

# EFFECTO DEL H<sub>2</sub>S EN PECES

El **Sulfuro de Hidrógeno (H<sub>2</sub>S)** es un gas altamente tóxico que plantea graves problemas en la acuicultura en la cría de salmónidos en sistemas de recirculación de agua (RAS), con mayor importancia en sistemas salinos, produciendo altos niveles de mortalidad aguda.

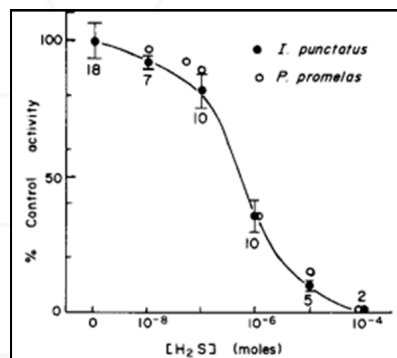
## ORIGEN DE H<sub>2</sub>S

Este gas conocido por su distintivo olor a "huevo podrido", se origina a partir de la descomposición anaeróbica bacteriana de proteínas y materia orgánica con componentes de sulfuro (Ross *et al.* 2020). Las bacterias reductoras de sulfato (SRB) generan H<sub>2</sub>S al utilizar el sulfato como aceptor de electrones en ausencia de nitrato (González-Carvajal 2023).

## EFFECTO TÓXICO DE H<sub>2</sub>S

El H<sub>2</sub>S, liberado en la columna de agua, afecta las superficies mucosas de los peces, como las branquias y los órganos olfatorios. El gas penetra fácilmente en las membranas celulares de las branquias, afectando la respiración mitocondrial al bloquear sistemas enzimáticos con hierro férrico y la enzima citocromo c oxidasa, impidiendo la producción de ATP (Kiemer *et al.* 1995; Cooper & Brown, 2008; Hughes *et al.*, 2009).

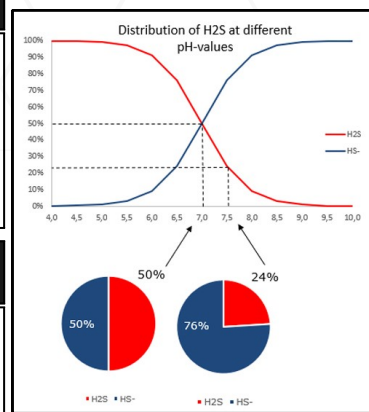
En Channel catfish (*Ictalurus punctatus*) expuestos a H<sub>2</sub>S, se observó hipernea y falla respiratoria después de 30 minutos de exposición. Además, se notó una inhibición del 74% en la enzima citocromo oxidasa branquial, esencial para la respiración (Torrans & Clemens, 1982).



**Gráfico 1.** Efecto de la concentración de H<sub>2</sub>S en la actividad in vitro de la enzima citocromo oxidasa en channel catfish (*I. punctatus*) (Torrans & Clemens, 1982).

## FACTORES DE RIESGO: CALIDAD DE AGUA

MEDIDAS INICIALES	PREVENCIÓN	VALORES DE LC50 (96 horas)
<ul style="list-style-type: none"> <li>Identificación de fuentes.</li> <li>Introducción de agua limpia.</li> <li>Mantenimiento de nitrato alto (≥ 40 mg/L).</li> <li>Aumento del pH del agua. (Åtland y Stenberg, 2019)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Optimización de diseños y operación RAS.</li> <li>Remoción eficiente de sólidos.</li> <li>Mantenimiento adecuado de los biofiltros. (Rojas-Tirado <i>et al.</i>, 2021)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Especies agua dulce: 20-50 µg/L</li> <li>Especies marinas: 50-500 µg/L</li> </ul> <p>(Boyd C., 2014)</p>
RELACIÓN CON pH	ELIMINACIÓN DE H <sub>2</sub> S	VALORES EXPOSICIÓN MÁXIMA
<ul style="list-style-type: none"> <li>Más acentuado a pH bajo.</li> <li>Menos peligroso a pH alto (se encuentra como anión bisulfuro, HS<sup>-</sup>).</li> <li>A pH 7,5 se une al 75% y a pH 7,0 se une al 50% del agua para formar HS<sup>-</sup>. (ver Gráfico 2). (Hamann H., 2020)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Combinación de HS<sup>-</sup> con metales para formar sulfuros metálicos.</li> <li>Desgasificación de H<sub>2</sub>S.</li> <li>Oxidación por ozono, oxígeno y nitrato a formas menos tóxicas. (Boyd C., 2014)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Especies agua dulce: ≤ 2 µg/L</li> <li>Especies marinas: ≤ 5 µg/L</li> </ul> <p>(Boyd C., 2014)</p>



**Gráfico 2.** Distribución del H<sub>2</sub>S a diferentes valores de pH (Hamann H., 2020).

## EXPRESIÓN GÉNICA: EXPOSICIÓN A H<sub>2</sub>S

Ross *et al.*, 2023 realizó un análisis de la exposición *S. salar* a distintos niveles de H<sub>2</sub>S durante 1 hora (control: 0 µM; baja exposición: 0,6 µM; alta exposición: 1,2 µM), analizando en branquias, órgano olfatorio, piel e intestino posterior 4 grupos de genes:

- Desintoxicación de sulfuro:** sqor1, sqor2 y suox
- Mucinas:** muc5ac, muc5b y muc2
- Inmunidad (interleuquinas):** IL-1B, IL-8 e IL-10
- Respuesta al estrés:** gpx, cat, prdx3, hsp70, hsp90, casp3 y gsta

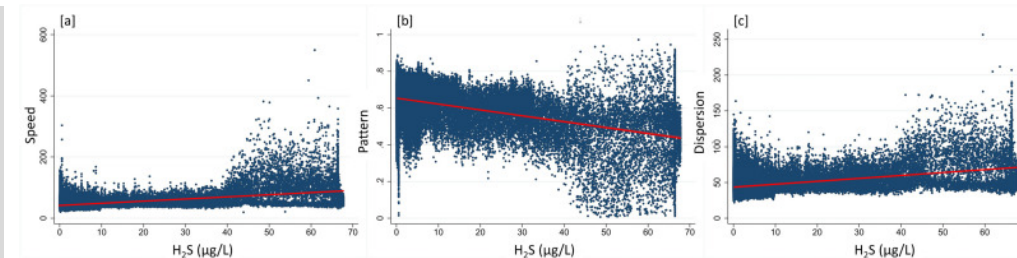
ÓRGANO	GENES AFECTADOS
BRANQUIA	Genes de estrés con regulación (+) significativa.
PIEL	Todos los genes con regulación (+) significativa, excepto IL-10.
ÓRGANO OLFATORIO	Genes marcadores con regulación (-), especialmente en grupo de baja dosis.

## PARÁMETROS DE NATACIÓN

Un estudio de Ciani *et al.*, 2023 analizó el comportamiento de natación de salmón del Atlántico a través de un sistema de visión artificial. El estudio reveló que es posible detectar alteraciones en el comportamiento de natación de los peces, reaccionando con un aumento en la velocidad de nado, un patrón errático y una merma en la conducta de cardumen (dispersión), indicando una respuesta al estrés (ver Gráfico 3).

Concentraciones de aproximadamente de 40 a 50 µg/L provocaron cambios de comportamiento más notorios en comparación con concentraciones más bajas, y concentraciones mayores de H<sub>2</sub>S no resultaron en modificaciones adicionales en el comportamiento. Además, se observó un aumento en la frecuencia de ventilación (aumento de movimientos operculares y orales) (Ciani *et al.*, 2023).

**Gráfico 3.** Los gráficos de dispersión y las predicciones lineales (líneas rojas) muestran la relación entre la concentración medida de H<sub>2</sub>S y los parámetros de natación para 170,355 puntos de datos. La velocidad [a] y la dispersión [c] aumentan, mientras que el patrón [b] disminuye a concentraciones más altas de H<sub>2</sub>S.

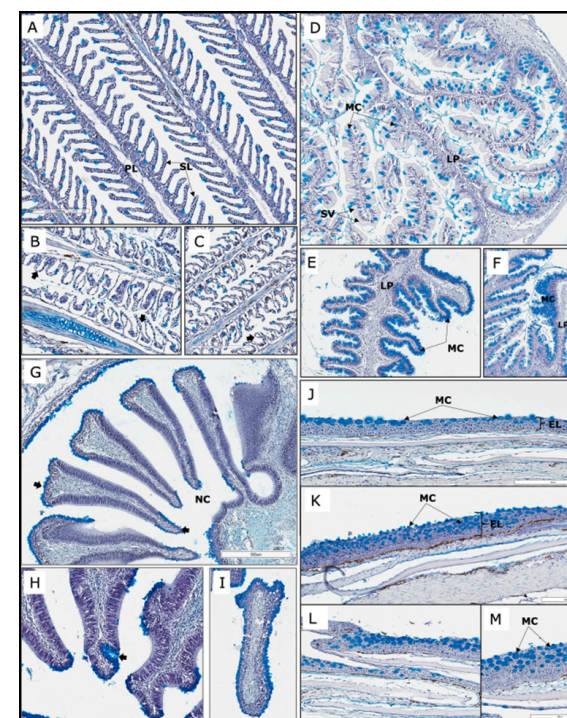


## CAMBIOS HISTOLÓGICOS

Peces expuestos a niveles crónicos subletales de H<sub>2</sub>S pueden mostrar cambios en las branquias, como patrones de clubbing e hiperplasia y fusión lamelar. En casos de exposiciones agudas las branquias pueden presentar lifting del epitelio lamelar, un incremento de las células mucosas, inflamación y telangiectasia lamelar.

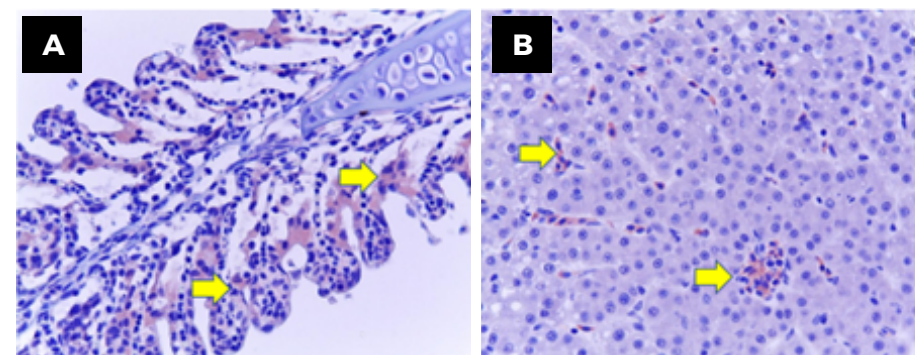
En hígado, para los casos de exposición crónica, se puede observar necrosis hepática difusa y degeneración vacuolar (Kiemer *et al.* 1995).

ÓRGANO	HALLAZGOS (Ross <i>et al.</i> , 2023)
BRANQUIA	Exposición a altos niveles de H <sub>2</sub> S causó un significativo aumento en el daño tisular, con graves casos de lifting del epitelio lamelar.
INTESTINO	La exposición a H <sub>2</sub> S, ya sea en niveles bajos o altos, los casos graves resultaron en una reducción de la longitud de vellosidades, mayor presencia de células mucosas y aumento leve del ancho de la lámina propia.
ÓRGANO OLFATORIO	Cambios menores en la morfología, como una superficie epitelial rugosa y lesiones locales, con una respuesta significativa de células mucosas especialmente en el grupo de alta exposición.
PIEL	No se encontraron diferencias significativas en la puntuación de daño tisular en la piel, aunque en algunos casos, se volvió notablemente áspera con una densa población de células mucosas en los grupos expuestos a H <sub>2</sub> S.



**Imagen 1.** Branquias de los grupos control (A) y expuestos a H<sub>2</sub>S (B, C), intestino de los grupos control (D) y expuestos a H<sub>2</sub>S (E, F), órgano olfatorio de los grupos control (G) y expuestos a H<sub>2</sub>S (H, I) y piel de los grupos control (J) y expuestos a H<sub>2</sub>S (K, L, M). Lifting (flecha negra gruesa) en branquias (B, C). Lámina propia ensanchada (LP) en el intestino distal (E, F). Superficie moderadamente rugosa de la capa epitelial (EL) de la piel (L, M). Células mucosas (MC) = células de color azul.

## NUEVA HERRAMIENTA DIAGNÓSTICA: INMUNOHISTOQUÍMICA



VeHiCe cuenta con nuevos marcadores fisiológicos como herramientas diagnósticas de inmunohistoquímica para evaluación de alteraciones en la hemoglobina asociados a intoxicaciones con H<sub>2</sub>S y otros tóxicos para peces.

**Imagen 2.** Marcadores fisiológicos por inmunohistoquímica de cambios patológicos de la hemoglobina en casos de mortalidad aguda con sospecha de H<sub>2</sub>S (A: Branquia; B: Hígado).



www.vehice.com

