

EVALUACIÓN ENDOCRINA Y MARCADORES DE ESTRÉS EN CACHAMA ROJA (*Piaractus brachypomus*): IMPLICACIONES PARA EL BIENESTAR ANIMAL EN ACUICULTURA AMAZÓNICA

ENDOCRINE ASSESSMENT AND MARKERS OF STRESS IN RED CACHAMA (*Piaractus brachypomus*): IMPLICATIONS FOR ANIMAL WELFARE IN AMAZONIAN AQUACULTURE

Anthony Aguayo-Heras ^{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/0009-0007-0886-3993>. Correo: anthony.aguayo@est.ikiam.edu.ec

Verónica Rivadeneyra-Espín ²

² Fauna, Conservation and Global Health Research Group, Universidad Regional Amazónica Ikiam, Km 7 Muyuna-Tena 1501-Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-4612-0479>. Correo: veronica.rivadeneyra@ikiam.edu.ec

Kimberley Villamarín-Alvarez ³

³ Fauna, Conservation and Global Health Research Group, Universidad Regional Amazónica Ikiam, Km 7 Muyuna-Tena 1501-Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-0339-6119>. Correo: kimberley.villamarin@ikiam.edu.ec

Darwin Yáñez-Avalos ⁴

⁴ Fauna, Conservation and Global Health Research Group, 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

Este trabajo se realizó en la parroquia Alto Tena, cantón Tena, provincia de Napo (Ecuador), en la Unidad Piscícola de la Prefectura del Napo, dedicada al cultivo controlado de cachama roja (*Piaractus brachypomus*).



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo (CC-BY-NC-SA).

Grupo Editorial “ALEMA-Pentaciencias” E-mail: alema.pentaciencias@gmail.com

Se evaluaron los niveles de cortisol en dos horarios (09:00 y 15:00), y su relación con parámetros metabólicos (alanina aminotransferasa [ALT], urea y creatinina) como indicadores fisiológicos de estrés. Los resultados mostraron estabilidad circadiana en la secreción de cortisol ($p = 0.2518$), lo que evidencia una posible adaptación endocrina a las rutinas del sistema de cultivo intensivo. Aunque la prueba de Kruskal–Wallis no reveló diferencias significativas entre grupos categorizados por índice corporal ($p = 0.1095$), se observó una tendencia hacia niveles más elevados de cortisol en ejemplares con mayor masa, posiblemente asociados a procesos de ajuste metabólico. Se encontró una correlación positiva entre cortisol matutino y urea ($r = 0.49$; $p = 0.062$), mientras que la creatinina y la ALT no presentaron asociaciones significativas ($r = 0.007$ y $r = -0.37$, respectivamente). En conclusión, el cortisol matutino, en conjunto con marcadores metabólicos como la urea, puede considerarse un biomarcador funcional para evaluar el estado fisiológico de *P. brachypomus* en sistemas acuícolas intensivos, contribuyendo a la optimización de prácticas de manejo enfocadas en el bienestar animal y la sostenibilidad productiva.

Palabras clave: cachamas; cortisol; estrés; perfiles metabólicos.

Abstract

*This study was carried out in the Alto Tena parish, Tena canton, Napo province (Ecuador), in the Fish Farming Unit of the Napo Prefecture, dedicated to the controlled cultivation of red cachama (*Piaractus brachypomus*). Cortisol levels were evaluated in two schedules (09:00 and 15:00), and their relationship with metabolic parameters (alanine aminotransferase [ALT], urea and creatinine) as physiological indicators of stress. The results showed circadian stability in cortisol secretion ($p = 0.2518$), which is evidence of a possible endocrine adaptation to the routines of the intensive farming system. Although the Kruskal-Wallis test revealed no significant differences between groups categorised by body index ($p = 0.1095$), a trend towards higher cortisol levels was observed in individuals with higher body mass, possibly associated with metabolic adjustment processes. A positive correlation was found between morning cortisol and urea ($r = 0.49$; $p = 0.062$), while creatinine and ALT showed no significant associations ($r = 0.007$ and $r = -0.37$, respectively). In conclusion, morning cortisol, in conjunction with metabolic markers such as urea, can be considered a functional biomarker to assess the physiological status of *P. brachypomus* in intensive aquaculture systems, contributing to the optimisation of management practices focused on animal welfare and productive sustainability.*

Keywords: cachamas; cortisol; stress; metabolic profiles.

Fecha de recibido: 16/05/2025

Fecha de aceptado: 28/07/2025

Fecha de publicado: 16/08/2025

Introducción

En la región amazónica del Ecuador, la acuicultura de especies nativas se ha consolidado como una estrategia sostenible ante los retos socioambientales actuales. Entre estas especies, destaca la cachama (*Piaractus brachypomus*), un pez nativo de la cuenca amazónica ampliamente cultivado por su rusticidad, rápido crecimiento y valor económico (Conservancy, 2025). Esta especie han demostrado una gran capacidad de adaptación a las condiciones ambientales variables de la Amazonía, incluyendo fluctuaciones en la temperatura, oxigenación y calidad del agua. Además, otros factores estresores como el ayuno o el manejo intensivo, activa su eje eje hipotálamo-hipófisis-interrenal (HPI), liberando cortisol. (De Mello Mariana Maluli, Unesp et al., 2019). Sin embargo, sus niveles hormonales se mantienen relativamente estables, lo que refleja una respuesta fisiológica eficiente y una alta tolerancia al estrés. Además, el uso de inmunoestimulantes naturales en los sistemas de cultivo amazónicos ha demostrado reducir los niveles de cortisol, promoviendo la salud y el bienestar de los peces (Marinho de Mello, 2019).

Las especies acuáticas, como los peces, son reconocidas bioindicadores de diversos factores estresantes, incluidos parásitos, enfermedades, contaminantes, variaciones de temperatura y cambios en la salinidad del agua. Comparados con otros vertebrados, los peces presentan una mayor sensibilidad al estrés, lo que los convierte en modelos ideales para estudios en acuicultura, ecología y fisiología (Lemos et al., 2023).

Aunque su organismo intenta recuperar el equilibrio interno (homeostasis), si el estrés se prolonga, puede afectar negativamente su crecimiento, sistema inmunológico e incluso su capacidad reproductiva (Samaras, 2023). Una forma común de evaluar el estrés en peces es mediante la medición del cortisol, una hormona liberada a través del eje HPI. La cual, actúa rápidamente en el organismo y está involucrado en funciones vitales como el metabolismo energético, la respuesta inmunológica y la regulación del equilibrio hídrico y electrolítico (Barcellos, 2014). El método más utilizado para medir esta hormona es el análisis de sangre mediante diferentes técnicas, especialmente útil en estudios bajo condiciones controladas (Jorge, 2024). Aunque se han desarrollado métodos menos invasivos, como el análisis de escamas o de mucosa, la extracción de sangre sigue siendo el procedimiento más directo y preciso para obtener datos hormonales. Lemos et al., (2023).

Las respuestas primarias de estrés incluyen alteraciones endocrinas, como el aumento de catecolaminas y corticosteroides, las respuestas secundarias abarcan cambios metabólicos, hidro minerales, cardiovasculares, respiratorios e inmunológicos, como el incremento de glucosa, lactato, proteínas de choque térmico y variaciones en la producción de anticuerpos. Finalmente, las respuestas terciarias se manifiestan en el desempeño general del pez, afectando su crecimiento, sensibilidad a enfermedades y comportamiento

El objetivo de esta investigación es evaluar la respuesta fisiológica de la cachama roja (*Piaractus brachypomus*) frente a situaciones de estrés en sistemas de cultivo amazónicos, mediante la cuantificación de niveles de cortisol, alanina aminotransferasa (ALT), urea y creatinina, como biomarcador clave.

Materiales y métodos

Este análisis se llevó a cabo en la zona de Alto Tena provincia del Napo-Ecuador, cuya posición geográfica es -0,92091° o 0° 55' 15" sur latitud y longitud -77,87022° o 77° 52' 13" oeste. En esta granja se encuentran tres sectores con tilapias, paiches y cachamas, la piscina de interés fue la de cachamas rojas. La producción

de estos peces no solo está asociado a incentivar la producción y la economía en la comunidad, sino también en la capacitación a los productores para obtener un impulso de forma sustentable en la economía rural de la provincia, proporcionando la sostenibilidad de los pueblos kichwas (Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Napo, 2020).

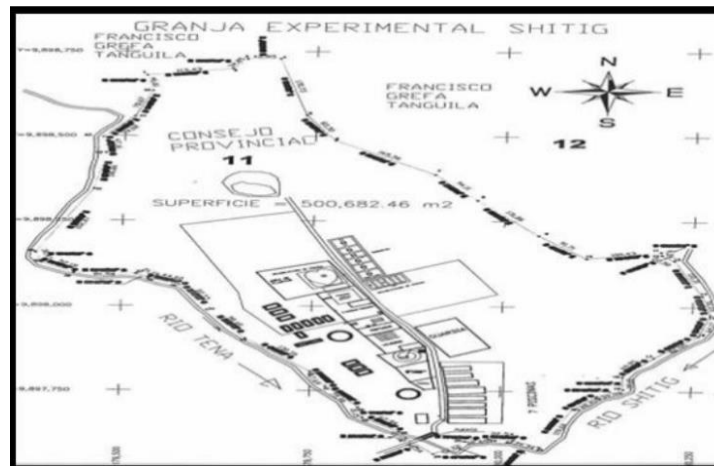


Figura 1. Mapa geográfico de la Granja Agro-Productiva Shitig - Napo.

Toma de muestras y morfometría

Los peces fueron apartados dentro de la piscina con ayuda de redes, y posteriormente extraídos del agua de manera individual, sujetados con una toalla húmeda con el fin de cuidar el bienestar y reducir el estrés por manejo (FONDECYT, 2022). Para la medición de su morfometría, se usó un flexómetro, se registró sus medidas, siendo éstas; largo (desde la cabeza hasta la base de la aleta caudal), ancho (desde la base de la aleta dorsal hasta la base de la aleta ventral) y largo total (desde la cabeza hasta la punta de la aleta caudal). Además, se registró el peso, esto, con ayuda de una balanza.

Se extrajeron 15 muestras sanguíneas, provenientes de la vena caudal, en dos tomas, en la mañana (09:00) y en la tarde (15:00), las mismas que fueron colocadas en tubos sin anticoagulante de manera correcta y rotuladas, las muestras de sangre fueron trasladadas en un cooler de 4 a 8°C, al laboratorio de Morfofunción de la Universidad Regional Amazónica IKIAM.

Preparación de las muestras

En el laboratorio, las muestras fueron procesadas y centrifugadas a 3000 rpm durante 10 minutos para obtener suero sanguíneo. El suero extraído fue colocado en tubos eppendorf de 2 mL, por duplicado, previamente etiquetados con los datos correspondientes y se utilizó para el análisis de los niveles de cortisol y perfiles metabólicos (ALT, Urea y Creatinina) (Parra, Vaca & Torres, 2024).

Análisis de cortisol

Para el análisis hormonal en cachamas, se emplearon kits de reactivos Ichroma™ Cortisol, junto con el equipo de inmunoensayo de fluorescencia FIA Ichroma™ y la incubadora iChamber, siguiendo el protocolo técnico descrito por el fabricante (Boditech Med Inc., 2022). El procedimiento comenzó con la adición de 150 µL del diluyente detector al tubo con gránulo reactivo, mezclado pipeteando 10 veces para evitar burbujas. A continuación, se incorporaron 30 µL de suero o plasma de muestra y se repitió el pipeteado 10 veces para homogeneizar. Se dispusieron 75 µL de esa mezcla en el cartucho de ensayo, que se incubó en la i-Chamber a temperatura ambiente (25 °C) durante 10 min. Finalmente, el cartucho fue escaneado con el lector Ichroma™, asegurando la correcta orientación para obtener la lectura precisa. Todas las muestras fueron procesadas según este protocolo y los resultados se registraron para su análisis posterior (Boditech Med Inc., 2022).

Análisis de perfiles metabólicos

Se determinó los niveles de ALT (alanina aminotransferasa), urea y creatinina, utilizando el equipo automatizado Diasys. En primera instancia, se prepararon los reactivos siguiendo las indicaciones del fabricante, realizando las diluciones necesarias y almacenándolos protegidos de la luz directa, a la temperatura recomendada. Posteriormente, se calibró el analizador empleando calibradores específicos para cada parámetro. Las pruebas bioquímicas se realizaron utilizando suero, previamente conservado bajo condiciones adecuadas para garantizar la estabilidad de los analitos (Dawood et al., 2022).

Cada muestra fue procesada siguiendo el protocolo técnico correspondiente a cada determinación. Una vez obtenidos los resultados, estos se compararon con los rangos de referencia establecidos, considerando la historia clínica del individuo. En los casos en que los valores se encontraban fuera de los rangos esperados, se repitió la prueba o se realizó una nueva dilución con el fin de asegurar la fiabilidad analítica del procedimiento (Márquez & Nercy, 2022). Esto, permitió monitorear e identificar de mejor manera el estado y la respuesta fisiológica de los peces, puesto que estos parámetros permiten conocer diversas alteraciones y condiciones que afectan la integridad y comportamiento de las cachamas, necesario para que los individuos manifiesten una respuesta adecuada ante las variaciones ambientales y mantenimiento de la homeostasis (Barandica, 2010).

Valoración de Cortisol, Urea, Creatinina y ALT en cachamas

La evaluación de cortisol, urea, creatinina y ALT en cachamas rojas (*Piaractus brachypomus*) permite comprender cómo las condiciones de manejo influyen en funciones biológicas clave y en el equilibrio fisiológico de los peces (Hernandez et al., 2013).

Tabla 1. Rangos normales de cortisol, ALT, urea y creatinina.

Parámetro	Rango normal estimado	Interpretación técnica
Cortisol	50–150 ng/mL	Indicador de estrés; valores >200 sugieren activación del eje HPI y disrupción homeostática (Dressl et al., 2018).
ALT (Alanina aminotransferasa)	5–25 U/L	Enzima hepática; niveles elevados indican daño hepático, inflamación o exposición a contaminantes (Shukla, 2024)
Urea	3–8 mg/dL	Producto del metabolismo proteico; niveles altos reflejan catabolismo, ayuno prolongado o disfunción renal (Ecurra & Tafur, 2024).

Creatinina	0.3–0.8 mg/dL	Asociado a masa muscular y función renal; valores >1.0 pueden indicar alteración renal o estrés crónico (Legton et al., 2023).
------------	---------------	--

Análisis estadístico

Durante el estudio, se aplicaron varios análisis estadísticos para evaluar las variables fisiológicas en cachama roja (*Piaractus brachypomus*). En primer lugar, se empleó la prueba de Shapiro–Wilk para verificar la normalidad en los datos (Sfiso, 2025). Ante la presencia de variables no normalmente distribuidas, se optó por pruebas no paramétricas. Para comparar los niveles de cortisol en muestras apareadas de mañana y tarde, se aplicó la prueba de Wilcoxin para muestras relacionadas. Adicionalmente, al clasificar los peces según su índice corporal (bajo, medio, alto), se utilizó la prueba de Kruskal–Wallis para evaluar diferencias entre grupos (Vrbin, 2022). Para correlacionar los valores de cortisol (AM y PM) se con los parámetros sanguíneos (Urea, ALT y Creatinina) se utilizó una prueba de Spearman.

Resultados y discusión

Los datos obtenidos permitieron dar respuesta a los objetivos planteados en este estudio, el cual se enfocó en evaluar los niveles de cortisol y su relación con los estándares metabólicos como indicador fisiológico en cachama roja (*Piaractus brachypomus*)

La aplicación de la prueba Wilcoxin, permitió comparar los valores hormonales de cortisol entre ambos horarios, sin hallarse diferencias significativas ($p = 0.2518$) (Figura 2).

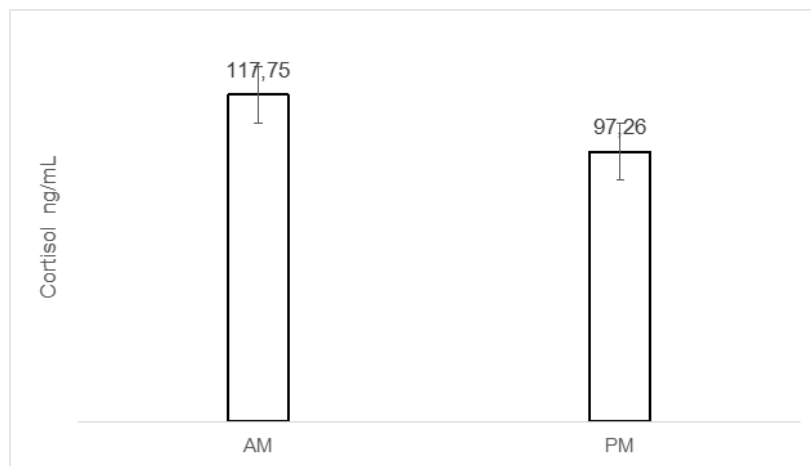


Figura 2. Perfil circadiano del cortisol como indicadores de estrés.

Los niveles de cortisol en la mañana (AM) y la tarde (PM), al no mostrar diferencia significativa ($P = 0.2518$), podría deberse al ritmo circadiano del cortisol estable en esta especie, ya que, sus niveles responden más a factores estresantes. Siendo similar con lo reportado por López-Olmeda & Sánchez-Vázquez (2011), en donde señalan, que una alta variabilidad en la expresión hormonal depende de las condiciones ambientales y del manejo.

Esto podría indicar una adaptación fisiológica a condiciones de manejo controladas, o una baja sensibilidad del eje HPI (hipotálamo–pituitaria–interrenal) al momento del muestreo. Se ha observado que el cortisol en

peces suele presentar un patrón circadiano, con picos más altos al inicio del día y valores más bajos hacia la noche, asociado a la preparación fisiológica del pez frente a posibles desafíos ambientales (López-Olmeda & Sánchez-Vázquez, 2011; Samaras, 2023).

Sin embargo, en el caso de *P. brachypomus*, la estabilidad de los niveles de cortisol a lo largo del día podría deberse a una adaptación endocrina a las condiciones de cultivo, reflejando una menor dependencia del fotoperiodo como sincronizador endocrino (Bonga, 1997; Koakoski et al., 2012). Se ha planteado que el eje HPI, en algunas especies de peces presenta una sensibilidad variable al fotoperiodo, modulada por factores como la edad, la especie, y el entorno. El cultivo intensivo de peces está sometidos a una rutina relativamente constante que puede "aplanar" la oscilación circadiana de esta hormona (Iwama et al., 2011).

Además, la modulación del cortisol no solo está influenciada por el ritmo circadiano, sino también por factores inmunológicos y de salud intestinal, particularmente bajo estrés por infección o manipulación (De Mello et al., 2019). Esta interpretación es coherente con estudios en *Piaractus mesopotamicus* y *Colossoma macropomum*, especies filogenéticamente cercanas, en las cuales se ha observado que la secreción de cortisol puede no seguir un patrón circadiano marcado cuando los animales están bajo estrés crónico, alta densidad o condiciones lumínicas artificiales (Urbinati et al., 2005; De Mello et al., 2019).

El estudio del ciclo circadiano del cortisol en peces cultivados resulta clave, ya que, el ritmo biológico no solo regula la secreción de cortisol, sino que también participa en procesos fundamentales como la alimentación, el metabolismo, la osmorregulación y la respuesta inmune, contribuyendo a mantener el equilibrio general del organismo y facilitando una mejor adaptación al ambiente (López-Olmeda & Sánchez-Vázquez, 2011; Koakoski et al., 2012). Esto hace que, metabolitos clave como el cortisol, la glucosa y el lactato presentan oscilaciones diarias significativas, lo que da a entender, que los momentos del día en que se realiza el manejo de los peces pueden modular su respuesta fisiológica al estrés.

Datos como los de Lopez et al. (2019) y Yoshioka et al. (2009) mencionaron que la respuesta al estrés era más localizada al manipular los peces en ciertos momentos del día cuando sus niveles de cortisol y otros metabolitos siguen un patrón circadiano. La pérdida de ritmo circadiano puede interpretarse como un mecanismo adaptativo para priorizar la estabilidad fisiológica y reducir el coste energético asociado a las variaciones diarias (López-Olmeda & Sánchez-Vázquez, 2011; Samaras et al., 2023).

En el caso de la Figura 3, se observa a las cachamas en la capacidad de ajustar o suprimir sus ritmos circadianos lo que podría verse como una estrategia evolutiva para soportar mejor las condiciones de cultivo intensivo y resistir el estrés prolongado. Pero, la disminución o pérdida del ritmo circadiano puede predisponer a los peces a estados de estrés crónico subclínico, lo que conlleva riesgos a nivel inmunológico, reproductivo y de crecimiento (Koakoski et al., 2012; Iwama et al., 2011).

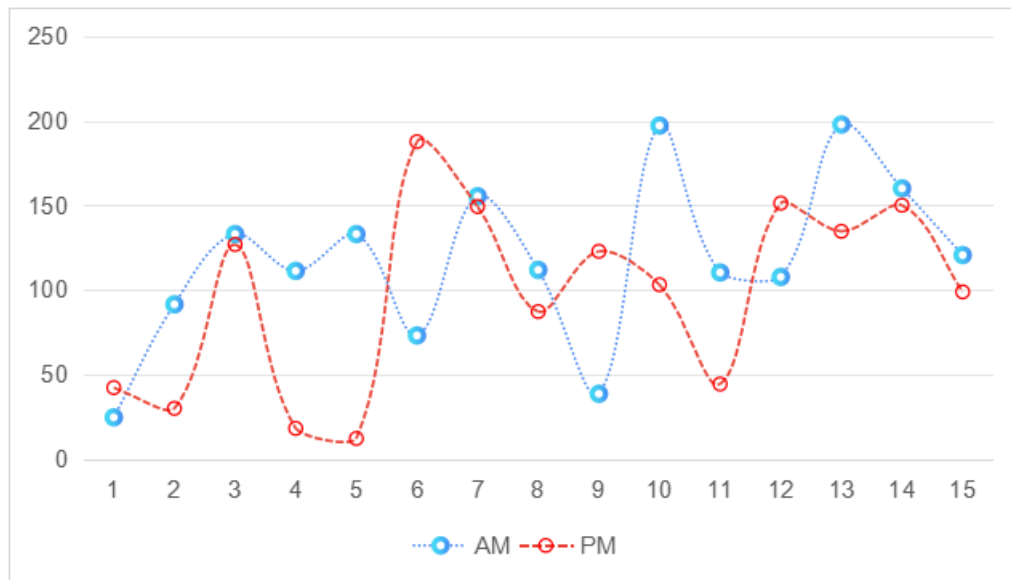


Figura 3. Comportamiento del cortisol en *Piaractus brachypomus*.

La implementación de prácticas de manejo que consideren la conservación parcial de los ritmos naturales, más cercanos a los ciclos día-noche y la reducción de manipulaciones innecesarias, podría contribuir a mejorar el bienestar animal y optimizar la productividad en sistemas acuícolas (Samaras et al., 2023). Este enfoque integrador no solo ayuda a mantener una mejor condición fisiológica, sino que también favorece la sostenibilidad y la aceptación social de la actividad acuícola (López-Olmeda & Sánchez-Vázquez, 2011). Además, estas estrategias pueden reducir el riesgo de enfermedades, mejorar la eficiencia alimenticia y favorecer un crecimiento más homogéneo, aspectos clave para garantizar un cultivo exitoso y responsable (Iwama et al., 2011).

Las cachamas fueron agrupadas en tres categorías del índice de peso corporal (bajo, medio o alto), y las diferencias de cortisol en la mañana fueron analizadas con la prueba de Kruskal-Wallis. No hubo una diferencia significativa entre los grupos ($p = 0.1095$) (Figura 4).

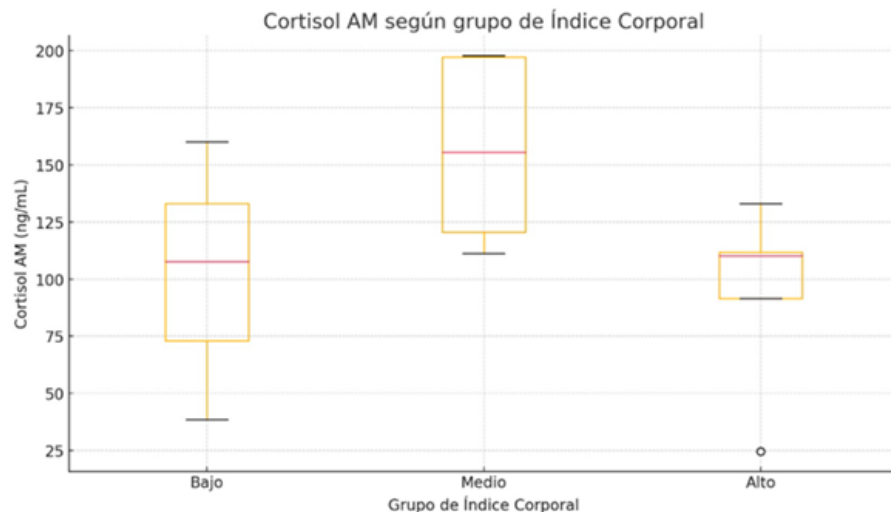


Figura 4. Análisis comparativo de la concentración de cortisol matutino (ng/mL) entre diferentes grupos de índice corporal.

En este diagrama de caja, se ilustra los niveles de cortisol matutino (ng/mL) en función de los tercios del índice corporal, categorizados como bajo, medio y alto, representan el rango intercuartílico (25%–75%) de cada grupo, mientras que la línea horizontal dentro de cada caja indica la mediana. Las líneas (bigotes) muestran el rango de los datos no considerados como valores atípicos, y los puntos en los extremos representan posibles valores atípicos. Aunque, visualmente se observó una ligera tendencia a niveles más elevados de cortisol en los ejemplares de *Piaractus brachypomus* con índice corporal medio y alto, dicha diferencia no alcanzó significancia estadística, esto podría indicar una respuesta adaptativa al incremento de masa corporal, ya que peces con mayor tamaño pueden experimentar diferentes niveles de estrés metabólico (Koakoski et al., 2012).

Además, la relación entre el índice corporal y los niveles de cortisol podría verse modulados por factores como la edad, la dieta y otros que induzcan al estrés. En estudios realizados en *Piaractus mesopotamicus*, se ha observado que ejemplares con mayor índice corporal pueden mostrar una respuesta endocrina menos marcada frente a estímulos estresantes, probablemente como estrategia adaptativa para mantener la homeostasis y favorecer la eficiencia energética (Urbinati & Gonçalves, 2005; De Mello et al., 2019). Este fenómeno también ha sido descrito en otras especies amazónicas, donde individuos con mayor masa corporal presentan menor variabilidad en parámetros hormonales y metabólicos, lo cual sugiere una mayor capacidad de adaptación al ambiente de cultivo (Koakoski et al., 2012; Iwama et al., 2011). El índice corporal más alto podría estar asociado con mejores reservas energéticas y un sistema antioxidante más eficiente, factores que contribuyen a una alta sensibilidad frente a eventos estresantes (Bonga, 1997; Abreu et al., 2009).

Además, las diferencias en tamaño y condición corporal pueden estar asociadas a variaciones en el metabolismo basal y en la capacidad antioxidante, lo que influye en la secreción de cortisol y en la susceptibilidad a enfermedades (Koakoski et al., 2012; López-Olmeda & Sánchez-Vázquez, 2011). Este hallazgo, resalta la importancia de considerar de forma integral múltiples parámetros fisiológicos y

ambientales (Bonga, 1997; Iwama et al., 2011; De Mello et al., 2019). Además, incluir variables como la dieta, la calidad del agua y la densidad de cultivo puede aportar una visión más completa del estado de salud y bienestar de las especies acuícolas (Urbinati & Gonçalves, 2005; Abreu et al., 2009)

En la Tabla 2, el análisis de la relación entre la urea y el cortisol matutino (AM), se observó un coeficiente de Spearman de 0,49 con un P-valor de 0,062. Indicando una tendencia positiva cuando el cortisol en la mañana aumenta, la urea también tiende a subir. Esta tendencia apunta a una posible activación del catabolismo proteico como respuesta al estrés, lo cual es fisiológicamente coherente con la función del cortisol y Urea en peces. Por lo que su aumento puede indicar un mayor grado de estrés, especialmente durante la activación matutina del eje hipotálamo-pituitario-interrenal (HPI) (Parra, Vaca, & Torres, 2024).

Tabla 2: Análisis de la relación entre la urea, cortisol, ALT en la mañana (AM) y tarde (PM)

Relación	Coef. Spearman	p-valor	Interpretación
Urea vs Cortisol AM	0,49	0,062	*S
Urea vs Cortisol PM	-0,09	0,746	*NS
Creatinina vs Cortisol AM	0,007	0,979	*NS
Creatinina vs Cortisol PM	0,2	0,482	*NS
ALT vs Cortisol AM	-0,37	0,179	*NS

La creatinina no mostró relación con el cortisol matutino (coeficiente de 0,007; $p = 0,979$) ni con el cortisol vespertino (coeficiente de 0,2; $p = 0,482$), lo que refleja que este metabolito no es sensible a cambios de cortisol en estas condiciones y, por lo tanto, no parece ser un buen marcador de estrés o daño renal en las cachamas (Uren et al., 2020). Lo cual coincide con hallazgos previos en peces, donde estos metabolitos pueden estar más influenciados por factores fisiológicos o ambientales específicos, que por el estrés general (Iwama et al., 2011). Además, este compuesto no es un marcador sensible para estrés o daño renal en especies acuáticas (Ciji & Akhtar, 2021).

Finalmente, la enzima ALT presentó una correlación negativa con el cortisol AM (coeficiente de -0,37; $p = 0,179$), lo que indica una tendencia a disminuir cuando el cortisol aumenta. Aunque no es significativa, esta relación podría interpretarse como un posible mecanismo adaptativo para proteger la función hepática ante el estrés, más que un indicio de daño directo (Biller, Takahashi & Urbinati, 2020). Esto podría indicar que el estrés afecta de forma sutil la función hepática, como un mecanismo de adaptación más que de daño (Koakoski et al., 2012; Iwama et al., 2011).

En conjunto, estos resultados sugieren que el cortisol matutino podría tener un mayor valor fisiológico como indicador del estado metabólico y del estrés en *P. brachypomus*, especialmente cuando se asocia con marcadores metabólicos.

Conclusiones

Aunque no se evidenció significancia en los niveles de cortisol entre la mañana y la tarde, el valor matutino demostró mayor relevancia fisiológica, ya que este hallazgo en *Piaractus brachypomus* podría presentar una

regulación endocrina menos dependiente del ritmo circadiano, probablemente modulada por factores ambientales propios de su hábitat amazónico.

Si bien no se confirmó una correlación significativa entre el índice corporal y el cortisol, se observó una tendencia fisiológica hacia niveles más elevados en ejemplares con mayor masa corporal. Esta variación, junto con una correlación moderada con la urea, refuerza el posible vínculo entre el metabolismo proteico y la respuesta al estrés en condiciones de cultivo intensivo.

Aunque los niveles de alanina aminotransferasa (ALT) no presentaron variaciones estadísticamente significativas, ya que su comportamiento podría estar vinculado a mecanismos de regulación hepática compensatoria frente a estímulos estresantes. Esta respuesta enzimática podría estar orientada a preservar la homeostasis hepática, más que a indicar citotoxicidad directa.

Agradecimiento

Expresamos nuestro reconocimiento al grupo de alumnos de Morfofunción III G01, de la carrera de Medicina Veterinaria y Manejo de Vida Silvestre, por su valiosa participación y compromiso en el desarrollo metodológico y ejecución del trabajo de campo. Además, extendemos nuestro agradecimiento al Gobierno Autónomo Descentralizado de Napo por su respaldo institucional y constante apoyo a iniciativas que promueven el bienestar animal, fortalecen la investigación científica y fomentan la sostenibilidad en la región amazónica.

Referencias

- Abreu, J. S., Takahashi, L. S., Hoshiba, M. A., & Urbinati, E. C. (2009). Biological indicators of stress in pacu (*Piaractus mesopotamicus*) after capture. *Brazilian Journal of Biology*, 69, 415-421.
- Altamirano, G., Montes, R., Ahuatzin Blancarte, I., Parrao Rodríguez, C., Gayosso Martínez, T., & Mora Muñoz, A. (2017). Comparación entre concentraciones de urea en sangre y saliva de 95 individuos sanos. *Revista del Hospital Juárez de México*. <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=71286>
- Aly, S. M., Abd Allah, O. A., ElBanna, N. I., Abdel-Naeim, N. S., Abdelnaeim, N. S., & Fathi, M. (2025). Comparative evaluation of antioxidant status, stress, and hepatorenal biomarkers in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultured in In-Pond raceway and traditional aquaculture systems. *Fish Physiology and Biochemistry*, 51(4), 119. <https://doi.org/10.1007/s10695-025-01531-w>
- Barandica, L. M. (2010). Efecto de las dietas experimentales en la respuesta inmune de los peces. <https://ddd.uab.cat/record/68263>
- 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>
- Billar, J. D., Takahashi, L. S., & Urbinati, E. C. (2020). Under stress conditions, pacu *Piaractus mesopotamicus* modulates the metabolic allostatic load even after Dolops carvalhoi challenge to maintain self-protection mechanisms. *Fish physiology and biochemistry*, 46(4), 1309-1321. <https://doi.org/10.1007/s10695-020-00789-6>

- Boditech Med Inc. (2022). *Instruction for use: ichroma™ Cortisol kit*. Boditech Med. <https://labindustrias.com/wp-content/uploads/2023/10/ichroma-Cortisol-Rev.00-6-de-abril-2022.pdf>
- Bonga, S. E. W. (1997). The stress response in fish. *Physiological Reviews*, 77(3), 591–625. <https://doi.org/10.1152/physrev.1997.77.3.591>
- Ciji, A. & Akhtar, M. S. (2021). Stress management in aquaculture: A review of dietary interventions. *Reviews in Aquaculture*, 13(4), 2190–2247. <https://doi.org/10.1111/raq.12565>
- Cultivo de peces como alternativa de producción sostenible en los ríos de la Amazonia ecuatoriana. (s. f.). The Nature Conservancy. <https://www.nature.org/es-us/sobre-tnc/donde-trabajamos/tnc-en-latinoamerica/ecuador/historias-en-ecuador/paiche-cachama-comunidades-indigenas-amazonia-ecuatoriana/>
- Dawood, M.A.O., Noreldin, A.E. & Sewilam, H. Blood biochemical variables, antioxidative status, and histological features of intestinal, gill, and liver tissues of African catfish (*Clarias gariepinus*) exposed to high salinity and high-temperature stress. *Environ Sci Pollut Res* 29, 56357–56369 (2022). <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19702-0>
- De Mello Mariana Maluli [Unesp, M., De Faria Camila [Unesp, D. F. P., Zanuzzo, F. S. [, & Urbinati, E. C. [. (2019b, octubre 1). β -glucan modulates cortisol levels in stressed pacu (*Piaractus mesopotamicus*) inoculated with heat-killed *Aeromonas* hydrophila. <https://repositorio.unesp.br/entities/publication/f39ab16b-1061-4c08-a87d-96067ac7e5be>
- Dressl, N. L., Etchevest, L. I., Ferreiro, M., Tucci, G. M., Vilariño Falabella, L. V., & Torresani, M. E. (2018). Cortisol como biomarcador de estrés, hambre emocional y estado nutricional. *Revista Nutrición Investiga*, 3(1). <https://escuelanutricion.fmed.uba.ar/revistani/pdf/18a/ncl/793c.pdf>
- Escurra Paico, K. J., & Tafur Pintado, A. C. (2024). Evaluación sérica de urea y creatinina en Gatos (*Felis catus*) diagnosticados con obstrucción urinaria en clínica veterinaria-Chiclayo. <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/13332>
- Francis-Floyd, R., & Campos Krauer, J. . (2023, 7 febrero). Introducción al manejo de la salud de los peces. Ask IFAS - Powered By EDIS. https://edis.ifas.ufl.edu/publication/FA246?utm_source.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Napo. (2020). *Fortalecimiento de la Granja Shitig 2020, mediante la adquisición de insumos agropecuarios y construcción de infraestructuras para especies menores: Informe de campo y de factibilidad*. Dirección de Fomento Productivo y Comercialización. <https://www.napo.gob.ec/website/phocadownload/lotaip2020/Anexos/Lit.K/108.%20FORTALECIMIENTO%20GRANJA%20SHITIG.pdf>
- Hernandez, S., Uribe, E., Alfaro, J., Campuzano, G., & Salazar, L. (2013). Medición de cortisol y sus fracciones: Una puesta al día. *Medicina* (Buenos Aires). https://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S0025-76802013000800016&script=sci_arttext&tlng=pt
- Iwama, G. K., Afonso, L. O. B., & Vijayan, M. M. (2005). Stress in fish. En D. H. Evans & J. B. Claiborne (Eds.), *The Physiology of Fishes* (3ª ed., cap. 9, pp. 319–342). CRC Press.
- Izzedine, H. (2004). Aumento de la creatinina en sangre: qué hacer. *EMC-Tratado de Medicina*, 8. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1636541004703050>

- Jorge, S., Félix, L., Costas, B., & Valentim, A. M. (2024). Advancing cortisol measurements in zebrafish: Analytical validation of a commercial ELISA kit for skin mucus cortisol analysis. *MethodsX*, 12, 102726. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2024.102726>
- Koakoski, G., Oliveira, T. A., da Rosa, J. G., Fagundes, M., & Barcellos, L. J. G. (2012). Age, rather than body size, determines cortisol responsiveness to acute stress in *Rhamdia quelen*. *Physiology & Behavior*, 106(2), 129–132. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2012.01.013>
- Legton-Solórzano, M. G., Mendoza-Pinoargote, N. A., & Pin-Pin, Á. L. (2023). Cistatina c, urea y creatinina como indicador pronóstico de daño renal. *MQRInvestigar*, 7(3), 628-646. <https://www.investigarmqr.com/ojs/index.php/mqr/article/view/478/1932>
- 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). <https://doi.org/10.3390/ijerph20136237,S>
- López-Olmeda, J. F., & Sánchez-Vázquez, F. J. (2011). Rhythms of plasma glucose and cortisol in fish: A review. *Journal of Fish Biology*, 79(3), 779-801
- López-Olmeda, J. F., Sánchez-Vázquez, F. J., & Vera, L. M. (2019). Ciclos ambientales, melatonina e control circadiano da resposta ao estresse em peixes. *Frontiers in Endocrinology*, 10, 279. <https://doi.org/10.3389/fendo.2019.00279>
- Marie Ruoyun Tan, K. M. (17 de marzo de 2024). Dinámica de la liberación de cortisol endógeno y acuático en la lubina asiática *Lates calcarifer* después de estrés agudo en un sistema de acuicultura de recirculación a escala de granja. Obtenido de <https://www.biorxiv.org/content/10.1101/2023.09.20.558587v2>.
- Márquez Echeverry, N. (2022). *Evaluación de los niveles de glucosa en sangre en juveniles de cachama blanca (piaractus brachypomus) como respuesta al uso de diferentes fuentes de cereales en la dieta*. Universidad francisco de paula santander.
- 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>.
- Rendón Calle, I., Ortega Botero, V., Restrepo, E., & Olivera Angel, M. (2014). LOS VALORES PRE Y POSPANDRIALES DE ALT, UREA Y CREATININA NO CAMBIAN SIGNIFICATIVAMENTE. *Biosalud*, 13(2). http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S165795502014000200005&script=sci_arttext
- Samaras, A. (abril de 2023). Una revisión sistemática y un metaanálisis de la concentración circulante de cortisol basal y post-estrés en una importante especie de pez de acuicultura marina, la lubina europea, *Dicentrarchus labrax*. Obtenido de ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/370041034_A_Systematic_Review_and_Meta-Analysis_of_Basal_and_PostStress_Circulating_Cortisol_Concentration_in_an_Important_Marine_Aquaculture_Fish_Species_European_Sea_Bass_Dicentrarchus_labrax.
- Sfiso Mabizela. Navegando por los análisis estadísticos paramétricos y no paramétricos: Una guía práctica para la investigación en ciencias de la salud. *WJCM*. 2025. Vol. 7(1):41-44. DOI: 10.18772/26180197.2025.v7n1a9

- Shukla, G. (2024). A review on liver enzymes as useful biomarker to evaluate the effects of pesticides on freshwater fish. *World Journal of Biology Pharmacy and Health Sciences*, 19(1), 171-176. <https://doi.org/10.30574/wjbphs.2024.19.1.0405>
- Urbinati, E. C., & Gonçalves, F. D. (2005). Stress and acute-phase responses in pacu (*Piaractus mesopotamicus*). *Brazilian Journal of Biology*, 65(4), 683–689.
- Uren Webster, T. M., Rodriguez-Barreto, D., Consuegra, S., & Garcia de Leaniz, C. (2020). Cortisol-Related Signatures of Stress in the Fish Microbiome. *Frontiers in microbiology*, 11, 1621. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01621>
- Uribe-Ruiz, M. C., Vásquez-Torres, W., & Benavides-Montaña, J. A. (2018). Desempeño productivo y fisiológico de juveniles de cachama (*Piaractus brachypomus*) alimentados con dietas suplementadas con harina de forraje de *Tithonia diversifolia*. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 71(1), 8411–8418. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S012137092018000100057&script=sci_arttext
- Vargas, M. F. (2019). *Parámetros hematológicos y bioquímicos del capitán de la sabana (Eremophilus mutisii) en diferentes sistemas de explotación*. *Zoociencia*, 6(1), 1–6. <https://revistas.udca.edu.co/index.php/zoociencia/article/view/1283/1776>
- Vrbín, Colleen. (2022). Parametric or Nonparametric Statistical Tests: Considerations when Choosing the Most Appropriate Option for your Data. *Cytopathology*. 33. 10.1111/cyt.13174.
- Wendelaar Bonga SE. The stress response in fish. *Physiol Rev*. 1997 Jul;77(3):591-625. doi: 10.1152/physrev.1997.77.3.591. PMID: 9234959.
- Yoshioka, Eliane & Mariano, W.S. & R B Santos, Laila. (2009). Estresse em peixes cultivados: Agravantes e atenuantes para manejo. *Manejo e Sanidade de Peixes em Cultivo*. 226-247.