Tomás, J. M. (2012). The Main *Aeromonas* Pathogenic Factors. *ISRN Microbiology (Print)*, 2012, 1-22. <https://doi.org/10.5402/2012/256261>
20. Romero, A., Saraceni, P. R., Merino, S., Figueras, A., Tomás, J. M., & Novoa, B. (2016). The Animal Model Determines the Results of *Aeromonas* Virulence Factors. *Frontiers in Microbiology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01574>
21. Martínez, M. J., Simon-Pujol, D., Congregado, F., Merino, S., Rubires, X., & Tomás, J. M. (1995). The presence of capsular polysaccharide in mesophilic *Aeromonas hydrophila* serotypes O:11 and O:34. *Fems Microbiology Letters*. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.1995.tb07502.x>
22. Chopra, A. K., Xu, X. P., Ribardo, D. A., Gonzalez, M. B., Kuhl, K. R., Peterson, J. L., & Houston, C. W. (2000). The Cytotoxic Enterotoxin of *Aeromonas hydrophila* Induces Proinflammatory Cytokine Production and Activates Arachidonic Acid Metabolism in Macrophages. *Infection and Immunity*, 68(5), 2808-2818. <https://doi.org/10.1128/iai.68.5.2808-2818.2000>
23. Bernheimer, A. W., & Avigad, L. S. (1974). Partial Characterization of Aerolysin, a Lytic Exotoxin from *Aeromonas hydrophila*. *Infection and Immunity*, 9(6), 1016-1021. <https://doi.org/10.1128/iai.9.6.1016-1021.1974>
24. Reith, M., Singh, R. S., Curtis, B., Boyd, J., Bouevitch, A. B., Kimball, J., Munholland, J., Murphy, C., Sarty, D., Williams, J. D., Nash, J. H. E., Johnson, S. W., & Brown, L. (2008). The genome of *Aeromonas salmonicida* subsp. *salmonicida* A449: insights into the evolution of a fish pathogen. *BMC Genomics*, 9(1), 427. <https://doi.org/10.1186/1471-2164-9-427>
25. Latif-Eugenín, F., Beaz-Hidalgo, R., & Figueras, M. J. (2016). A culture independent method for the detection of *Aeromonas* spp. from water samples. *Italian Journal of Food Safety*. <https://doi.org/10.4081/ijfs.2016.5489>
26. Sha, J., Erova, T. E., Alyea, R. A., Wang, S., Olano, J. P., Pancholi, V., & Chopra, A. K. (2009). Surface-Expressed Enolase Contributes to the Pathogenesis of Clinical Isolate SSU of *Aeromonas hydrophila*. *Journal of Bacteriology*, 191(9), 3095-3107. <https://doi.org/10.1128/jb.00005-09>
27. Alperi, A., & Figueras, M. J. (2010). Human isolates of *Aeromonas* possess Shiga toxin genes (stx1 and stx2) highly similar to the most virulent gene variants of *Escherichia coli*. *Clinical Microbiology and Infection*, 16(10), 1563-1567. <https://doi.org/10.1111/j.1469-0691.2010.03203.x>
28. Francki, K. T. (2000). Identification of genes associated with copper tolerance in an adhesion-defective mutant of *Aeromonas veronii* biovar *sobria*. *Fems Immunology and Medical Microbiology*, 29(2), 115-121. [https://doi.org/10.1016/s0928-8244\(00\)00195-4](https://doi.org/10.1016/s0928-8244(00)00195-4)
29. Ghenghesh, K. S., Ahmed, S. A., El-Khalek, R. A., Al-Gendy, A., & Klena, J. D. (2008). *Aeromonas*-Associated Infections in Developing Countries. *Journal of Infection in Developing Countries*, 2(02). <https://doi.org/10.3855/t2.2.81>
30. García, M. L., Otero, A., García-Fernández, M. C., Santos, J. A. (1993). Incidencia, comportamiento y control de *Aeromonas hydrophila* en productos cárnicos y lácteos. *MICROBIOLOGÍA SEM* 9, 49-56.
31. Hill, K. W., Fh, C., & Moody, L. M. (1954). A case of acute, metastatic, myositis caused by a new organism of the family: *Pseudomonadaceae*; a preliminary report. *PubMed*, 3(1), 9-11. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/13196303>
32. Kim, H. J., Park, D. H., Bae, E., Kim, H., Kim, B. J., Moon, K. H., & Lee, D. H. (2018). A Case of Peritoneal Dialysis-related Peritonitis Caused by *Aeromonas hydrophila* in the Patient Receiving

- Automated Peritoneal Dialysis. *Electrolyte & Blood Pressure*.  
<https://doi.org/10.5049/ebp.2018.16.2.27>
33. Bhaijee, F., Arnold, C. A., Lam-Himlin, D., Montgomery, E. A., & Voltaggio, L. (2015). Infectious mimics of inflammatory bowel disease. *Diagnostic histopathology*, 21(7), 267-275. <https://doi.org/10.1016/j.mpdhp.2015.06.015>
  34. Morales-Fuentes, G. A., Páez-Zayas, V. M., La Rosa, Y. G., Villar-Chávez, S., Ramírez-Cisneros, D., Carballo-Zarate, A., Donis-Hernández, J., González-Fernández, C., Salas-Lozano, N. G., Pineda-Figueroa, L., & Pantaléon-Martínez, C. (2014). Colitis ulcerosa infecciosa por *Aeromonas spp.* *Endoscopia*. <https://doi.org/10.1016/j.endomx.2014.04.004>
  35. Daskalov, H. (2006). The importance of *Aeromonas hydrophila* in food safety. *Food Control*, 17(6), 474-483. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2005.02.009>
  36. Soriano, P. S. (2014). Reglamento (CE) No 2073/2005. La flexibilidad en los criterios microbiológicos de los alimentos. *Información Veterinaria*, 1, 23-28. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6893685>
  37. Ledesma, S. (2014). Real Decreto 1614-2008, Art. 26: Medidas de Control Iniciales. *Leyes Españolas*. <https://leyes.org.es/art-26-del-real-decreto-1614-2008/>
  38. [https://www.mapa.gob.es/es/pesca/temas/acuicultura/mejora\\_jaulas\\_if\\_tcm30-631893.pdf](https://www.mapa.gob.es/es/pesca/temas/acuicultura/mejora_jaulas_if_tcm30-631893.pdf)
  39. [https://www.observatorio-acuicultura.es/sites/default/files/images/adjuntos/libros/guia\\_gestion\\_sanitaria\\_acuicultura2017.pdf](https://www.observatorio-acuicultura.es/sites/default/files/images/adjuntos/libros/guia_gestion_sanitaria_acuicultura2017.pdf)
  40. Drinking Water Contaminant Candidate List (CCL) and Regulatory Determination | US EPA. (2023, 19 abril). US EPA. <https://www.epa.gov/ccl>
  41. Food and Drug Administration (FDA). 2009. *Bad Bug Book: Introduction Foodborne Pathogenic Microorganisms and Natural Toxins Handbook*. <https://www.fda.gov/food/foodborne-pathogens/bad-bug-book-second-edition>