

## Biomarcadores de estrés y eficiencia metabólica en dos especies piscícolas cultivadas en ambientes tropicales

*Biomarkers of stress and metabolic efficiency in two fish species cultivated in tropical environments*

**Darwin Yánez<sup>1</sup>, Francisco Villamarín<sup>2</sup>, Alina Velasteguí<sup>3</sup>, Daniel Quishpe<sup>4</sup>, Luís Maldonado<sup>5</sup>**

1 Facultad de Ciencias de la Vida, Carrera de Medicina Veterinaria y Manejo de Vida Silvestre, Universidad Regional Amazónica Ikiam. <https://orcid.org/0000-0001-9306-3489>

2 Facultad de Ciencias de la Vida, Carrera de Medicina Veterinaria y Manejo de Vida Silvestre, Universidad Regional Amazónica Ikiam. <https://orcid.org/0000-0001-9038-3516>

3 Facultad de Ciencias de la Vida, Carrera de Ingeniería en Biotecnología, Universidad Regional Amazónica Ikiam. <https://orcid.org/0009-0007-8844-3744>

4 Universidad Regional Amazónica Ikiam.

5 Universidad Regional Amazónica Ikiam. <https://orcid.org/0009-0001-3576-7282>

Autor de correspondencia: [darwin.yanez@ikiam.edu.ec](mailto:darwin.yanez@ikiam.edu.ec)

DOI: <https://doi.org/10.63804/CIBEN.25.icta.e8>

### Resumen

En la Amazonía ecuatoriana se evidenció la necesidad de biomarcadores para optimizar el manejo en acuicultura tropical. Este estudio tuvo por objetivo caracterizar el estado fisiológico y metabólico de tilapia (*Oreochromis sp.*) y cachama (*Piaractus brachyomus*) para identificar indicadores de estrés y eficiencia. Se evaluaron 40 peces (n=20 por especie) en dos horarios (mañana y tarde), las muestras sanguíneas se obtuvieron por punción caudal con contención ética. El cortisol se determinó por fluorescencia inmunoenzimática y los perfiles bioquímicos (urea, creatinina, ALT) por química automatizada. La tilapia presentó mayor índice de condición (2,5), incremento de cortisol (280 ng/mL) y concentraciones superiores de urea y creatinina, sugiriendo mayor activación del eje HPI y metabolismo acelerado, acorde con mejor adaptación al cultivo. La cachama mostró cortisol bajo y estable, menor condición (1,3) y ALT elevada (40 U/L), compatible con susceptibilidad hepática. Concluimos que la tilapia exhibió un desempeño fisiológico más eficiente, mientras que la cachama requiere ajustes en manejo y nutrición.

Palabras clave: Acuicultura. Estrés. Metabolismo. Química sanguínea

## Abstract

In the Ecuadorian Amazon, the need for biomarkers to optimize management practices in tropical aquaculture has become evident. This study aimed to characterize the physiological and metabolic status of tilapia (*Oreochromis* sp.) and cachama (*Piaractus brachypomus*) in order to identify indicators of stress and metabolic efficiency. A total of 40 fish (n = 20 per species) were evaluated at two time periods (morning and afternoon). Blood samples were obtained through caudal puncture under ethical handling conditions. Cortisol levels were determined by immunofluorescence assay, while biochemical profiles (urea, creatinine, and ALT) were analyzed using automated chemistry methods. Tilapia exhibited a higher condition index (2.5), increased cortisol levels (280 ng/mL), and higher concentrations of urea and creatinine, suggesting greater activation of the hypothalamic–pituitary–interrenal (HPI) axis and accelerated metabolism, consistent with better adaptation to aquaculture conditions. In contrast, cachama showed low and stable cortisol levels, a lower condition index (1.3), and elevated ALT values (40 U/L), compatible with hepatic susceptibility. We conclude that tilapia displayed a more efficient physiological performance, whereas cachama requires adjustments in management and nutrition practices.

Keywords: Aquaculture. Stress. Metabolism. Blood chemistry.

## Introducción

La acuicultura tropical enfrenta desafíos crecientes para optimizar el bienestar fisiológico en sistemas convencionales con limitaciones técnicas y ambientales. En este marco, se plantearon dos preguntas centrales: ¿existen diferencias significativas en los perfiles fisiológicos y metabólicos entre *Oreochromis* sp. y *Piaractus brachypomus* bajo condiciones tropicales reales? y ¿qué biomarcadores permiten identificar estados de estrés y eficiencia metabólica en cada especie? La evidencia disponible respalda el cortisol como indicador primario de estrés en peces, complementado por parámetros bioquímicos como la urea, creatinina y ALT, para valorar función renal y hepática (Barton, 2002; Iwama et al., 2011). En tilapia se ha descrito alta plasticidad fisiológica frente a variaciones ambientales, mientras que en cachama los hallazgos son menos concluyentes pero sugieren mayor susceptibilidad hepática bajo esquemas intensivos (Ranzani-Paiva et al., 2013; Abdel-Tawwab et al., 2022). Sin embargo, persiste la brecha de estudios multivariados que integren estos biomarcadores en escenarios tropicales operativos, limitando la toma de decisiones basada en evidencia.

Este estudio se justifica por la necesidad de generar evidencia contextualizada que optimice el manejo en sistemas tropicales, donde las condiciones ambientales y operativas impactan

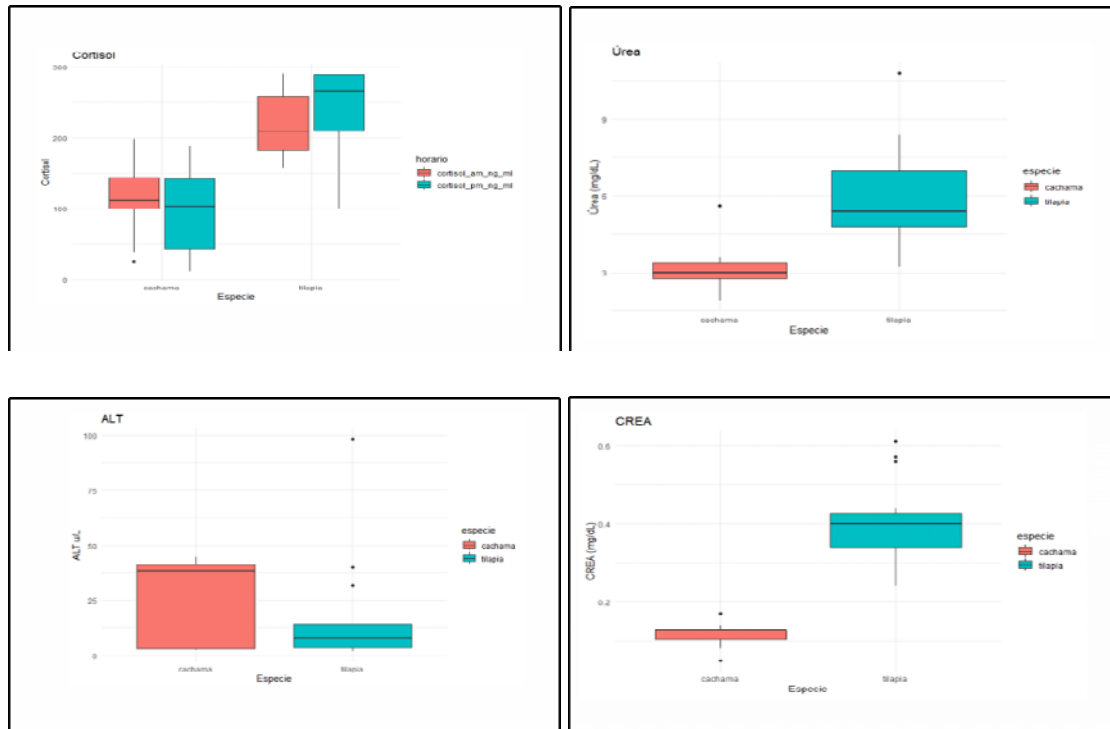
directamente la fisiología. La caracterización multimarcador de estrés y metabolismo ofrece una herramienta robusta para evaluar desempeño productivo y bienestar, contribuyendo a la sostenibilidad del sector (Martins et al., 2012; FAO, 2020). Los resultados buscan orientar ajustes específicos en nutrición, densidad y protocolos de manipulación, con potencial para mejorar la eficiencia biológica y económica de los sistemas de cultivo.

## Metodología

El diseño experimental que se utilizó fué comparativo factorial 2×2 (especie: tilapia *Oreochromis* sp. vs. cachama *Piaractus brachypomus*; horario: mañana vs. tarde) en dos sistemas de Pastaza y Napo; n = 40 (20 por especie; 10 por especie en cada horario), muestreo aleatorio en estanques. Se procedió con la contención breve con toalla húmeda; venopunción caudal para plasma/suero. Se analizaron analitos como el cortisol por FIA; urea, creatinina y ALT por química automatizada, se registró de temperatura, pH, oxígeno disuelto y se calculó el K (masa-longitud). Las variables dependientes analizadas fueron el cortisol, urea, creatinina, ALT y K. las variables independientes, especie y horario, con la finalidad de evaluar el eje HPI y panel hepato–renal–metabólico. Para el análisis estadístico se realizó una prueba de normalidad (Shapiro–Wilk) y homocedasticidad (Levene); ANOVA de dos vías o GLM y alternativas no paramétricas, el reporte de tamaños de efecto ( $\eta^2$  parcial,  $r$ ) y IC95%, control de multiplicidad con Benjamini–Hochberg (FDR) y análisis en R v4.x.

## Resultados y discusión

Las condiciones reales de producción amazónica en las que se evaluaron tilapia y cachama mediante un panel multimarcador (K, urea, creatinina, ALT y cortisol) con control del horario de muestreo, evidenciaron diferencias claras entre especies y patrones fisiológicos dependientes del tiempo.



**Figura 1 .** Diagramas de caja de biomarcadores por especie. **(a)** Cortisol plasmático (ng/mL) en cachama y tilapia, desagregado por horario (mañana/tarde): la tilapia muestra valores más altos y un incremento vespertino; la cachama se mantiene más baja y estable. **(b)** Urea (mg/dL): mayor y más variable en tilapia; menor en cachama. **(c)** ALT (U/L): más elevada en cachama; baja y homogénea en tilapia. **(d)** Creatinina (mg/dL): superior en tilapia.

El mayor K en tilapia ( $\approx 2,5$ ) frente a cachama ( $\approx 1,3$ ) respalda el mejor desempeño morfoenergético de *Oreochromis* en sistemas semi/intensivos, donde K aumenta con manejo y dieta optimizados (Santos et al., 2019; La Rosa et al., 2025). El K bajo en *Piaractus brachyomus* sugiere mayor sensibilidad a densidad, temperatura y horario de alimentación, factores vinculados a menor rendimiento y alteraciones fisiológicas; además, temperatura y cronograma modulan crecimiento y bioquímica (de Moraes et al., 2025; Favero et al., 2022). En conjunto, la evidencia respalda ajustes de calidad de agua, nutrición y carga poblacional en cachama para mejorar K (Abd El-Hack et al., 2022).

Los niveles de cortisol variaron significativamente entre especies y horarios, con valores más elevados en tilapia (mediana mañana  $\approx 220$  ng/mL; tarde  $\approx 280$  ng/mL) que en cachama (mañana  $\approx 120$  ng/mL; tarde  $\approx 100$  ng/mL). Un patrón coherente con la fisiología del eje HPI y la variabilidad interespecífica de la respuesta al estrés descrita para teleosteos (Barton, 2002; Sadoul & Geffroy, 2019; Sopinka et al., 2016). La ritmicidad observada en tilapia, alineada con ritmos diarios de cortisol y actividad, respalda muestreos matutinos para comparaciones válidas (Costa et al., 2019; Vera et al., 2009; Samorì et al., 2024). Además, se recomienda

avanzar en matrices menos invasivas (moco, agua) y considerar que especie y densidad de cultivo modulan la fisiología en peces amazónicos, interpretando a la cachama como menos reactiva en lo agudo pero potencialmente más vulnerable a estresores crónicos (Lemos et al., 2023; Keihani et al., 2024; de Morais et al., 2025).

La urea más alta en tilapia ( $\sim 5,5$  mg/dL) que en cachama ( $\sim 3$  mg/dL) sugiere mayor catabolismo proteico y demanda energética en *Oreochromis*; no obstante, es un marcador sensible pero poco específico, influido por dieta, desaminación, detoxificación nitrogenada y condiciones de cultivo (Abdel-Tawwab et al., 2010; Anderson, 1995; McDonald, 2012). En *Piaractus brachyomus*, valores más bajos y homogéneos apuntan a menor degradación proteica o mejor uso del nitrógeno, coherentes con efectos de temperatura, horario de alimentación y densidad (Favero et al., 2022; de Morais et al., 2025). La variabilidad en tilapia (casos  $>9$  mg/dL) probablemente refleja diferencias en dieta, densidad, oxigenación y amonio; por ello, conviene ajustar covariables y triangular con creatinina, proteínas totales/albumina y cortisol (Li et al., 2023; Edwards et al., 2024; Bojarski et al., 2025). En síntesis, la urea discrimina perfiles metabólicos entre especies, pero su lectura robusta requiere panel multimarcador y muestreo estandarizado (Bavia et al., 2024).

La ALT más alta en cachama ( $\sim 40$  U/L) que en tilapia ( $\sim 10$  U/L) indica susceptibilidad hepática de *Piaractus brachyomus* bajo las condiciones evaluadas, coherente con el uso de ALT como biomarcador de lesión/permeabilidad hepatocelular asociado a estresores nutricionales, térmicos, contaminantes y de manejo (Popović et al., 2023; Bojarski et al., 2025). En carácidos amazónicos, temperatura, horario de alimentación y densidad modulan el perfil hemato-bioquímico y la fisiología, ofreciendo mecanismos plausibles del aumento de ALT en cachama (Favero et al., 2022; de Morais et al., 2025). Por contraste, los valores menores y homogéneos en tilapia sugieren estabilidad hepática bajo el mismo régimen, y los atípicos podrían reflejar respuestas transitorias a manipulación o dieta (Bavia et al., 2024; Popović et al., 2023; Bojarski et al., 2025).

La creatinina más alta en tilapia ( $\approx 0,40$  mg/dL) que en cachama ( $\approx 0,12$  mg/dL) sugiere mayor recambio muscular y demanda energética en *Oreochromis*; no obstante, es un biomarcador sensible, pero de especificidad limitada, influido por crecimiento, dieta y manejo, por lo que debe interpretarse junto con K, urea, ALT y covariables del agua (Bavia et al., 2024; Bojarski et al., 2025; Öner et al., 2008; Sherif et al., 2024). En carácidos amazónicos, intervalos de referencia para *Piaractus brachyomus* juveniles (media  $\approx 0,31$  mg/dL; 0,2–0,4) sugieren que la creatinina baja y homogénea de cachama podría reflejar menor metabolismo proteico y/o diferencias de talla, dieta, ambiente o método analítico (Sakamoto et al., 2001; Keitel-Gröner

et al., 2024).

## Conclusiones

En conjunto, la evidencia indica que la tilapia mantiene un perfil fisiometabólico compatible con adaptación productiva, condición corporal robusta, mayor recambio proteico y patrón de cortisol rítmico, mientras la cachama exhibe señales de vulnerabilidad hepática y menor eficiencia fisiológica.

Estos resultados obtenidos en sistemas acuícolas de la Amazonía mediante un panel multimarcador (K, urea, creatinina, ALT, cortisol), integra la cronobiología del estrés (muestras matutinas, especie×horario) y fundamenta manejo diferenciado, soporte hepático en cachama y tilapia, mejorando decisiones, eficiencia y bienestar. Es necesario ampliar el panel con AST/ALP, histopatología hepática e indicadores de estrés oxidativo (TAC, MDA). Además, ensayos controlados que varíen densidad, perfil lípido-proteico y cronogramas de alimentación (mañana vs. tarde), cuantificando el impacto en el panel multimarcador y en el desempeño productivo.

## Referencias bibliográficas

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>

Bojarski, B., Terlecki, G., & Pimpicka-Salamandyk, A. (2025). Blood biochemical biomarkers in fish toxicology—A review. *Animals*, 15(7), 965. <https://doi.org/10.3390/ani15070965>

Costa, L. S., López-Olmeda, J. F., & Sánchez-Vázquez, F. J. (2019). Daily rhythms of cortisol and glucose and the influence of the light/dark cycle in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture Research*, 50(12), 3587–3598. <https://doi.org/10.1111/are.14118>

de Moraes Carvalho Ananias, I., dos Santos Silva, S., de Sena Souza, A., et al. (2025). Effects of stocking densities on the growth performance and physiology of juvenile *Piaractus brachypomus* in recirculating aquaculture system. *Fishes*, 10(4), 171. <https://doi.org/10.3390/fishes10040171>

Favero, G. C., Braccini, G. L., de Freitas Martins, W. J., et al. (2022). Effects of water

temperature and feeding time on growth, hematology and blood biochemistry of *Piaractus brachypomus*. *Aquaculture*, 555, 738210. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.738210>

Jones, R. E., Petrell, R. J., & Pauly, D. (1999). Using modified length–weight relationships to assess the condition of fish. *Aquaculture*, 178(3–4), 335–346. [https://doi.org/10.1016/S0144-8609\(99\)00020-5](https://doi.org/10.1016/S0144-8609(99)00020-5)

Keitel-Gröner, F., Diekmann, M., & Kloas, W. (2024). Haematological and biochemical reference intervals in fish. *Frontiers in Veterinary Science*, 11, 1442873. <https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1442873>

Lemos, L. S., Coelho, R. G., de Jesus, T. F., et al. (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>

Sadoul, B., & Geffroy, B. (2019). Measuring cortisol, the major stress hormone in fishes. *Journal of Fish Biology*, 94(4), 540–555. <https://doi.org/10.1111/jfb.13904>

Sopinka, N. M., Donaldson, M. R., O'Connor, C. M., Suski, C. D., & Cooke, S. J. (2016). Stress indicators in fish. In C. B. Schreck, L. Tort, A. P. Farrell, & C. J. Brauner (Eds.), *Fish Physiology* (Vol. 35, pp. 405–462). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/bs.fp.2016.04.002>