

ÍNDICE K Y CORTISOL COMO BIOMARCADORES DEL ESTADO CORPORAL Y EL ESTRÉS FISIOLÓGICO EN CACHAMA BLANCA (*PIARACTUS BRACHYPOMUS*)

K INDEX AND CORTISOL AS BIOMARKERS OF BODY CONDITION AND PHYSIOLOGICAL STRESS IN WHITE CACHAMA (PIARACTUS BRACHYPOMUS)

Juan Antonio Abarca-Albán ¹

¹ Carrera de Medicina Veterinaria y Manejo de Vida Silvestre, Facultad de Ciencias de la Vida, Universidad Regional Amazónica (IKIAM). Tena -Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-1652-8967>. Correo: juan.abarca@est.ikiam.edu.ec

Lenny Gabriel De La Cruz-Moreno ²

² Carrera de Medicina Veterinaria y Manejo de Vida Silvestre, Facultad de Ciencias de la Vida, Universidad Regional Amazónica (IKIAM). Tena -Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-7514-0222>. Correo: lenny.de@est.ikiam.edu.ec

Emily Dayan Pindo-Espinoza ³

³ Carrera de Medicina Veterinaria y Manejo de Vida Silvestre, Facultad de Ciencias de la Vida, Universidad Regional Amazónica (IKIAM). Tena -Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-7087-6644>. Correo: emily.pindo@est.ikiam.edu.ec

Darwin Yáñez-Avalos ^{4*}

⁴ Grupo de Investigación, Fauna, Conservación y Salud Global, Universidad Regional Amazónica Ikiam, Km 7 Muyuna-Tena 1501-Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9306-3489>. Correo: darwin.yanez@ikiam.edu.ec

* Autor para correspondencia: darwin.yanez@ikiam.edu.ec

Resumen

La optimización del bienestar animal en la acuicultura amazónica requiere integrar indicadores morfométricos y endocrinos. El objetivo de este estudio fue evaluar la relación entre el Índice de Condición de Fulton (K) y

las concentraciones séricas de cortisol en cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) cultivada en Napo, Ecuador. Se analizaron 69 ejemplares mediante venopunción caudal en periodo diurno (09:00 a 12:00 h), y el cortisol se cuantificó mediante inmunocromatografía de fluorescencia. Los resultados evidenciaron un desarrollo somático adecuado ($K = 1,38 \pm 0,25$) y concentraciones elevadas de cortisol ($182,92 \pm 72,04$ ng/mL), con valores máximos al mediodía (289,97 ng/mL). El análisis de Spearman no mostró correlación significativa entre ambos biomarcadores ($\rho = 0,21$; $p = 0,15$), lo que sugiere una disociación funcional entre la condición corporal y la respuesta endocrina aguda. Se concluye que la robustez morfométrica no predice la magnitud del estrés fisiológico, por lo que se recomienda estandarizar el manejo y el muestreo en horarios de menor reactividad endocrina para fortalecer el bienestar y la estabilidad fisiológica de la especie.

Palabras clave: *Piaractus brachypomus*; cortisol; índice de Fulton; bienestar animal; Amazonía

Abstract

The optimisation of animal welfare in Amazonian aquaculture requires the integration of morphometric and endocrine indicators. The aim of this study was to evaluate the relationship between Fulton's Condition Factor (K) and serum cortisol concentrations in white cachama (Piaractus brachypomus) farmed in Napo, Ecuador. Sixty-nine specimens were analysed through caudal venepuncture during the daytime period (09:00 to 12:00 h), with cortisol quantified using fluorescence immunochromatography. The results demonstrated adequate somatic development ($K = 1.38 \pm 0.25$) alongside elevated cortisol concentrations (182.92 ± 72.04 ng/mL), with peak values observed at midday (289.97 ng/mL). Spearman's analysis revealed no significant correlation between the two biomarkers ($\rho = 0.21$; $p = 0.15$), suggesting a functional dissociation between body condition and acute endocrine response. It is concluded that morphometric robustness does not predict the magnitude of physiological stress, and it is therefore recommended that handling and sampling be standardised to periods of lower endocrine reactivity in order to enhance welfare and physiological stability in the species.

Keywords: *Piaractus brachypomus*; cortisol; Fulton's index; animal welfare; Amazonia

Fecha de recibido: 18/11/2025

Fecha de aceptado: 20/01/2026

Fecha de publicado: 04/02/2026

Introducción

El cortisol es el principal glucocorticoide asociado a la respuesta fisiológica al estrés en peces teleósteos, debido a su papel en la regulación metabólica, inmunológica y osmorreguladora. Su síntesis ocurre en las células interrenales tras la activación del eje hipotálamo-hipófisis-interrenal (HPI), el cual responde a estresores ambientales y de manejo que alteran la homeostasis. Por su sensibilidad, el cortisol se ha

consolidado como un biomarcador crítico para evaluar el bienestar y la condición fisiológica en sistemas acuícolas (Parra et al., 2024).

Para una evaluación integral del bienestar, los indicadores endocrinos deben complementarse con métricas morfométricas. El factor de condición de Fulton (Índice K) estima el estado corporal mediante la relación peso-longitud, bajo la premisa de que individuos con mayor masa relativa reflejan mejores reservas energéticas y un entorno favorable. No obstante, su interpretación requiere cautela debido a variaciones asociadas al estado reproductivo, el contenido gastrointestinal y la metodología de medición (Froese, 2006).

No obstante, la interpretación del Índice K requiere cautela, ya que sus valores fluctúan según la etapa reproductiva, el contenido estomacal y la metodología de medición (Van der Oost et al., 2003). Existe una estrecha vinculación metabólica entre ambos indicadores: el estrés crónico induce una elevación sostenida de cortisol que favorece la movilización de reservas energéticas, afectando negativamente la condición corporal del pez (Ellis et al., 2012).

En la Amazonía ecuatoriana, específicamente en el cantón Tena, el cultivo de cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) representa un sector de alta relevancia social y productiva. A pesar de su rusticidad, esta especie enfrenta estresores típicos de la acuicultura, como variaciones térmicas, manipulación y densidades de siembra, que pueden desencadenar respuestas endocrinas adversas (Aguayo-Heras et al., 2025). Una activación prolongada del eje HPI no solo incrementa el cortisol plasmático, sino que compromete la respuesta inmunitaria y el crecimiento somático (Barton, 2002; Yuan et al., 2025).

Estudios científicos realizados en especies nativas de América Latina, incluida la cachama blanca, han demostrado que las concentraciones de cortisol presentan variaciones nictemerales significativas influenciadas por el fotoperiodo y la temperatura. Específicamente, durante el transcurso del mediodía, los niveles de esta hormona suelen experimentar una transición fisiológica tras el pico matutino característico; este periodo es crítico para la toma de muestras, ya que permite diferenciar los niveles basales de las elevaciones inducidas por el estrés térmico o de manejo (Castillo et al., 2023). En sistemas de cultivo bien gestionados, la cachama puede desarrollar una notable capacidad de adaptación endocrina, estabilizando sus niveles plasmáticos cuando las condiciones ambientales y las densidades de siembra son adecuadas (Ellis et al., 2012; Martínez Rodríguez, 2025).

A pesar de que estudios recientes sugieren que *P. brachypomus* posee capacidad de adaptación endocrina en sistemas bien manejados (Martínez Rodríguez, 2025), la relación específica entre el estrés fisiológico y la conformación morfométrica en sistemas de baja densidad aún no ha sido totalmente esclarecida. Bajo este contexto, se planteó analizar la relación entre el Índice de Condición de Fulton (K) y las concentraciones plasmáticas de cortisol en cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) cultivada en condiciones de baja densidad, con el fin de determinar su utilidad como biomarcadores complementarios del estado corporal y del estrés fisiológico en sistemas de acuicultura amazónica.

Materiales y métodos

Área de estudio y unidades experimentales

La investigación se llevó a cabo en la Granja Experimental Shitig, Napo, Ecuador (0,921600° S; 77,876444° O). Se seleccionó una unidad de producción de 1104 m² dedicada al cultivo de cachama blanca (*Piaractus*

brachypomus). Aunque la capacidad técnica de la piscina permite una densidad de 4 peces/m² (4500 individuos), el estudio se realizó en condiciones de baja densidad poblacional (2000 individuos) aproximadamente, para minimizar la competencia intraespecífica. Los peces fueron alimentados con una dieta comercial (30% proteína bruta) siguiendo las prácticas de manejo estandarizadas de la granja (Mommensen et al., 1999; Froese, 2006).

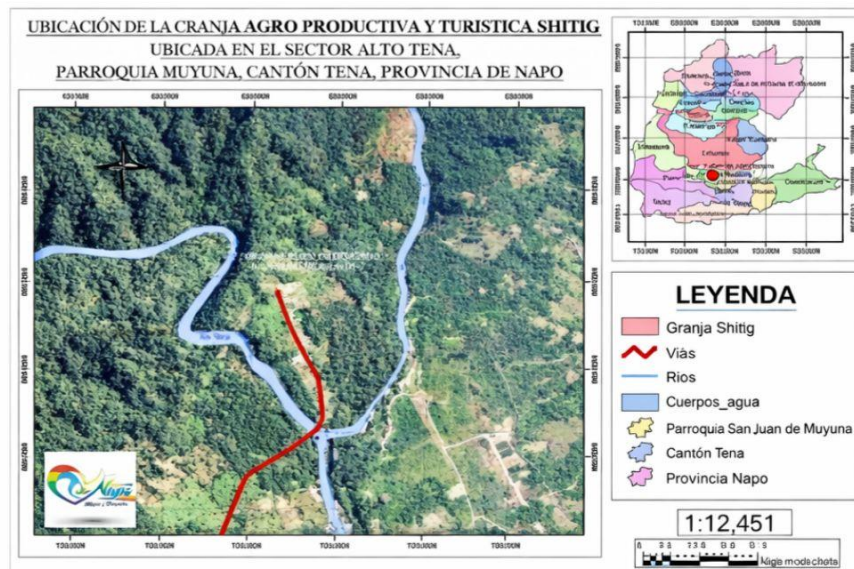


Figura 1. Ubicacion de la granja Shitig

Monitoreo de covariables ambientales

Se registraron parámetros fisicoquímicos del agua para contextualizar la dinámica hormonal. La temperatura osciló entre 22,0 y 29,0 °C, el oxígeno disuelto se mantuvo en 3 mg/L (medición matutina) y el pH en un rango de 6,5 a 7,0. Estos factores son determinantes en la homeostasis y los ritmos circadianos de secreción de cortisol en especies amazónicas (Lemos et al., 2023; Sánchez-Vázquez et al., 2019; Yuan et al., 2025).

Muestreo biológico y manejo de animales

Los individuos fueron capturados mediante redes de mano y manipulados con toallas húmedas para reducir el daño mecánico y la pérdida de mucus (Müller et al., 2018). Para garantizar que los niveles de cortisol reflejaran el estado fisiológico real y no un artefacto del manejo, el tiempo transcurrido entre la captura y la extracción sanguínea se mantuvo estrictamente bajo los cinco minutos (Barton, 2002; Gesto et al., 2015).

Las extracciones se realizaron en un solo periodo: matutino (09:00 h) hasta mediodía (12:00 h). Este último horario se seleccionó para evaluar la estabilidad endocrina durante el pico de radiación solar y temperatura, siguiendo protocolos de variabilidad diurna en especies neotropicales (Castillo et al., 2023; Parra et al., 2024).

Evaluación morfométrica y obtención de muestras

Se determinó el peso corporal con balanza digital y las dimensiones lineales (longitud total, corporal y diámetro) mediante cinta métrica. El Índice de Condición de Fulton (K) se calculó para estimar el estado corporal general (Froese, 2006; Van der Oost et al., 2003).

$$K=W/L^3 \times 100$$

Donde:

- W = peso del pez en gramos
- L = longitud total o estándar del pez en centímetros
- El factor multiplicador (100) se utiliza para ajustar la escala y facilitar la interpretación.

La sangre fue obtenida por venopunción de la vena caudal en la región del pedúnculo, sin administración de anestesia para evitar interferencias químicas con el eje HPI (Müller et al., 2018). Las muestras se colectaron en tubos estériles sin anticoagulante y se transportaron bajo refrigeración para su procesamiento inmediato al Laboratorio de Biología 2 de la Universidad Regional Amazónica IKIAM.

Análisis inmunológico de cortisol y estandarización de unidades

Las muestras fueron centrifugadas a 2500 rpm durante 10 minutos para la obtención de suero. La cuantificación de cortisol se realizó mediante inmunocromatografía de fluorescencia (FIA) con el sistema Ichroma™. Se homogeneizaron 30 µL de suero con 150 µL de diluyente, incubando 75 µL de la mezcla en una cámara i-Chamber a 25 °C durante 10 minutos (Lemos et al., 2023; Wu et al., 2016). Los resultados obtenidos en unidades del Sistema Internacional (nmol/L) fueron transformados a unidades de masa convencionales (ng/dL) para facilitar la comparación con los rangos de referencia reportados en la literatura ictioveterinaria.

Esta conversión se realizó mediante el factor derivado de la masa molecular del cortisol (1 nmol/L) = 36,25 ng/mL), asegurando la precisión analítica y la trazabilidad de los datos (Ellis et al., 2012; Guerreiro et al., 2022). Se aplicaron controles preanalíticos estrictos para descartar muestras con hemólisis que pudieran interferir en la lectura de fluorescencia.

Análisis estadístico

La normalidad de las variables se evaluó mediante la prueba de Shapiro–Wilk. Debido a la distribución no normal del cortisol, la asociación entre cortisol sérico e Índice K se estimó mediante el coeficiente de correlación de Spearman (ρ). Se consideró significancia estadística cuando $p < 0,05$ (Ellis et al., 2012).

Resultados y discusión

Evaluación de integridad de las muestras

Se procesaron un total de 69 muestras sanguíneas obtenidas durante el periodo matutino. El 100% de los ejemplares cumplió con los criterios de validación preanalítica, manteniendo tiempos de maniobra inferiores a cinco minutos entre captura y extracción. No se detectaron signos macroscópicos de hemólisis o coagulación, asegurando la viabilidad técnica para la cuantificación de cortisol y el cálculo morfométrico.

Caracterización del Índice de Condición de Fulton (K) y Cortisol Sérico

El Índice K presentó una media de $1,38 \pm 0,25$ y distribución compatible con normalidad ($W = 0,97$; $p = 0,3337$). En contraste, el cortisol sérico mostró alta variabilidad ($182,92 \pm 72,04$ ng/mL) y distribución no normal ($W = 0,93$; $p = 0,0066$) (Tabla 1).

Tabla 1. Análisis descriptivo y pruebas de normalidad para variables fisiológicas en *P. brachypomus* (n=69).

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Shapiro–Wilk)
Índice K	69	1,38	0,25	0,97	0,3337
Cortisol ng/mL	69	182,92	72,04	0,93	0,0066*

*Indica desviación significativa de la normalidad ($p < 0,05$).

Análisis de asociación entre condición corporal y estrés

La correlación de Spearman evidenció una asociación positiva débil entre K y cortisol, sin significancia estadística ($\rho = 0,21$; $p = 0,15$) (Tabla 2).

Tabla 2. Matriz de correlación de Spearman entre indicadores morfométricos y endocrinos.

Variables	ρ (Spearman)	p
Índice K vs Cortisol ng/mL	0,21	0,15

El diagrama de dispersión (Figura 2) ratificó la ausencia de una tendencia lineal, evidenciando que los niveles de cortisol fluctúan independientemente de la condición corporal en sistemas de baja densidad. Esto sugiere que la respuesta al estrés agudo es independiente del estado nutricional acumulado reflejado por el Índice K.

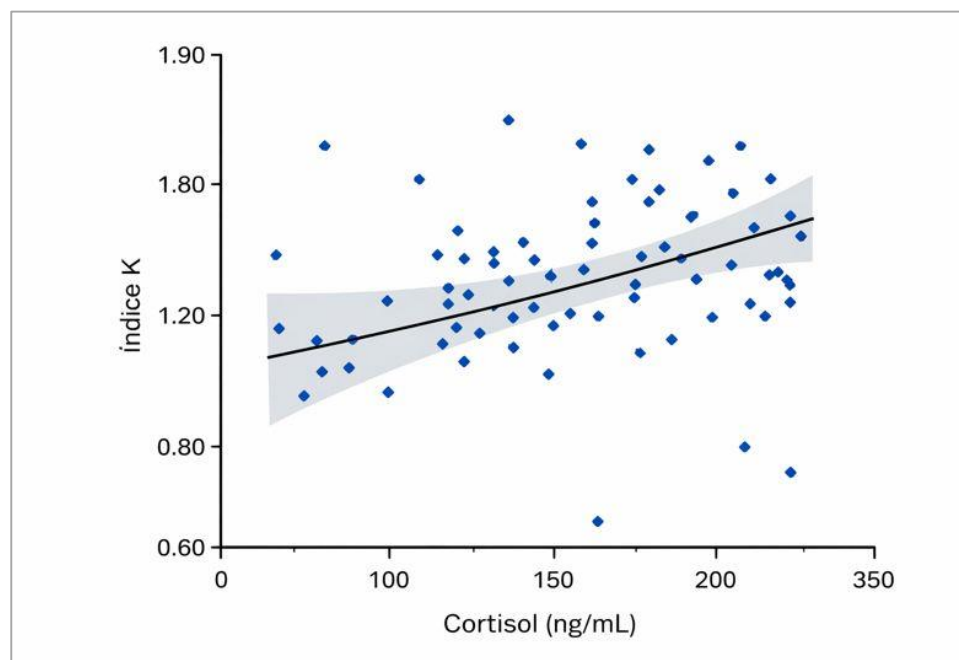


Figura 2. Diagrama de dispersión del Índice de Condición de Fulton versus niveles de cortisol plasmático en *P. brachypomus* (n = 69).

Discusión

La dinámica del cortisol observada en *Piaractus brachipomus* indica una activación robusta del eje HPI frente a las condiciones de manejo en la Amazonía ecuatoriana. Los niveles medios registrados (182,92 ng/mL) superan significativamente los rangos basales reportados para carácidos neotropicales en condiciones de reposo, los cuales suelen situarse por debajo de los 50 ng/mL (Barton, 2002; Lemos et al., 2023). Esta elevación indica que, a pesar de las bajas densidades de siembra, la especie experimenta una carga alostática considerable, consolidando al cortisol como un biomarcador de bienestar más sensible que los indicadores clínicos tradicionales (Aguayo-Heras et al., 2025; Parra et al., 2024).

El incremento progresivo de cortisol entre las 09:00 h y las 12:00 h evidencia una sensibilidad de variación nictemeral crítica en la especie. Mientras que, por la mañana se detectaron valores moderados, el pico alcanzado al mediodía (289,97 ng/mL) coincide con el cenit solar y la máxima radiación, sugiriendo que el mediodía representa una ventana de vulnerabilidad fisiológica. Este patrón es consistente con lo descrito por Sánchez-Vázquez et al. (2019) y Castillo et al. (2023), quienes sostienen que los ritmos circadianos y los ciclos de luz-oscuridad modulan la reactividad del eje HPI, predisponiendo a los peces a respuestas endocrinas más explosivas durante las horas de mayor intensidad lumínica y térmica.

La detección de concentraciones máximas que saturaron el límite técnico del ensayo (800 nmol/L o 290 ng/mL) en individuos con signos de parasitosis o descamación señala que el estado sanitario podría ser un modulador clave de la respuesta al estrés. El compromiso de la barrera cutánea actúa como un estresor crónico que sensibiliza el sistema endocrino, provocando una liberación masiva de glucocorticoides ante estímulos agudos de manejo (Aguayo-Heras et al., 2025; Parra et al., 2024). Estos hallazgos concuerdan con Lemos et al. (2023), quienes postulan que las patologías subclínicas reducen el umbral de tolerancia al estrés, exacerbando la respuesta hormonal incluso ante estímulos de captura de corta duración (Müller et al., 2018).

La ausencia de correlación estadística entre el Índice de Condición de Fulton y el cortisol ($\rho = 0,21$; $p = 0,15$) revela una disociación temporal entre el estado metabólico y la respuesta neuroendocrina. El Índice K es un indicador acumulativo que refleja la historia nutricional de mediano plazo, mientras que el cortisol sérico es una variable dinámica de respuesta inmediata (Froese, 2006; Gesto et al., 2015). En consecuencia, un pez puede mantener un crecimiento somático y reservas energéticas óptimas (balance energético positivo) y, simultáneamente, presentar una respuesta de estrés agudo severo, lo que demuestra que el desempeño productivo no es un predictor fiable del bienestar fisiológico individual (Ellis et al., 2012; Mommsen et al., 1999).

La sustancial variabilidad detectada en los niveles de cortisol (24,64 - 289,97 ng/mL) sugiere que la respuesta al estrés en la cachama blanca está influenciada por la arquitectura genética de los estilos de afrontamiento. La coexistencia de individuos proactivos y reactivos dentro de un mismo sistema de cultivo explica por qué estímulos idénticos generan respuestas endocrinas diferenciadas (Volckaert et al., 2012; Yuan et al., 2025). Estos resultados poseen implicaciones directas para la gestión acuícola en la Amazonía; la implementación de cronogramas de manejo que coincidan con el nadir de cortisol durante las primeras horas de la mañana permitiría reducir la carga alostática, salvaguardando la salud y la eficiencia productiva de la especie (Martínez Rodríguez, 2025; Parra et al., 2024).

Conclusiones

La evaluación conjunta de biomarcadores morfométricos y endocrinos en *Piaractus brachipomus* cultivada en sistemas acuícolas amazónicos indica que la condición corporal, estimada mediante el Índice de Fulton, y la activación neuroendócrina responden a procesos fisiológicos en gran medida independientes. La ausencia de una correlación significativa entre el índice K y la concentración plasmática de cortisol sugiere que la robustez somática no predice la respuesta endocrina al estrés agudo. Además, las variaciones diurnas en los niveles de cortisol evidencian la influencia de los ritmos cronobiológicos sobre la reactividad endocrina. En conjunto, estos resultados resaltan la necesidad de integrar biomarcadores morfométricos y hormonales, así como de sincronizar las prácticas de manejo con periodos de menor sensibilidad endocrina para preservar la homeostasis fisiológica e inmunológica en la acuicultura amazónica.

Agradecimiento

Manifestamos nuestra gratitud al grupo de estudiantes de Morfofunción III G01–G02, pertenecientes a la carrera de Medicina Veterinaria y Manejo de Vida Silvestre, por su destacada colaboración y compromiso en la planificación metodológica y la ejecución de las actividades de campo. De la misma manera, reconocemos el apoyo institucional brindado por el Gobierno Provincial de Napo, cuyo respaldo constante resulta fundamental para impulsar proyectos orientados al bienestar animal, consolidar la investigación científica y promover la sostenibilidad en la amazonía.

Referencias

- Aguayo-Heras, A., Rivadeneyra-Espín, V., Villamarín-Alvarez, K., & Yáñez-Avalos, D. (2025). Evaluación endocrina y marcadores de estrés en cachama roja (*Piaractus brachipomus*): Implicaciones para el bienestar animal en acuicultura amazónica. *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS*, 7(4), 327–340. <https://doi.org/10.59169/pgentaciencias.v7i4.1593>
- Barton, B. A. (2002). Stress in fishes: A diversity of responses with particular reference to changes in circulating corticosteroids. *Integrative and Comparative Biology*, 42(3), 517–525. <https://doi.org/10.1093/icb/42.3.517>
- Castillo, S. L. M., Romero, G. G. L., Castro, D. A., Lugo, E. A., & Riveros, N. (2023). Cuantificación de glucosa y cortisol como indicador de estrés en el pez *Brycon amazonicus* (yamú) mediante la utilización de choque térmico y anestesia. *Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 21(2), 9–12. <https://doi.org/10.24054/bistua.v21i2.2067>
- Corredor-Castillo, A. S., & Landines-Parra, M. A. (2019). Respuestas fisiológicas de *Piaractus brachipomus* suplementado con ácido ascórbico y sometido a estrés por hipoxia. *Revista de Medicina Veterinaria*, (38), 1–12. <https://doi.org/10.19052/mv.vol11.iss38.3>
- Ellis, T., Yildiz, H. Y., López-Olmeda, J. F., Spedicato, M. T., Tort, L., Overli, Ø., & Martins, C. I. M. (2012). Cortisol and fish welfare. *Fish Physiology and Biochemistry*, 38(1), 163–188. <https://doi.org/10.1007/s10695-011-9568-y>

- Froese, R. (2006). Cube law, condition factor and weight–length relationships: History, meta-analysis and recommendations. *Journal of Applied Ichthyology*, 22(4), 241–253. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2006.00805.x>
- Gesto, M., Hernández, J., López-Patiño, M. A., Soengas, J. L., & Míguez, J. M. (2015). Is gill cortisol concentration a good acute stress indicator in fish? A study in rainbow trout and zebrafish. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 188, 65–69. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2015.06.020>
- Guerreiro, PM, Silva, S., Louro, B., Alves, A., Couto, E. & Canário, AVM (2022). Respuesta al estrés en peces antárticos: Modulación del HPI, perfiles de cortisol, sensibilidad interrenal y expresión génica de *Notothenia rossii* aclimatada a desafíos de temperatura. *Foro de Biología y Ciencias de la Vida*, 13 (1), 58. <https://doi.org/10.3390/blsf2022013058>
- Gonzalez Parrao, C., Shisler, S., Moratti, M., Yavuz, C., Acharya, A., Eyers, J., & Snilstveit, B. (2021). *Aquaculture for improving productivity, income, nutrition and women's empowerment in low- and middle-income countries: A systematic review and meta-analysis*. Campbell Systematic Reviews, 17(4), e1195. <https://doi.org/10.1002/cl2.1195>
- Lemos, L. S., Angarica, L. M., Hauser-Davis, R. A., & Quinete, N. (2023). Cortisol as a stress indicator in fish: Sampling methods, analytical techniques, and organic pollutant exposure assessments. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(13), 6237. <https://doi.org/10.3390/ijerph20136237>
- Martínez Rodríguez, C. A., Boglino, A., Peña Messina, E., Linares-Córdova, J. F., & Ibarra Zatarain, Z. (2025). Línea de tiempo de las concentraciones plasmáticas de cortisol y glucosa en lisa (*Mugil cephalus*) según estilos de afrontamiento del estrés. *Revista Bio Ciencias*, 12, e1712. <https://doi.org/10.15741/revbio.12.e1712>
- Mommsen, T. P., Vijayan, M. M., & Moon, T. W. (1999). Cortisol in teleosts: Dynamics, mechanisms of action, and metabolic regulation. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 9(3), 211–268. <https://doi.org/10.1023/A:1008924418720>
- Müller, A., Bittencourt, P., Rozas, M., & Walker, R. (2018). *Manual de patología clínica de peces salmónidos*. Pathovet / Universidad Austral de Chile. <https://pathovet.cl/wp-content/uploads/2021/08/Manual-de-Patologi%CC%81a-Cli%CC%81nica-de-Peces-Salmo%CC%81nidos.pdf>
- Parra, G., Vaca, G., & Torres, A. (2024). Evaluación del estrés en peces de Latinoamérica a través de la respuesta en los niveles de cortisol. *Revista Científica Ciencias Naturales y Ambientales*, 18(2). <https://doi.org/10.53591/cna.v18i2.1934>
- Sánchez-Vázquez, F. J., López-Olmeda, J. F., Vera, L. M., Migaud, H., López-Patiño, M. A., & Míguez, J. M. (2019). Environmental cycles, melatonin, and circadian control of the stress response in fish. *Frontiers in Endocrinology*, 10, 279. <https://doi.org/10.3389/fendo.2019.00279>

- Uren-Webster, T. M., Rodriguez-Barreto, D., Consuegra, S., & Garcia de Leaniz, C. (2020). Cortisol-related stress signals in fish microbiome. *Frontiers in Microbiology*, 11, 1621. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01621>
- Van der Oost, R., Beyer, J., & Vermeulen, N. P. E. (2003). Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: A review. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 13(2), 57–149. [https://doi.org/10.1016/S1382-6689\(02\)00126-6](https://doi.org/10.1016/S1382-6689(02)00126-6)
- Volckaert, F. A. M., Hellemans, B., Batargias, C., Canario, A. V. M., Chatziplis, D. (2012). Heritability of cortisol response to confinement stress in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Genetics Selection Evolution*, 44, 15. <https://doi.org/10.1186/1297-9686-44-15>
- Wu, H., Ohnuki, H., Hibi, K., Ren, H., & Endo, H. (2016). Development of a label-free immunosensor system for detecting plasma cortisol levels in fish. *Fish physiology and biochemistry*, 42(1), 19–27. <https://doi.org/10.1007/s10695-015-0113-2>
- Yuan, M., Fang, Q., Lu, W., Wang, X., Hao, T., Chong, C., & Chen, S. (2025). Stress in fish: Neuroendocrine and neurotransmitter responses. *Fishes*, 10(7), 307. <https://doi.org/10.3390/fishes10070307>