



Health status of the rainbow trout of the Chalhuanca river

Estado de salud de la trucha arcoíris del río Chalhuanca

Meléndez-Flores Keyro Alberto

<https://orcid.org/0000-0002-5045-6511>

Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, Perú – kmelendez@unamba.edu.pe

(Recepción: 05/04/2023 - Aceptación 03/06/2023)

Abstract. The impact of human pollution on ecosystems is a critical issue. The Chalhuanca River is an important body of water, used for rainbow trout aquaculture, however, it has also been affected by the disposal of wastewater from surrounding cities. Fish deaths have been recorded in the last 10 years and it was decided to evaluate the health status and bactericidal capacity of rainbow trout in the Chalhuanca River. A stratified sample of 36 fish was taken at three different points according to a specific formula. Parameters such as condition factor, hemoglobin, hematocrit, red blood cell count, mean corpuscular volume, mean corpuscular hemoglobin, hemoglobin and cortisol concentration were evaluated. In addition, bactericidal capacity tests were carried out against the *E. coli* strain. The evaluation of these hematological variables reflected an anemic state and chronic stress in the rainbow trout. In conclusion, human contamination has negatively affected the health of rainbow trout in the Chalhuanca River.

Keywords: Anthropogenic, salmon, stress.

Resumen. El impacto de la contaminación humana en los ecosistemas es un asunto crítico. El río Chalhuanca es un cuerpo de agua importante, utilizado para la acuicultura de trucha arcoíris, sin embargo, también ha sido afectado por la eliminación de aguas residuales de las ciudades aledañas. Se han registrado muertes de peces en los últimos 10 años y se decidió evaluar el estado de salud y la capacidad bactericida de la trucha arcoíris en el río Chalhuanca. Se tomó una muestra estratificada de 36 peces en tres puntos diferentes según una fórmula específica. Se evaluaron parámetros como el factor de condición, hemoglobina, hematocrito, conteo de glóbulos rojos, volumen corpuscular medio, hemoglobina corpuscular media, concentración de hemoglobina y cortisol. Además, se realizaron pruebas de capacidad bactericida ante la cepa *E. coli*. La evaluación de estas variables hematológicas reflejó un estado anémico y estrés crónico en la trucha arcoíris. En conclusión, la contaminación humana ha afectado negativamente la salud de la trucha arcoíris en el río Chalhuanca.

Palabras Clave: Antropogénica, salmón, estrés.

1 Introducción

La trucha arcoíris es un pez originario de Norteamérica, introducido en Perú en 1925 y considerado una especie exótica [1]. Es un alimento esencial para la dieta de las familias peruanas, especialmente en áreas de gran altitud de los Andes [2]. La supervivencia de este animal depende de la calidad del agua, con requerimientos específicos de temperatura, oxígeno disuelto y pH [2]. Debido a su alto contenido de proteínas, la trucha arcoíris es muy popular y su consumo contribuye significativamente a la seguridad alimentaria en comunidades con limitada disponibilidad de proteínas de origen animal [3]. La seguridad alimentaria implica que todas las personas tengan acceso a alimentos suficientes, seguros y nutritivos para llevar una vida saludable, independientemente de su situación económica [4]. En algunas partes del mundo, la presencia de contaminantes en el agua afecta la salud de los peces y la disponibilidad de alimentos seguros y nutritivos para las comunidades [5] [6] [7]. La salud de los peces es un indicador útil para evaluar la contaminación del agua, ya que estos animales son bioindicadores confiables. La contaminación antropogénica sigue teniendo un impacto significativo en la biodiversidad de los sistemas acuáticos, y el río Ganges en la India ha sido utilizado como un sitio de disposición de residuos que afecta directamente la vida de los peces silvestres. Se han registrado descargas de efluentes domésticos, residuos de lavanderías y otros tipos de desechos, incluyendo pesticidas, insecticidas y nutrientes utilizados en la agricultura en sus aguas [8]. Se encontró una correlación en Brasil entre el aumento del daño a la salud de los peces en los ríos Tramandai y Mampituba y el crecimiento de las poblaciones cercanas. Esto podría deberse a la liberación de hidrocarburos y metales, así como a cambios en el pH del agua y la temperatura [9]. En la laguna Mamacocha en Cajamarca, Perú, se encontraron sustancias tóxicas que tuvieron efectos negativos en la salud de las truchas arcoíris,

incluyendo alteraciones en la estructura de las branquias, daño y muerte de tejido hepático, y acumulación de líquido en el músculo estriado esquelético [10]. Varios estudios de investigación sugieren que la presencia de contaminantes en los ríos modifica la salud de las especies acuáticas. Por lo que, nos lleva a cuestionar, ¿cuál es el estado de salud de la trucha arcoíris en el río Chalhuanca del departamento de Apurímac, Perú? El río Chalhuanca es un importante afluente en el departamento de Apurímac, principalmente por la presencia de trucha arcoíris, una especie que es fundamental para el sustento alimenticio de muchas familias pobres en los distritos de Cotaruse, Caraibamba y Chalhuanca. Sin embargo, se desconoce si estas truchas son seguras para su consumo debido a que las áreas aledañas al río, como Cotaruse, Caraibamba y Chalhuanca, son zonas altamente agrícolas y también se vierten aguas residuales directamente al río. Este estudio tiene como objetivo evaluar el estado de salud de la trucha arcoíris en el río Chalhuanca, Perú. Se establecieron tres objetivos específicos que incluyen la evaluación de la condición corporal y los componentes sanguíneos de la trucha arcoíris y su capacidad para combatir la bacteria *E. coli* (ATCC 25922).

2 Método

Se examinó a truchas arcoíris silvestres (*Oncorhynchus mykiss*) que viven en el río Chalhuanca, con longitudes entre 13 y 21 cm y pesos entre 30 y 110 gramos, en la etapa juvenil y con una condición corporal de aceptable a pobre. La muestra se determinó utilizando la fórmula de proporciones para poblaciones infinitas, tomando una prevalencia del 2%, como indica el capítulo de vigilancia de enfermedades de animales acuáticos del Código sanitario para animales acuáticos de la OMSA [11]. La fórmula indica que se deben recolectar 31 animales para el muestreo, pero se utilizaron 36 peces. Se recopiló información en tres ubicaciones a lo largo del río. La primera, antes de la ciudad de Cotaruse; la segunda, después de la ciudad de Caraibamba y la tercera, pasando la ciudad de Chalhuanca. Durante el estudio, los peces fueron devueltos al río y solo se utilizaron para el pesado, entallado y extracción de sangre, sin sacrificar a ninguno de ellos. Además, no se usaron agentes anestésicos en los peces debido a sus efectos en el hematocrito. [12].

Las técnicas e instrumentos. La condición corporal y componentes sanguíneos de la trucha arcoíris del río Chalhuanca. Se realizó la evaluación de la condición corporal de las truchas tras el pesado y entallado. Para el pesaje, se empleó una balanza de precisión ubicada en un recipiente con agua. Asimismo, se utilizó un ictiómetro para medir la longitud de cada trucha, desde la punta de la nariz hasta el cruce del pedúnculo caudal, siguiendo la fórmula: $100 \times W(g) / L^3$, como indica Cifuentes *et al.* [13]. Para el análisis de sangre, se extrajeron 3 ml de sangre de la vena caudal de la trucha arcoíris en tubos vacutainer con EDTA para evaluar sus componentes sanguíneos, incluyendo glóbulos rojos, glóbulos blancos, hematocrito, hemoglobina, volumen corpuscular medio, hemoglobina corpuscular media y concentración corpuscular media de hemoglobina [14]. Además, se determinó la concentración de glucosa y cortisol a partir del plasma obtenido [15]. Se utilizaron diferentes métodos para medir los valores sanguíneos en los peces. Se empleó el método colorimétrico enzimático de un solo reactivo de glucosa para medir la glucosa plasmática; el método de microhematocrito con tubos capilares heparinizados para medir el hematocrito, y el equipo HemoCue® para medir la cantidad de hemoglobina. Se aplicó la fórmula descrita por Andrewartha *et al.*, para corregir los resultados obtenidos en peces, ya que el equipo fue diseñado originalmente para el uso en humanos [16] [17]. La capacidad de la trucha arcoíris para combatir la bacteria *E. coli* (ATCC 25922), se llevó a cabo una prueba para evaluar la capacidad de las truchas arcoíris para combatir la bacteria *E. coli* mediante la prueba de capacidad bactericida. Se utilizó el método descrito por Matson [18] con algunas modificaciones según lo descrito por Sueiro y Palacios [14]. Se realizó una prueba para evaluar la capacidad bactericida de la trucha arcoíris contra la bacteria *E. coli*. Se utilizaron aproximadamente 200 unidades formadoras de colonias (UFC) de *E. coli* y se preparó una solución de trabajo. Se diluyeron las muestras de plasma y se agregó la solución de trabajo. Después de la incubación, se sembraron las muestras en placas y se contó el número de colonias. Se prepararon controles de muestra y se calculó el porcentaje de colonias en cada placa dividiendo el número medio de colonias en las placas de control. En el análisis estadístico se realizó en el programa estadístico SPSS 26 y se utilizó la prueba estadística de tukey para la comparación de las variables en estudio, entre los sitios de muestreo, estos datos son cuantitativas continuas.

3 Resultados

Sobre la condición corporal y componentes sanguíneos de la trucha arcoíris del río Chalhuanca, el estudio se centró en truchas arcoíris de diferentes zonas y se observó que las truchas de Chalhuanca tenían una conformación corporal menos desarrollada que las de Caraibamba y Cotaruse. Los valores de hematocrito en Caraibamba y Chalhuanca no se encontraron dentro de los rangos de referencia. Los niveles de hemoglobina indicaron anemia en todos los sitios muestreados y se utilizó el VCM, el HCM y la CHCM para determinar el tipo de anemia. En todos los lugares, el VCM fue menor a los valores normales, lo que indica microcitosis, y el bajo conteo de HCM indica un estado hipocrómico.

Tabla1. Variables estudiadas para analizar el estado de salud de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en el río Chalhuanca.

Parámetros	Valores de referencia	Cotaruse	Caraibamba	Chalhuanca	P
Peso (g)	-	67.8 ± 15.4 ^a	52.5 ± 11.8 ^a	57.3 ± 24.1 ^a	0.117
Tamaño (cm)	-	174.1 ± 13.7 ^a	163.8 ± 10.1 ^a	166.9 ± 20.8 ^a	0.232
Factor K	1.2 – 2.0 ^[19]	1.27 ± 0.1 ^a	1.19 ± 0.1 ^{ab}	1.17 ± 0.1 ^b	0.048
Hemoglobina (g/dL)	5.6 – 9.4 ^{[20][21]}	4.4 ± 0.9 ^a	4.3 ± 0.9 ^a	4.1 ± 0.6 ^a	0.671
Hematocrito (%)	35 – 44 ^{[21][22]}	36.0 ± 3.8 ^a	33.8 ± 2.9 ^a	29.9 ± 4.3 ^b	0.001
RBC (10 ⁶)	1.30 – 1.58 ^[22]	1.35 ± 0.1 ^a	1.35 ± 0.1 ^a	1.37 ± 0.1 ^a	0.528
VCM (fl)	275 – 369 ^[21]	266.3 ± 33.8 ^a	249.5 ± 28.7 ^a	216.9 ± 29.7 ^b	0.002
HCM (pg)	69 – 102 ^[21]	32.5 ± 6.9 ^a	31.3 ± 6.3 ^a	29.8 ± 4.3 ^a	0.546
CHCM (g/dL)	12 – 22 ^[21]	12.3 ± 2.3 ^a	12.7 ± 2.9 ^a	13.9 ± 2.0 ^a	0.278
Glucosa (mmol/L)	3.89 – 4.14 ^{[15][23]}	4.5 ± 2.2 ^a	3.9 ± 1.8 ^a	3.6 ± 1.5 ^a	0.532
Cortisol (ng/ml)	6 – 14.5 ^[15]	6.3 ± 2.8 ^a	6.1 ± 2.2 ^a	3.4 ± 2.1 ^b	0.007

Se utilizó el valor de P para mostrar las diferencias en los parámetros entre ciudades, y se indicaron las medias y desviaciones estándar para cada ciudad. Las medias que no compartían letras eran significativamente diferentes entre ciudades (a, b). Los valores de referencia se indicaron con superíndices para mostrar las fuentes de donde se obtuvieron [15][19] [20] [21][22][23].

Se encontró que un porcentaje creciente de truchas arcoíris presentaban estrés crónico en dirección al cauce del río, con un 50% en Cotaruse, 75% en Caraibamba y 91.7% en Chalhuanca. Se sugiere que la anemia microcítica e hipocrómica en estas truchas podría estar relacionada con el estrés crónico.

Tabla2. Estado de salud de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en el río Chalhuanca puede ser evaluado a través de la presencia de anemia y estrés en los ejemplares.

	Variable	Cotaruse	Caraibamba	Chalhuanca	Promedio (x)
Estrés	Sin estrés	50.0%	25.0%	8.3%	27.8%
	Estrés crónico	50.0%	75.0%	91.7%	72.2%
	Total	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
Estado anémico	Sin anemia	8.4%	8.3%	0.0%	5.6%
	Anemia hipocrómica	33.3%	16.7%	0.0%	16.7%
	Anemia microcítica hipocrómica	58.3%	75.0%	100.0%	77.8%
	Total	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

La capacidad de la trucha arcoíris para combatir la bacteria *E. coli* (ATCC 25922). se utilizó la técnica de capacidad bactericida del plasma sanguíneo para evaluar la respuesta inmunológica de truchas arcoíris en tres zonas diferentes. Se encontró una variación significativa en las respuestas inmunológicas de los tres grupos, pero no hubo diferencias significativas en la capacidad bactericida de los peces frente a *E. coli*. Además, se observó una relación moderadamente negativa entre las concentraciones de cortisol y hematocrito y las concentraciones de coliformes fecales en el agua, pero no se encontraron diferencias significativas en este parámetro entre las tres ciudades.

Tabla3. Habilidad de la trucha arcoíris para enfrentar y combatir la bacteria *E. coli* (ATCC 25922).

Parámetro	Control	Cotaruse	Caraibamba	Chalhuanca	P
Cantidad de <i>E-coli</i> (UFC/placa)	201[14]	142 ± 51	140 ± 30	139 ± 37	0.9
Capacidad bactericida	60	29.2 ± 25	30.2 ± 14	31.0 ± 18	0.9

Se presentan los resultados como la media y la desviación estándar (x±S). Se utilizó un valor de control para evaluar la actividad bactericida extraída de Suíro y Palacios [14] y el valor de P indica si hay alguna diferencia entre las ciudades analizadas.

4 Discusiones y conclusiones

Se evaluó la salud de la trucha arcoíris a través del Factor K, un índice que proporciona información sobre su reproducción, nutrición, crecimiento y salud. Los resultados muestran que los peces de la ciudad de Cotaruse tienen una mejor conformación que los de las ciudades de Caraibamba y Chalhuanca, siendo estos últimos menos conformados que los primeros. La baja condición corporal también se ha observado en ambientes contaminados [24], y se encontró en otras especies de peces en diferentes lugares del mundo (lago Llanquihue en Chile [25], el lago Temenggor en Malasia [26], el lago Wular [27] y río Gomti en India, y río Niger en Nigeria [28]) debido a la liberación de contaminantes.

La concentración de hemoglobina en los peces es importante para estudiar su adaptabilidad al ambiente [29]. En el río Chalhuanca, las concentraciones son similares entre diferentes ciudades, pero son menores que los valores de referencia. La contaminación de aguas residuales y desechos industriales disminuye los niveles de hemoglobina en peces, como en el caso de los Labeo rohita de los lagos de Bangalore [30]. La hipoxia y la anemia también afectan la concentración de hemoglobina en peces, como se observó en la trucha arcoíris mantenida en condiciones hipóxicas en Canadá [31]. La temperatura también influye en las concentraciones de hemoglobina, pero en el río Chalhuanca, el bajo conteo de hemoglobina no se debe a la variación de temperatura, sino a la presencia de aguas residuales y/o industriales [32].

Según el estudio, el nivel de hematocrito en los peces es importante ya que refleja su capacidad de transporte de oxígeno y su funcionamiento hematopoyético [33]. En la ciudad de Chalhuanca, se observó que las concentraciones de hematocrito en las truchas arcoíris eran menores que en otras ciudades y por debajo del valor de referencia, lo que podría ser causado por la contaminación producida por las actividades humanas, como el suministro de aguas residuales y otros contaminantes [31]. Este cambio ambiental también afecta a la capacidad del pez para utilizar las reservas de células sanguíneas y puede promover la desaparición de las áreas donde suelen desovar [34]. Aunque la temperatura puede influir en la variación del hematocrito, los cambios de temperatura dentro del rango de 5 a 20 °C no producen cambios significativos [30]. Además, se ha observado en otros estudios que la exposición crónica a contaminantes disminuye los niveles de hematocrito en otros tipos de peces [35].

El conteo de glóbulos rojos en los peces puede ser útil para vigilar la contaminación, ya que los productos químicos pueden estimular una condición hipóxica y aumentar la producción de células sanguíneas [36]. Sin embargo, en las truchas arcoíris estudiadas no se encontraron diferencias en los valores de conteo de glóbulos rojos en las diferentes ciudades, y los valores se mantuvieron dentro del rango normal. Esto sugiere que los contaminantes no están afectando la producción de células sanguíneas en estos peces. Estos resultados son similares a los encontrados en estudios anteriores en otras especies de peces expuestos a contaminantes, donde se observó un aumento en el conteo de glóbulos rojos en niveles bajos de contaminantes [37], pero una disminución en niveles más altos [32].

El estudio de los índices eritrocitarios, como la HCM, VCM y CHCM, puede indicar el estado funcional del corazón, la función respiratoria y el equilibrio osmótico en los eritrocitos [38]. Los resultados obtenidos en truchas arcoíris de Chalhuanca, Cotaruse y Caraibamba mostraron que la concentración de VCM es diferente en estas ciudades, mientras que los parámetros de HCM y CHCM son similares. Además, estos valores en las tres ciudades están por debajo del límite del valor de referencia, lo que indica la presencia de microcitocis. Se ha encontrado que los parámetros de HCM y VCM pueden indicar alteraciones en la calidad del agua debido a factores físico-químicos, como la temperatura, la conductividad, los sólidos disueltos totales, el oxígeno disuelto y la presencia de agentes químicos [39]. Además, se han evaluado los efectos de contaminantes, como el Paraquat y el malathion, en diferentes especies de peces y se ha encontrado que disminuyen los valores de Hb, HCM, CHCM y VCM [40] [41]. En otros estudios, se observaron valores bajos de índices eritrocitarios en peces expuestos a contaminantes, como residuos domésticos, metales pesados [42], residuos de la industria textil [30] y la industria del petróleo [43], así como a zinc y plomo [30].

La cría de peces puede estar relacionada con enfermedades como la anemia microcítica normocrómica, que puede ser causada por factores ambientales estresantes, intoxicación por nitritos, amoníaco y metales pesados, o exposición crónica a insecticidas y parásitos [44] [45]. Estas causas pueden provocar diferentes tipos de anemia. Es importante diferenciar la anemia microcítica hipocrómica de otras enfermedades como la talasemia, anemia por enfermedades crónicas e intoxicación por plomo [46].

El estrés en los peces provoca la liberación de catecolaminas y cortisol, cuyos niveles pueden variar debido a factores como cambios en el agua, temperatura, oxígeno, salinidad, estado nutricional y enfermedades [47]. La exposición crónica al estrés puede llevar a una adaptación al tóxico, reduciendo los niveles de cortisol, pero si el estrés es severo o duradero, los peces pueden ingresar en un estado de inadaptación que disminuye su rendimiento y los hace más susceptibles a infecciones [48]. Concentraciones elevadas o bajas de cortisol pueden promover la susceptibilidad a infecciones en peces,

y en mamíferos la falta persistente de disponibilidad de cortisol en la sangre puede aumentar la vulnerabilidad a trastornos relacionados con el estrés [49].

El suero sanguíneo tiene una capacidad antibacteriana inespecífica para detener el crecimiento de microorganismos. La respuesta sérica de *O. mykiss* se muestra en la Tabla 3 y es una prueba confiable para estudios inmunes en peces. El conteo de UFC es utilizado en varios estudios para evaluar la actividad bactericida sérica, como en *Oreochromis niloticus* y *Labeo rohita* [50]. Los valores de conteo de UFC pueden variar debido a modificaciones y concentraciones de bacterias en la prueba de desafío [51].

El estudio evaluó la actividad bactericida sérica de *O. mykiss* de vida libre y encontró que los peces de las tres ciudades de muestreo presentaron una actividad bactericida similar del 30%, que fue menor que el valor de referencia del 60% para inhibir la capacidad de colonización de *E. coli*. Estos resultados fueron similares a los encontrados en estudios anteriores que investigaron la actividad bactericida en peces expuestos a hipoxia y pH bajo [52], así como en peces con infecciones parasitarias, bacterianas y protozoarias [53]. También se ha demostrado que los contaminantes como los metales pesados [54], los medicamentos y los productos químicos en el ambiente acuático pueden disminuir la actividad bactericida [55] y aumentar la susceptibilidad del huésped a los patógenos infecciosos [56].

El estudio encontró que la contaminación humana en la cuenca del río Chalhuanca tiene un impacto negativo en la salud de las truchas arcoíris, incluyendo estrés crónico, anemia y una capacidad reducida para combatir las bacterias *E. coli*.

5 Biografía

Keyro Alberto Meléndez Flores, profesional graduado en Medicina Veterinaria y Zootecnia. Magister en Sanidad Acuicola. Con más de 8 años de experiencia en el sector pecuario y más de 4 años en el sector acuícola, ha enfocado su carrera en la producción de trucha. Ha trabajado en diferentes instituciones como el Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA), el Hospital de Emergencia de Tambobamba, y los Municipios Distritales de Huanacarama, Ancco Huallo, Chalhuanca, San Miguel de Mestizas y Uripa. También ha colaborado con el Programa Nacional de Innovación en Pesca y Acuicultura (PNIPA). Ganador de una beca de posgrado en la Universidad Peruana Cayetano Heredia (UPCH).

6 Referencias

- [1] R. Villa, 'Alimentación de trucha Arco Iris (*Oncorhynchus mykiss*) mediante ensilado químico de vísceras de trucha en la fase de ceba', *Revista EIA*, vol. 18, no. 35, pp. 1–10, 2021. <https://doi.org/10.24050/reia.v18i35.1468>
- [2] L. Pucuhuaranga, 'Estudio de prefactibilidad para la instalación de una piscigranja de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en la provincia de Junín anexo de Huamantla', Universidad Nacional del Centro del Perú, Junín, 2019.
- [3] R. C. M. Zababurú *et al.*, 'Integrating Assessment of Characterization, Sustainability and Efficiency for the Production of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*): A Case Study in the Amazonas Region of Peru', *Agriculture*, vol. 13, no. 2, pp. 390–396, 2023. <https://doi.org/10.3390/agriculture13020390>
- [4] L. Salazar and G. Muñoz, 'Seguridad alimentaria en América Latina y el Caribe', Washington, D.C., Jul. 2019. <https://doi.org/10.18235/0001784>
- [5] L. Marushka *et al.*, 'Importance of fish for food and nutrition security among First Nations in Canada', *Canadian Journal of Public Health*, vol. 112, no. S1, pp. 64–80, Jun. 2021. <https://doi.org/10.17269/s41997-021-00481-z>
- [6] S. Tabrez, T. A. Zughaibi, and M. Javed, 'Water quality index, *Labeo rohita*, and *Eichhornia crassipes*: Suitable bio-indicators of river water pollution', *Saudi J Biol Sci*, vol. 29, no. 1, pp. 75–82, Jan. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.10.052>
- [7] C. Plessl, E. O. Otachi, W. Körner, A. Avenant-Oldewage, and F. Jirsa, 'Fish as bioindicators for trace element pollution from two contrasting lakes in the Eastern Rift Valley, Kenya: spatial and temporal aspects', *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 24, no. 24, pp. 19767–19776, Aug. 2017. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9518-z>
- [8] D. R. Khanna, P. Sarkar, A. Gautam, and R. Bhutiani, 'Fish scales as bio-indicator of water quality of River Ganga', *Environ Monit Assess*, vol. 134, no. 1–3, pp. 153–160, Nov. 2007. <https://doi.org/10.1007/s10661-007-9606-5>
- [9] V. M. de Andrade *et al.*, 'Fish as bioindicators to assess the effects of pollution in two southern Brazilian rivers using the Comet assay and micronucleus test', *Environ Mol Mutagen*, vol. 44, no. 5, pp. 459–468, 2004. <https://doi.org/10.1002/em.20070>
- [10] R. Huancaré, 'Identificación histopatológica de lesiones inducidas por bioacumulación de metales pesados en branquias, hígado y músculo de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) de cultivo en etapa comercial de la laguna de Mamacocha, área de influencia minera, Cajamarca-Perú', Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2014.
- [11] Organización Mundial de Sanidad Animal, 'Código Sanitario para los Animales Acuáticos', *Organización Mundial de Sanidad Animal*, 2022. <https://www.woah.org/es/que-hacemos/normas/codigos-y-manuales/acceso-en-linea-al-codigo-acuatico/> (accessed Mar. 14, 2023).

- [12] I. Orun and A. U. Erdemli, 'A Study on Blood Parameters of Capoeta trutta (Heckel, 1843)', *Journal of Biological Sciences*, vol. 2, no. 8, pp. 508–511, Jul. 2002. <https://doi.org/10.3923/jbs.2002.508.511>
- [13] R. Cifuentes *et al.*, 'Relación longitud-peso y factor de condición de los peces nativos del río San Pedro (cuenca del río Valdivia, Chile)', *Gayana (Concepción)*, vol. 76, pp. 86–100, 2012. <https://doi.org/10.3923/jbs.2002.508.511>
- [14] M. C. Sueiro and M. G. Palacios, 'Immunological and health-state parameters in the Patagonian rockfish *Sebastes oculatus*. Their relation to chemical stressors and seasonal changes', *Fish Shellfish Immunol*, vol. 48, pp. 71–78, Jan. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2015.11.021>
- [15] M. Martinez, L. Martínez, and R. Ramos, 'Cortisol and Glucose: Reliable indicators of fish stress?', *Panam J Aquat Sci*, vol. 4, no. 2, pp. 158–178, 2009.
- [16] O. A. Akinrotimi, E. E. Orlu, and U. U. Gabriel, 'Haematological Responses of *Tilapia guineensis* Treated with Industrial Effluents', *Applied Ecology and Environmental Sciences*, vol. 1, no. 1, pp. 10–13, Jan. 2013. <https://doi.org/10.12691/aees-1-1-3>
- [17] S. J. Andrewartha, S. L. Munns, and A. Edwards, 'Calibration of the HemoCue point-of-care analyser for determining haemoglobin concentration in a lizard and a fish', *Conserv Physiol*, vol. 4, no. 1, p. cow006, Mar. 2016. <https://doi.org/10.1093/conphys/cow006>
- [18] K. D. Matson, B. I. Tieleman, and K. C. Klasing, 'Capture Stress and the Bactericidal Competence of Blood and Plasma in Five Species of Tropical Birds', *Physiological and Biochemical Zoology*, vol. 79, no. 3, pp. 556–564, May 2006. <https://doi.org/10.1086/501057>
- [19] R. Sharma and R. Bhat, 'Length-weight relationship, condition factor of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) from Kashmir waters', *Ann Biol Res*, vol. 6, no. 8, pp. 25–29, 2015.
- [20] T. D. Clark, E. J. Eliason, E. Sandblom, S. G. Hinch, and A. P. Farrell, 'Calibration of a hand-held haemoglobin analyser for use on fish blood', *J Fish Biol*, vol. 73, no. 10, pp. 2587–2595, Dec. 2008. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2008.02109.x>
- [21] M. A. Jalali, E. Ahmadifar, M. Sudagar, and G. A. Takami, 'Growth efficiency, body composition, survival and haematological changes in great sturgeon (*Linnaeus, 1758*) juveniles fed diets supplemented with different levels of Ergosan', *Aquac Res*, vol. 40, no. 7, pp. 804–809, Apr. 2009. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2009.02166.x>
- [22] D. Reinoso, 'Comparación del conteo diferencial de glóbulos blancos de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), en las etapas juvenil y adulta, en una explotación piscícola, ubicada en el cantón Rumiñahui, Pichincha Ecuador', UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR, Quito, 2017.
- [23] P. Rojas, 'Efecto de la dieta sobre los niveles plasmáticos de insulina y glucagón en trucha arco iris (*oncorhynchus mykiss*) y dorada (*sparus aurata*) y caracterización del transportador de glucosa de dorada', UNIVERSIDAD DE BARCELONA, Barcelona, 2005.
- [24] C. A. Kumolu-Johnson and P. E. Ndimele, 'Length-Weight Relationships and Condition Factors of Twenty-One Fish Species in Ologe Lagoon, Lagos, Nigeria', *Asian Journal of Agricultural Sciences*, vol. 2, no. 4, pp. 174–179, 2010.
- [25] I. Arismendi, B. Penaluna, and D. Soto, 'Body condition indices as a rapid assessment of the abundance of introduced salmonids in oligotrophic lakes of southern Chile', *Lake Reserv Manag*, vol. 27, no. 1, pp. 61–69, Mar. 2011. <https://doi.org/10.1080/07438141.2010.536617>
- [26] Mu. Abd. Hamid, M. Mansor, and S. A. Mohd. Nor, 'Length-weight Relationship and Condition Factor of Fish Populations in Temengor Reservoir: Indication of Environmental Health', *Sains Malays*, vol. 44, no. 1, pp. 61–66, Jan. 2015. <https://doi.org/10.17576/jsm-2015-4401-09>
- [27] S. T. Mushtaq, S. A. Mushtaq, M. Balkhi, F. Bhat, and I. Farooq, 'Estimation of length-weight relationship and condition factor of *Crossocheilus diplocheilus* (Heckel, 1838): A freshwater benthopelagic fish from Wular Lake in Kashmir Himalaya', *International Journal of Fisheries and Aquatic Studie*, vol. 4, no. 6, pp. 522–525, 2016.
- [28] B. K. Gupta, U. K. Sarkar, S. K. Bhardwaj, and A. Pal, 'Condition factor, length-weight and length-length relationships of an endangered fish *Ompok pabda* (Hamilton 1822) (Siluriformes: Siluridae) from the River Gomti, a tributary of the River Ganga, India', *Journal of Applied Ichthyology*, vol. 27, no. 3, pp. 962–964, Jun. 2011. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2010.01625.x>
- [29] G. F. LANDINI, A. R. SCHWANTES, and M. L. B. SCHWANTES, 'Astyanax scabripinnis (Pisces: Characidae) hemoglobins: structure and function', *Brazilian Journal of Biology*, vol. 62, no. 4a, pp. 595–599, Nov. 2002. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842002000400006>
- [30] B. Zutshi, S. G. R. Prasad, and R. Nagaraja, 'Alteration in hematology of *Labeo rohita* under stress of pollution from Lakes of Bangalore, Karnataka, India', *Environ Monit Assess*, vol. 168, no. 1–4, pp. 11–19, Sep. 2010. <https://doi.org/10.1007/s10661-009-1087-2>
- [31] D. L. Simonot and A. P. Farrell, 'Cardiac remodelling in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* Walbaum in response to phenylhydrazine-induced anaemia', *Journal of Experimental Biology*, vol. 210, no. 14, pp. 2574–2584, Jul. 2007. <https://doi.org/10.1242/jeb.004028>

- [32] R. Ravichandran, D. Madhavan, R. Rengarajan, and S. Muthuvelu, 'Impact of haematological characteristic alteration in tannery effluent treated fish *channa punctatus*', *Int. J. Zool. Appl. Biosci*, vol. 1, no. 2, pp. 72–75, 2016.
- [33] N. Ciftci, 'EFFECTS OF LEAD CONCENTRATIONS ON SERA PARAMETERS AND HEMATOCRIT LEVELS IN *Anguilla anguilla* (Linnaeus, 1758)', *J Fishscicom*, vol. 2, no. 4, 2008. <https://doi.org/10.3153/jfscicom.2008025>
- [34] Y. Thomas, J. Flye-Sainte-Marie, D. Chabot, A. Aguirre-Velarde, G. M. Marques, and L. Pecquerie, 'Effects of hypoxia on metabolic functions in marine organisms: Observed patterns and modelling assumptions within the context of Dynamic Energy Budget (DEB) theory', *J Sea Res*, vol. 143, pp. 231–242, Jan. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2018.05.001>
- [35] S. L. Shah, 'Hematological parameters in tench *Tinca tinca* after short term exposure to lead', *Journal of Applied Toxicology*, vol. 26, no. 3, pp. 223–228, May 2006. <https://doi.org/10.1002/jat.1129>
- [36] E. M. Pala and S. Dey, 'Microscopy and Microanalysis of Blood in a Snake Head Fish, *Channa gachua* Exposed to Environmental Pollution', *Microscopy and Microanalysis*, vol. 22, no. 1, pp. 39–47, Feb. 2016. <https://doi.org/10.1017/S1431927616000519>
- [37] P. Soni, S. Sharma, S. Sharma, S. Kumar, and K. P. Sharma, 'A comparative study on the toxic effects of textile dye wastewaters (untreated and treated) on mortality and RBC of a freshwater fish *Gambusia affinis* (Baird and Gerard).', *J Environ Biol*, vol. 27, no. 4, pp. 623–8, Oct. 2006.
- [38] G. Atencio, L. Genes, M. Madariaga, and C. Pardo, 'Hematología y química sanguínea de juveniles de Rubio (*Salminus affinis* Pisces:Characidae) del Río Sinú', *Acta Biolo Colomb*, vol. 12, no. 3, pp. 27–40, Mar. 2007, [Online]. Available: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-548X2007000300003&nrm=iso
- [39] L. L. Corrêa, L. C. Karling, R. M. Takemoto, P. S. Ceccarelli, and M. T. Ueta, 'Hematological parameters of *Hoplias malabaricus* (Characiformes: Erythrinidae) parasitized by *Monogenea* in lagoons in Pirassununga, Brazil', *Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária*, vol. 22, no. 4, pp. 457–462, Dec. 2013. <https://doi.org/10.1590/S1984-29612013000400003>
- [40] R. Salazar-Lugo, A. Estrella, A. Oliveros, E. Rojas-Villarroel, L. Villalobos de B, and M. Lemus, 'Paraquat and temperature affect nonspecific immune response of *Colossoma macropomum*', *Environ Toxicol Pharmacol*, vol. 27, no. 3, pp. 321–326, May 2009. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2008.11.010>
- [41] A. Chowdhury and M. Haq, 'Alteration of haematological parameters of "zeol fish"- *Clarias batrachus* exposed to malathion', *Bangladesh J Zool*, vol. 40, no. 2, pp. 183–188, Mar. 2013. <https://doi.org/10.3329/bjz.v40i2.14311>
- [42] Zh. Zhelev, D. Mollova, and P. Boyadziev, 'Morphological and hematological parameters of *Carassius Gibelio* (Pisces: Gyprinidae) in conditions of anthropogenic pollution in Southern Bulgaria. Use of hematological parameters as biomarkers', *Trakia Journal of Science*, vol. 14, no. 1, pp. 1–15, 2016. <https://doi.org/10.15547/tjs.2016.01.001>
- [43] S. Katalay and Hatice. Parlak, 'The Effects of Pollution on Haematological Parameters of Black Goby (*Gobius niger* L., 1758) in Foça and Aliğa Bays', *Su Ürünleri Dergisi*, vol. 21, no. 2, pp. 113–117, 2004.
- [44] S. Bakrim, A. Ouarour, K. Jaidann, M. Benajiba, and A. Masrar, 'Hemogram profile and interest of pre-donation hemoglobin measurement in blood donors in the northwest region of Morocco', *Transfusion Clinique et Biologique*, vol. 25, no. 1, pp. 35–43, Feb. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.tracbi.2017.10.006>
- [45] T. M. Clauss, A. D. M. Dove, and J. E. Arnold, 'Hematologic Disorders of Fish', *Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice*, vol. 11, no. 3, pp. 445–462, Sep. 2008. <https://doi.org/10.1016/j.cvex.2008.03.007>
- [46] J. P. Rodrigues *et al.*, 'Appropriateness of the study of iron deficiency anemia prior to referral for small bowel evaluation at a tertiary center', *World J Gastroenterol*, vol. 23, no. 24, p. 4444, 2017. <https://doi.org/10.3748/wjg.v23.i24.4444>
- [47] S. Jentoft, A. H. Aastveit, P. A. Torjesen, and Ø. Andersen, 'Effects of stress on growth, cortisol and glucose levels in non-domesticated Eurasian perch (*Perca fluviatilis*) and domesticated rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)', *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol*, vol. 141, no. 3, pp. 353–358, Jul. 2005. <https://doi.org/10.1016/j.cbpb.2005.06.006>
- [48] A. T. F. EL-Khaldi, 'Effect of different stress factors on some physiological parameters of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)', *Saudi J Biol Sci*, vol. 17, no. 3, pp. 241–246, Jul. 2010. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2010.04.009>
- [49] K. E. Hannibal and M. D. Bishop, 'Chronic Stress, Cortisol Dysfunction, and Pain: A Psychoneuroendocrine Rationale for Stress Management in Pain Rehabilitation', *Phys Ther*, vol. 94, no. 12, pp. 1816–1825, Dec. 2014. <https://doi.org/10.2522/ptj.20130597>
- [50] S. M. Aly, Y. Abdel-Galil Ahmed, A. Abdel-Aziz Ghareeb, and M. F. Mohamed, 'Studies on *Bacillus subtilis* and *Lactobacillus acidophilus*, as potential probiotics, on the immune response and resistance of *Tilapia nilotica* (*Oreochromis niloticus*) to challenge infections', *Fish Shellfish Immunol*, vol. 25, no. 1–2, pp. 128–136, Jul. 2008. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2008.03.013>
- [51] B. Takahashi, L. Takahashi, F. Pilarski, F. Sebastião, and E. Urbinati, 'Serum bactericidal activity as indicator of innate immunity in pacu *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887)', *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec*, vol. 65, no. 6, pp. 1745–1751, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0102-09352013000600023>

- [52] K. A. Boleza, L. E. Burnett, and K. G. Burnett, 'Hypercapnic hypoxia compromises bactericidal activity of fish anterior kidney cells against opportunistic environmental pathogens', *Fish Shellfish Immunol*, vol. 11, no. 7, pp. 593–610, Oct. 2001. <https://doi.org/10.1006/fsim.2001.0339>
- [53] C. L. Densmore, C. A. Ottinger, V. S. Blazer, L. R. Iwanowicz, and D. R. Smith, 'Immunomodulation and Disease Resistance in Postyearling Rainbow Trout Infected with *Myxobolus cerebralis*, the Causative Agent of Whirling Disease', *J Aquat Anim Health*, vol. 16, no. 2, pp. 73–82, Jun. 2004. <https://doi.org/10.1577/H03-039.1>
- [54] Z.-J. Wang, X.-H. Liu, L. Jin, D.-Y. Pu, J. Huang, and Y.-G. Zhang, 'Transcriptome profiling analysis of rare minnow (*Gobiocypris rarus*) gills after waterborne cadmium exposure', *Comp Biochem Physiol Part D Genomics Proteomics*, vol. 19, pp. 120–128, Sep. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.cbd.2016.05.003>
- [55] J. L. C. Ribas, A. R. Zampronio, and H. C. Silva de Assis, 'Effects of trophic exposure to diclofenac and dexamethasone on hematological parameters and immune response in freshwater fish', *Environ Toxicol Chem*, vol. 35, no. 4, pp. 975–982, Apr. 2016. <https://doi.org/10.1002/etc.3240>
- [56] C. Kum and S. Sekki, 'The Immune System Drugs in Fish: Immune Function, Immunoassay, Drugs', in *Recent Advances in Fish Farms*, InTech, 2011. <https://doi.org/10.5772/26869>