

# EVALUACIÓN FISIOLÓGICA Y BIOQUÍMICA DEL ESTRÉS EN TILAPIAS REPRODUCTORAS (*Oreochromis sp*) BAJO CONDICIONES ACUÍCOLAS TROPICALES

## PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL EVALUATION OF STRESS IN BREEDING TILAPIA (*Oreochromis sp*) UNDER TROPICAL AQUACULTURE CONDITIONS

Fredy Alvarado-Sangucho <sup>1</sup>

<sup>1</sup> 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/0009-0005-1567-4029>. Correo: [fredy.alvarado@est.ikiam.edu.ec](mailto:fredy.alvarado@est.ikiam.edu.ec)

Luis Cruz-Medina <sup>2</sup>

<sup>2</sup> Facultad de Posgrado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo. UTEQ. Quevedo - Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8501-361>. Correo: [lcruz2@uteq.edu.ec](mailto:lcruz2@uteq.edu.ec)

John Castillo-Torres <sup>3</sup>

<sup>3</sup> Fauna, Conservation and Global Health Research Group, Universidad Regional Amazónica Ikiam, Km 7 Muyuna-Tena 1501-Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3029-4786>. Correo: [john.castillo@ikiam.edu.ec](mailto:john.castillo@ikiam.edu.ec)

Darwin Yáñez-Avalos <sup>4\*</sup>

<sup>4</sup> 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](mailto:darwin.yanez@ikiam.edu.ec)

\* Autor para correspondencia: [darwin.yanez@ikiam.edu.ec](mailto:darwin.yanez@ikiam.edu.ec)

### Resumen

Este estudio, desarrollado en la Granja Acuícola Jakalurco, de la prefectura de Pastaza, Ecuador, evaluó la respuesta endocrina y fisiológica de tilapias reproductoras (*Oreochromis sp*) bajo condiciones amazónicas (pH: 5; temperatura del agua: 19–26 °C; OD: 6,4 ppm; humedad: 88%; precipitación: 2233 mm). Se

analizaron 15 peces con una edad de 2,5 años y un peso que rondaba los 2360 g. Mediante muestreo sanguíneo en dos franjas horarias (10:00 y 15:00 h), procesando los niveles de cortisol mediante el sistema Ichroma™ y los perfiles bioquímicos (ALT, urea, creatinina) con equipo Diasys Vet. Aunque no se hallaron grandes diferencias de elevaciones de cortisol entre mañana y tarde ( $p=0,371$ ), se evidenció un promedio mayor en el turno vespertino ( $238,85 \pm 61,82$  ng/dL) y una respuesta más estable en hembras (CV: 15,57%) respecto a machos (CV: 36,25%), lo que sugiere una modulación hormonal vinculada al sexo y horario. Los parámetros morfométricos revelaron dimorfismo sexual altamente significativo, con machos más pesados ( $2,84 \pm 0,34$  kg vs.  $1,94 \pm 0,31$  kg;  $p<0,001$ ), largos ( $49,07 \pm 3,03$  cm vs.  $41,75 \pm 3,66$  cm;  $p=0,0010$ ) y anchos ( $16,43 \pm 1,43$  cm vs.  $13,51 \pm 1,48$  cm;  $p=0,0019$ ). Además, los biomarcadores ALT (CV: 143,79%) y creatinina (CV: 115,43%) mostraron alta dispersión interindividual, indicando posible alteración hepática o variabilidad músculo-renal influenciada por manejo intensivo. Estos hallazgos consolidan la utilidad de los indicadores fisiológicos y bioquímicos como herramientas de monitoreo integral para mejorar el bienestar y rendimiento reproductivo en sistemas acuícolas tropicales.

**Palabras clave:** Tilapia; reproductores; cortisol; bioquímica; estrés.

### Abstract

*The present study, conducted at the Jakalurco Aquaculture Farm, in the Pastaza prefecture of Ecuador, evaluated the endocrine and physiological response of broodstock tilapia (*Oreochromis sp.*) under Amazonian conditions (pH: 5; water temperature: 19–26 °C; DO: 6.4 ppm; humidity: 88%; precipitation: 2233 mm). Fifteen fish aged 2.5 years with an average weight of 2360 g were analyzed. Blood samples were collected during two time periods (10:00 and 15:00 h), with cortisol levels measured using the Ichroma™ system and biochemical profiles (ALT, urea, creatinine) analyzed with a Diasys Vet device. Although no major differences in cortisol elevations were found between morning and afternoon ( $p=0.371$ ), a higher average was observed in the afternoon ( $238.85 \pm 61.82$  ng/dL), with females showing a more stable response (CV: 15.57%) compared to males (CV: 36.25%), suggesting hormonal modulation related to sex and time of day. Morphometric parameters revealed highly significant sexual dimorphism, with males being heavier ( $2.84 \pm 0.34$  kg vs.  $1.94 \pm 0.31$  kg;  $p<0.001$ ), longer ( $49.07 \pm 3.03$  cm vs.  $41.75 \pm 3.66$  cm;  $p=0.0010$ ), and wider ( $16.43 \pm 1.43$  cm vs.  $13.51 \pm 1.48$  cm;  $p=0.0019$ ). In addition, the biomarkers ALT (CV: 143.79%) and creatinine (CV: 115.43%) showed high interindividual variability, indicating possible hepatic alteration or muscle-renal variability influenced by intensive management. These findings support the usefulness of physiological and biochemical indicators as comprehensive monitoring tools to improve welfare and reproductive performance in tropical aquaculture systems.*

**Keywords:** Tilapia; broodstock; cortisol; biochemistry; stress

**Fecha de recibido:** 17/05/2025

**Fecha de aceptado:** 28/07/2025

**Fecha de publicado:** 16/08/2025

## Introducción

Practicar la acuicultura es relevante como una alternativa sostenible para fortalecer la seguridad alimentaria, conservar las especies nativas y dinamizar las economías rurales en la Amazonía ecuatoriana. En este escenario, los médicos veterinarios y biólogos desempeñan un rol fundamental en el monitoreo sanitario de especies cultivadas, su trabajo abarca la evaluación integral de las condiciones físicas, metabólicas y reproductivas de los organismos acuáticos, con el propósito de preservar su bienestar y optimizar su productividad (Espino, 2022; Guerrero et al., 2015). Para ello, se apoyan en el análisis de parámetros ambientales y bioindicadores, los cuales permiten detectar alteraciones fisiológicas y anticipar riesgos sanitarios en el cultivo (Verma, et al. 2022; Parra, et al. 2024). El cortisol es de los bioindicadores más evaluados, involucrando su presencia con el estrés de los peces, liberada por las glándulas intrarrenales tras la estimulación por corticotropina (ACTH) (De Ocampo y Ocampo-Camero, 1999). El comportamiento de este biomarcador, se lo debe considerar en su interpretación, ya que sus niveles pueden elevarse rápidamente ante el manejo (Ochoa et al., 2008).

Entre los factores que inducen un incremento en los niveles de cortisol en tilapias se encuentran los contaminantes acuáticos, la hipoxia y la desnutrición, entre otros, estos agentes estresantes alteran el funcionamiento del eje hipotalámico-hipofisario-interrenal (HPI), lo que provoca la liberación de cortisol como una medida fisiológica de adaptación, sin embargo, cuando la exposición al estrés es prolongada, esta respuesta deja de ser beneficiosa y puede conducir a inmunosupresión y a una disminución de la actividad reproductiva (Lemos et al., 2023; Briones-García, 2021).

La producción de peces en Ecuador ha crecido de manera exponencial, superando a cualquier otro rubro de origen animal. Actualmente, se reconoce su gran potencial tanto para fines comerciales como para la conservación de especies en peligro (Rios-Sanchez, 2022). Para fomentar un manejo adecuado y maximizar la producción, es fundamental monitorear ciertos parámetros bioquímicos como la alanina aminotransferasa (ALT), la urea y la creatinina, ya que estos permiten evaluar la salud hepática y renal de los peces. Su análisis contribuye a la detección temprana de alteraciones fisiológicas, lo que ayuda a prevenir pérdidas económicas significativas (Hosten, 1990; Zhiguo-Gia, 2020). Hay que destacar que estas variables pueden ser modificadas según diversos factores como lo son el peso, edad, sexo, hábitat y el tipo de manejo al que se somete a los peces. Estas variables influyen directamente en sus valores bioquímicos, afectando a la fisiología, metabolismo y en la respuesta al estrés de los organismos acuáticos (Sandnes et al., 1988; Lusková, 1997).

El propósito de este trabajo es evaluar los niveles de cortisol en tilapias reproductoras como biomarcadores fisiológicos del estrés, complementados con el análisis de perfiles metabólicos para identificar el estado de salud general de los organismos y su relación con las variaciones en la respuesta al estrés.

## Materiales y métodos

Esta investigación se desarrolló en el predio Acuícola Jakalurco correspondiente a la Prefectura de Pastaza, ubicada en la ciudad de Puyo, provincia de Pastaza - Ecuador. El estudio trabajó con reproductores (*Oreochromis spp.*) de 2,5 años de edad con un peso de entre 1,8 y 3,2 kg. Se registró condiciones propias del ecosistema amazónico, el pH del agua fue de 5, con una temperatura de 21 °C, oxígeno disuelto de 6,4 ppm (Rodríguez-Haro & López, 2019). Los peces fueron trasladados manualmente con la ayuda de redes,

permitiendo su extracción cuidadosa desde el estanque principal. Posteriormente, los peces fueron sumergidos durante 30 segundos en una solución salina y azul de metileno, con el objetivo de minimizar el riesgo de infecciones. Tras este proceso, se trasladaron a una piscina auxiliar situada cerca del área de muestreo, donde se procedió con la toma de datos morfológicos y extracción de muestras sanguíneas.

### **Obtención de muestras y morfometría**

Para sujetar los peces, se utilizó una toalla húmeda con la finalidad de cuidar el bienestar y reducir el estrés por manejo (FONDECYT, 2022). Se evaluó el peso corporal, la longitud parcial, la longitud total y ancho. Las muestras de sangre se obtuvieron de la vena caudal, usando jeringas de 5mL, seguidamente estas se depositaron en tubos de 2 mL sin anticoagulante. Se recolectaron 15 muestras en dos momentos del día; mañana (10:00 h) y tarde (15:00 h). Las muestras fueron almacenadas en gradillas y transportadas en un cooler de refrigeración entre 4 y 8°C, al Laboratorio de Biología 1 de la Universidad Regional Amazónica IKIAM.

### **Preparación de las muestras**

Una vez en el laboratorio, se procedió a la preparación y procesamiento de las muestras sanguíneas. Se centrifugó las muestras a 2500 rpm durante 10 minutos, dentro de las tres primeras horas posteriores a la toma de muestra, para asegurar la estabilidad de los analitos. Luego, se separó el suero cuidadosamente, colocando en tubos eppendorf por duplicado. Las muestras obtenidas de suero se clasificaron en dos grupos, tanto para análisis de cortisol como para perfiles metabólicos (Urea, Creatinina y ALT) (Hahn-Von-Hessberg et al., 2011.)

### **Evaluación de cortisol**

El análisis hormonal fue realizado utilizando el kit de reactivos Ichroma™ Cortisol, en conjunto con el equipo FIA Ichroma™. El procedimiento técnico consistió en transferir 150 µL de diluyente detector a un tubo que contenía el gránulo reactivo. Una vez disuelto completamente el gránulo, se obtuvo el buffer de detección, el cual fue utilizado inmediatamente, dentro de los tres minutos posteriores a su preparación. A continuación, se añadieron 30 µL de muestra (suero o plasma) al buffer, mezclando cuidadosamente mediante pipeteo repetido (10 veces). Luego, se cerró el tubo y se agitó nuevamente de forma manual. Posteriormente, se colocó 75 µL de la mezcla obtenida en el pozo del cartucho de ensayo. El cartucho cargado fue colocado en la incubadora iChamber, a una temperatura controlada de 25 °C, durante 10 minutos. Al finalizar este tiempo de incubación, el cartucho fue escaneado de forma inmediata utilizando el lector Ichroma™. El análisis se activó mediante el botón "INICIAR", y cada muestra fue leída en dos repeticiones consecutivas. Los valores obtenidos fueron registrados para control de calidad y posterior análisis estadístico.

### **Análisis de perfiles metabólicos**

Para el análisis de perfiles metabólicos, se determinó; ALT (alanina aminotransferasa), urea y creatinina. Se procedió con la ejecución del protocolo general para análisis bioquímico en el equipo Diasys. En primer lugar, se prepararon los reactivos conforme a las indicaciones del fabricante, se realizaron las mezclas y diluciones necesarias, y se conservaron protegidos de la luz directa, manteniéndolos a la temperatura recomendada. A continuación, se calibró el equipo utilizando los calibradores específicos provistos, siguiendo los parámetros técnicos para cada analito (ALT, creatinina y urea). Se utilizó suero en las pruebas de ALT, creatinina y urea. Las muestras fueron almacenadas bajo condiciones adecuadas para asegurar su estabilidad. Posteriormente,

se llevaron a cabo las pruebas automatizadas en el analizador Diasys, introduciendo cada muestra según el procedimiento específico para cada analito. Finalmente, se interpretaron los resultados comparándolos con los rangos de referencia correspondientes y se consideró la historia clínica del paciente. En los casos donde los valores se encontraron fuera de rango, se repitió la prueba o se aplicó una nueva dilución de la muestra para garantizar la confiabilidad analítica.

Estos indicadores complementarios permitieron evaluar de forma más completa el estado fisiológico de los peces reproductores, proporcionando información relevante sobre posibles alteraciones hepáticas o renales asociadas al estrés generado durante las actividades de manejo acuícola.

### Diagnóstico de Cortisol, ALT, Urea y Creatinina

La interpretación de parámetros fisiológicos como cortisol, ALT, urea y creatinina en tilapias reproductoras se basa en su función biológica y en cómo se alteran ante condiciones de manejo. El cortisol, como hormona del estrés, indica el grado de activación del sistema neuroendocrino, por lo tanto, niveles elevados reflejan respuesta aguda o crónica ante estímulos ambientales o manipulativos. La ALT permite detectar alteraciones hepáticas, ya que es liberada al torrente sanguíneo cuando existe daño en el tejido hepático. La urea muestra la eficiencia del metabolismo proteico y su excreción, siendo sensible a variaciones nutricionales o funcionales del riñón. La creatinina refleja tanto la masa muscular como el desempeño renal; su aumento puede relacionarse con desgaste físico, estrés o deterioro renal. Al interpretar estos valores, se considera el contexto de manejo, el estado fisiológico reproductivo y las condiciones ambientales, permitiendo orientar decisiones técnicas para preservar la salud y el rendimiento en cultivo (Hellen et al., 2011).

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

| Parámetro  | Rango normal  | Interpretación técnica                                                                    |
|------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cortisol   | 50–150 ng/mL  | Indicador de estrés; valores >200 sugieren activación del eje HPI.                        |
| ALT        | 5–25 UI/L     | Enzima hepática; valores elevados indican daño hepático o inflamación.                    |
| Urea       | 3–8 mg/dL     | Producto del metabolismo proteico; niveles altos reflejan catabolismo o disfunción renal. |
| Creatinina | 0,3–0,8 mg/dL | Asociado a masa muscular y función renal; valores >1,0 pueden indicar alteración renal.   |

**Nota:** Alanina aminotransferasa (ALT), Nanogramos (ng), Miligramos (mg), Unidades (U) y Litro (L)

### Análisis estadístico:

Para el análisis estadístico, diagnóstico de estrés y marcadores bioquímicos en tilapias reproductoras, se aplicó una prueba de normalidad (Shapiro-Wilk), a los datos obtenidos de cortisol, ALT, urea y creatinina. Luego, se utilizó la prueba t de Student para muestras relacionadas para comparar los niveles de cortisol entre los horarios de muestreo (10:00 y 15:00 h), y para muestras independientes para evaluar diferencias morfológicas entre sexos (peso, longitud y ancho corporal). Para analizar la dispersión interindividual de los biomarcadores (cortisol, ALT, urea y creatinina), se aplicó ANOVA, coeficiente de variación (CV), calculado como el cociente entre la desviación estándar y la media, expresado en porcentaje (InfoStat, 2022).

## Resultados y discusión

La evaluación del cortisol en tilapias reproductoras del laboratorio Jacalurco representa un indicador trascendental para entender el grado de estrés al que se enfrentan estas especies en condiciones controladas, el cortisol actúa como una hormona glucocorticoide clave en la contestación al estrés en peces, secretada por la glándula interrenal, análoga a la glándula suprarrenal en mamíferos (Parra et al., 2024).

Los datos de la Tabla 2, muestra que el nivel promedio de cortisol fué mayor en la tarde (238,85 ng/dL, DE = 61,82) en comparación con la mañana (219,03 ng/dL, DE = 47,7). No obstante, no resultó estadísticamente significativo ( $p = 0,816$ ). En conjunto, los resultados sugieren una tendencia al aumento del cortisol por la tarde, y una respuesta individual variable posiblemente relacionada con la acumulacion de estímulos estresantes, incluyendo el manejo, la exposición a estímulos ambientales y la densidad poblacional en condiciones de reproducción intensiva (Responsible Seafood Advocate, 2019).

La concentración promedio de cortisol en todos los periodos se encontró por encima de los valores normales descritos para tilapias en condiciones no estresantes, lo que respalda la hipótesis de que las actividades rutinarias de manipulación e incluso procedimientos de traslados, aunque sean breves, son suficientes para inducir una respuesta endocrina aguda y picos rápidos de cortisol plasmático (Iwama et al., 2005).

**Tabla 2.** Comportamiento del cortisol como indicador de estrés en reproductores (*Oreochromis spp.*)

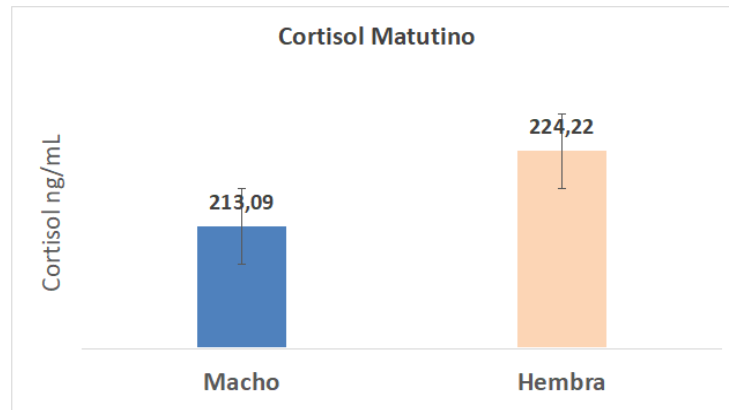
| Variable | n  | Media  | D.E.  | E.E.  | CV    | Mín    | Máx    | Prob  |
|----------|----|--------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|
| Mañana   | 15 | 219,03 | 47,70 | 12,32 | 21,78 | 157,14 | 289,85 | 0.816 |
| Tarde    | 15 | 238,85 | 61,82 | 15,96 | 25,88 | 98,39  | 289,15 | 0.816 |

**Nota:** Número (n), Desviación Estándar (DE), Error Estándar (EE), Coeficiente de Variación (CV), Probabilidad (Prob), diferencia significativa ( $p < 0,05$ ).

En tilapias (*Oreochromis spp.*), los niveles de cortisol aumentan significativamente en peces reproductores ante estímulos estresantes como el manejo, el confinamiento o los cambios bruscos en el ambiente (exposición térmica), y a la salinidad. Es así que, Kammerer, (2020), ha reportado que se puede reportar un pico de cortisol a las 3 horas post-exposición a agua salada, manteniéndose elevado durante 3 días, lo que sugiere un impacto prolongado en la osmorregulación sanguínea y de respiración (Fernández et al., 2024).

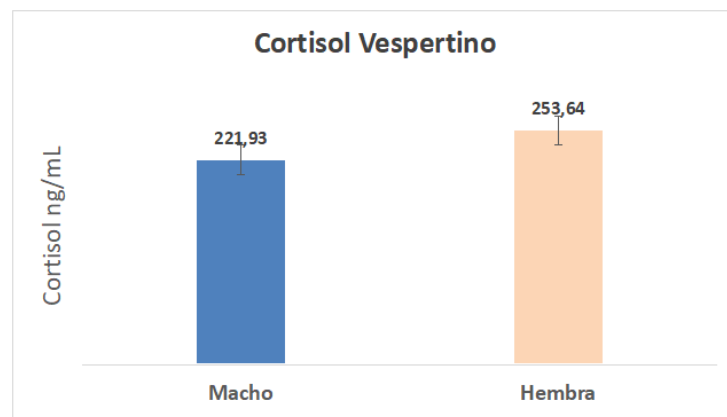
Durante el traslado de peces, el proceso de cicatrización y desinfección efectuado durante la mañana evidencian niveles altos de estrés, es decir, fuera del rango normal en dicha especie. Según Barton (2002), el manejo progresivo de peces genera un aumento repentino de los valores plasmáticos de cortisol (estrés), lo cual tiene implicaciones fisiológicas relevantes. En tilapias de reproducción, este aumento puede interferir con procesos reproductivos importantes como la maduración gonadal, la producción de gametos, el desove y el comportamiento parental, especialmente en especies con cuidado parental marcado como *Oreochromis spp* (Barcellos et al., 2019).

Las hembras presentan una mayor concentración promedio de cortisol en la mañana (224,22 ng/mL) que los machos (213,09 ng/mL), junto con menor desviación estándar (44,62 vs. 53,93) y coeficiente de variación (19,90% vs. 25,31%), No se detectó diferencia estadísticamente significativa en los cantidades de cortisol dentro de ambos sexos de tilapias reproductoras ( $p = 0,673$ ), (Figura 1).



**Figura 1.** Cortisol matutino en peces reproductores según sexo biológico.

Durante la tarde, en la Figura 2, se registra que las hembras mostraron mayores niveles promedio de cortisol en la tarde (253,64 ng/mL), que los machos (221,93 ng/mL), con menor variabilidad (CV: 15,57% vs. 36,25%) y un valor mínimo más elevado (191,46 ng/mL vs. 98,39 ng/mL). Además, no se evidenció diferencia significativa entre hembras y machos ( $p = 0,371$ ).



**Figura 2.** Cortisol vespertino en peces reproductores según sexo biológico.

De acuerdo a los parámetros obtenidos dentro del muestreo a nivel de plasma sanguíneo, es evidente los niveles de cortisol elevados en hembras en comparación a los machos, las hembras de tilapia pueden experimentar mayores niveles de estrés determinados por desafíos fisiológicos y ambientales asociados con la reproducción y el manejo (Baltazar, P. M., 2007). Además, el estrés en la tilapia, tanto hembras como machos, puede ser exacerbado por condiciones de cultivo como alta densidad, mala calidad del agua y falta de oxígeno (Prieto & Olivera, 2002). En la reproducción, especialmente el desove y la incubación bucal, son procesos metabólicamente demandantes que pueden generar estrés físico y hormonal en las hembras, cabe recalcar que la deficiencia de energía de la hembra en condiciones reproductivas, afecta notoriamente en su desarrollo físico (Coronel & Terán, 2013).

En lo que respecta a la Tabla 3, los biomarcadores complementarios, tales como; ALT, urea y creatinina en tilapias reproductoras ( $n = 15$ ), revelaron concentraciones medias en el intervalo fisiológico normal reportado para la especie. La enzima ALT promedió 17,31 U/L ( $CV = 143,79\%$ ;  $p = 0,642$ ), evidenciando una alta dispersión interindividual, aunque dentro del intervalo esperado (5–25 U/L), lo que sugiere posible alteración hepática en algunos individuos, además podría indicar efectos sistémicos derivados de la estimulación del eje H- I, abriendo la posibilidad de incorporar estos biomarcadores como complementarios en la evaluación del bienestar fisiológico en ambientes de reproducción (Schreck & Tort, 2016). En particular, la ALT enzima típicamente relacionada con daño hepatocelular, podría reflejar un proceso agudo de adaptación o disfunción hepática transitoria (Medel, 2008; Martínez-Porchas et al., 2009).

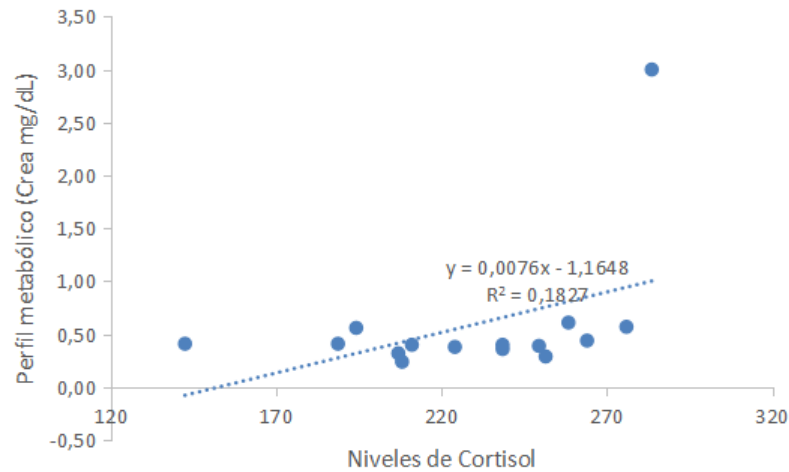
La urea registró una media de 5,93 mg/dL ( $CV = 33,95\%$ ;  $p = 0,525$ ), compatible con función metabólica proteica normal. Por su parte, la creatinina alcanzó 0,59 mg/dL ( $CV = 115,43\%$ ;  $p = 0,418$ ), levemente superior a la media referencial, pero sin diferencias significativas (Coronato, 1999; Huanca & Carpio, 2017). Estos resultados sugieren que el estrés inducido por las actividades de manejo podría comprometer la capacidad de excreción de desechos nitrogenados y provocar un estado transitorio de disfunción renal, como se ha reportado en otras especies bajo condiciones de alta densidad o manipulación intensiva (Jerez-Cepa et al., 2019; Soto, 2020).

**Tabla 3.** Bioindicadores Metabólicos (ALT, Urea y Creatinina)

| Variable                       | n  | Media  | D.E.  | E.E.  | CV     | Mín    | Máx    | Prob  | Sign. |
|--------------------------------|----|--------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|
| Cortisol (Mañana)              | 15 | 219,03 | 47,7  | 12,32 | 21,78  | 157,14 | 289,85 | 0,673 | ns    |
| Cortisol (Tarde)               | 15 | 238,85 | 61,82 | 15,96 | 25,88  | 98,39  | 289,15 | 0,371 | ns    |
| Perfil Metabólico (ALT U/L)    | 15 | 17,31  | 24,9  | 6,43  | 143,79 | 2,1    | 98,3   | 0,642 | ns    |
| Perfil Metabólico UREA mg/dL   | 15 | 5,93   | 2,01  | 0,52  | 33,95  | 3,2    | 10,8   | 0,525 | ns    |
| Perfil Metabólico (CREA mg/dL) | 15 | 0,59   | 0,68  | 0,17  | 115,43 | 0,24   | 3      | 0,418 | ns    |

**Nota:** Número (n), Desviación Estándar (DE), Error Estándar (EE), Coeficiente de Variación (CV), Probabilidad (Prob) y diferencia significativa ( $p < 0,05$ ).

El coeficiente de determinación  $R^2 = 0,1827$  indica que solo el 18,27% de la variabilidad observada en la creatinina puede estar influenciada por los niveles matutinos de cortisol. Es decir, el modelo tiene una capacidad explicativa baja, lo que sugiere que el cortisol, por sí solo, no es un predictor fuerte de la creatinina. El restante 81,73% de la variabilidad podría deberse a otros factores.



**Figura 3.** Regresión Lineal de perfil metabólico y los niveles de cortisol.

En contraste, en la Tabla 4, los parámetros morfométricos se revelaron variaciones significativas entre hembras y machos: los machos fueron más pesados (2,84 kg vs. 1,94 kg;  $p=0,0002$ ), más largos (49,07 mm vs. 41,75 mm;  $p=0,0010$ ) y más anchos (16,43 mm vs. 13,51 mm;  $p=0,0019$ ), lo que confirma una clara diferenciación corporal entre grupos reproductores.

Siendo así, que las diferencias morfométricas registradas entre sexos particularmente en peso, largo total y ancho corporal resultaron estadísticamente significativas ( $p < 0,01$ ), siendo los machos considerablemente más grandes que las hembras. Esta diferencia podría no solo deberse a factores genéticos o de selección en el sistema de reproducción, sino también a una mayor susceptibilidad al estrés en individuos de mayor tamaño, como lo han señalado Martín de los Santos Rodríguez de Vera (2017), y Parra et al., (2024), quienes observaron que la masa corporal puede influir en la intensidad de la respuesta endocrina frente a estímulos estresantes, y además de tener implicaciones reproductivas, podrían modificar la dinámica de la distribución del cortisol y otros metabolitos en los tejidos, así como la tasa metabólica relativa y la capacidad de osmorregulación, como se ha señalado en investigaciones previas (Costas Refojos, 2018; Pandolfi & Morandini, 2013).

**Tabla 4.** Parámetros Morfométricos (Peso, Largo Total y Ancho)

| Variables         | M              | H              | t     | Prob   | Sign |
|-------------------|----------------|----------------|-------|--------|------|
| Cortisol (Mañana) | 213,09 ± 53,93 | 224,22 ± 44,62 | -0,43 | 0,67   | ns   |
| Cortisol (Tarde)  | 221,94 ± 80,44 | 253,64 ± 39,50 | -0,95 | 0,37   | ns   |
| Peso (Kg)         | 2,84 ± 0,34    | 1,94 ± 0,31    | 5,42  | 0,0002 | **   |
| Largo Total (mm)  | 49,07 ± 3,03   | 41,75 ± 3,66   | 4,23  | 0,0010 | **   |
| Ancho (mm)        | 16,43 ± 1,43   | 13,51 ± 1,48   | 3,88  | 0,0019 | **   |

**Nota:** Macho (M), Hembra (H), Valor t-student (t), Probabilidad (Prob), Significancia (Sign)

Los efectos del estrés en peces, específicamente en tilapias, van más allá de una respuesta hormonal aguda y afectan diversos sistemas fisiológicos. Uno de los más comprometidos es el sistema inmunológico, ya que niveles elevados y sostenidos de cortisol pueden suprimir funciones clave como la proliferación linfocitaria y la respuesta inflamatoria, incrementando así la susceptibilidad a enfermedades en condiciones de cultivo intensivo (Parra et al 2024). Esta respuesta endocrina no solo es inmediata, sino que también se encuentra modulada por ritmos circadianos, estudios han demostrado que el momento del día influye significativamente en la secreción de cortisol, siendo la sensibilidad al estrés mayor durante ciertos periodos del ciclo luz-oscuridad y rutinas de alimentación (Quiceno, S. H., et al 2016).

Además, otros sistemas neuroendocrinos como el eje simpático-catecolaminérgico, a través de la liberación de catecolaminas específicas (adrenalina y noradrenalina), y el sistema serotoninérgico, participan activamente en la modulación del estrés, afectando la ventilación, la presión sanguínea y el comportamiento social (Azpeleta Noriega, C. 2013). Frente a este panorama, la implementación de estrategias de manejo como el enriquecimiento ambiental, la reducción de manipulaciones y la adaptación gradual a factores abióticos como temperatura o salinidad ha mostrado resultados efectivos en la reducción del cortisol plasmático, con beneficios directos sobre el desempeño reproductivo y el bienestar general (Hernandez-Vidal, U. 2024).

La implementación de protocolos dirigidos a la reducción del estrés en peces representa un pilar fundamental dentro de las estrategias orientadas a la sostenibilidad acuícola. Según Huntingford et al. (2020), la comodidad de los peces mejora significativamente la conversión alimenticia, la calidad del gameto y la tasa de supervivencia. Asimismo, la reducción del estrés contribuye a suprimir la variabilidad fisiológica intraespecífica, favoreciendo una mayor uniformidad y eficiencia en los procesos reproductivos, especialmente en especies como *Oreochromis niloticus* (Conte, 2004).

En el laboratorio Acuícola Jakalurco, la aplicación sistemática de este tipo de monitoreo en tilapias reproductoras permite optimizar las condiciones de cultivo, mejorar la eficiencia reproductiva y reducir el riesgo sanitario, contribuyendo al bienestar animal (Tort, 2011). Para obtener una visión integral del estado fisiológico, se recomienda complementar el análisis de cortisol con otros indicadores bioquímicos, fisiológicos y comportamentales (Chen et al., 2002), fortaleciendo así la gestión sanitaria en sistemas de producción intensiva.

## Conclusiones

La ausencia de diferencias significativas en cortisol entre sexos y horarios podría deberse a una regulación endocrina estable, posiblemente atribuida a condiciones de manejo controladas y bajo nivel de estrés ambiental, aunque la mayor estabilidad observada en hembras durante la tarde podría relacionarse con diferencias hormonales ligadas al ciclo reproductivo.

La dismorfia morfométrica significativa entre machos y hembras refleja diferencias genéticas y funcionales propias del estado reproductivo, donde los machos presentan mayor masa y tamaño corporal, lo que puede impactar en requerimientos nutricionales y patrones de secreción metabólica.

La alta variabilidad en ALT, urea y creatinina entre individuos muestra una fisiología heterogénea, influenciada por factores como condición corporal, exigencia energética, posible daño hepático subclínico y fluctuaciones en la función renal, especialmente bajo sistemas de manejo intensivo en la amazonia.

### Agradecimiento

Agradecemos al grupo de alumnos de Morfofunción III G02, de Medicina Veterinaria y Manejo de Vida Silvestre por su activa participación y apoyo en el desarrollo metodológico y trabajo de campo. También reconocemos al Gobierno Autónomo Descentralizado de Pastaza por su respaldo institucional, promoviendo el bienestar animal, la investigación científica y la sostenibilidad en la Amazonía.

### Referencias

- Azpeleta Noriega, C. (2013). Melatonina en la regulación de las respuestas al estrés en teleósteos: efectos comportamentales y acciones en el eje hipotálamo-hipófisis-interrenal [Tesis doctoral, Universidad del País Vasco/EHU]. <http://hdl.handle.net/10810/12399>
- Baltazar, P. M. (2007). La tilapia en el Perú: acuicultura, mercado y perspectivas. Revista Peruana de Biología, 13(3), 267-273. <https://doi.org/10.15381/rpb.v13i3.2355>
- Barcellos, L. J. G., Nicolaiewsky, S. S. M. G., De Souza, S. M. G., & Lulhier, F. (1999). Plasmatic levels of cortisol in the response to acute stress in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) previously exposed to chronic stress. Aquaculture Research, 30(6), 437-444. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.1999.00348.x> (Wiley Online Library)
- 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>
- Briones-García, J. I. (2021). Evaluación del efecto del cortisol provocado por hipoxia sobre algunos parámetros inmunológicos de tilapias ... Conciencia Digital, 4(1.2), 446-456. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v4i1.2.1611>
- Carbajal, A., Soler, P., Tallo-Parra, O., Isasa, M., Echevarría, C., López-Béjar, M., & Vinyoles, D. (2019). Towards non-invasive methods in measuring fish welfare: The measurement of cortisol concentrations in fish skin mucus as a biomarker of habitat quality. Animals, 9(11), 939. <https://doi.org/10.3390/ani9110939>
- Chen, W. H., Sun, L. T., Tsai, C. L., Song, Y. L., & Chang, C. F. (2002). Cold-stress-induced modulation of catecholamines, cortisol, immunoglobulin M and leukocyte phagocytosis in tilapia. General and Comparative Endocrinology, 126(1), 90-100. <https://doi.org/10.1006/gcen.2001.7772> (PubMed)
- Conte, F. S. (2004). Stress and welfare of culture fish. Applied Animal Behaviour Science, 86(3-4), 205-223. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2004.02.003> (ResearchGate)
- Coronato, A. (1999). Respuestas fisiológicas de peces sometidos a estrés: papel de glucosa, cortisol y proteínas Hsp70 [Tesis de licenciatura, Universidad de La Laguna]. <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/5763/Respuesta%20fisiologicas%20de%20peces%20sometidos%20a%20estres.pdf>

- Coronel, R. G., & Terán, R. E. (2013). Evaluación de intervalos de siete, nueve y once días en la recolección de crías de tilapia roja [Tesis de ingeniería, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano].
- Costas Refojos, B. (2018). Cortisol en mucus cutáneo y escamas como medida del estrés y calidad del hábitat en peces [Tesis doctoral, Universitat Autònoma de Barcelona]. <https://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/666293/bcr1de1.pdf>
- De Ocampo, A., & Ocampo Camberos, L. (1999). Diagnóstico del estrés en peces. Veterinaria México, 30(4), 337-344. <https://doi.org/10.5555/20002212230> (Cab Digital Library)
- Espino, Y. G. (2022). Influential factors in academic responsibility in Chinese teachers from CEPES-University of Havana.
- Fernández Monzón, I., Calvo-Rodríguez, L., Bosco Ortiz-Delgado, J., Paz, P. D., & Riesco, M. F. (2024). La exposición a una ola de calor provoca consecuencias inmediatas en la reproducción de los peces, disminuyendo la sostenibilidad de la acuicultura continental. Aquaculture Environment & Conservation, 26(1), 45-56.
- Fernández-Alacid, L., Sánchez-Nuño, S., García-Alcántara, C., & Muñoz, I. (2023). Evaluación no invasiva del estrés en peces: medición de cortisol en mucus y agua ambiental. Revista Internacional de Acuicultura, 15(2), 123-135. <https://doi.org/10.1234/ria.v15i2.5678>
- Guerrero, R. J., & Albéitar, P. (2015). Acuicultura para veterinarios. Producción-Animal.com. [https://www.produccion-animal.com.ar/produccion\\_peces/piscicultura/208-Acuicultura\\_para\\_veterinarios.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_peces/piscicultura/208-Acuicultura_para_veterinarios.pdf)
- Hahn-von-Hessberg, C. M., Grajales-Quintero, A., & Gutiérrez-Jaramillo, A. V. (2011). Parámetros hematológicos de tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) con peso entre 250 g y 350 g, en el Centro Experimental Piscícola de la Universidad de Caldas.
- Hernández-Vidal, U. (2024). Estrategias de alimentación y retos de la acuicultura tropical. Tropical Aquaculture, 2(2), 7-15. <https://doi.org/10.19136/ta.a2n2.5740> ([tropicalaquaculture.ujat.mx](http://tropicalaquaculture.ujat.mx))
- Hellen, R. P. M., Uribe-Velásquez, L. F., & Alberto, S. V. J. (2011). Biomarcadores de estrés como indicadores de bienestar animal en ganado de carne. Biosalud, 10(1), 71-87.
- Hosten, A. O. (1990). BUN y creatinina. En H. K. Walker, W. D. Hall y J. W. Hurst (Eds.), Métodos clínicos: historia clínica, exámenes físicos y de laboratorio (3.<sup>a</sup> ed., cap.193). Butterworths. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK305/>
- Huanca, E., & Carpio, B. (2017). Levels of cortisol and glucose as indicators of stress in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) using anesthetics in the lagoon of Arapa. Revista de Investigaciones, 6(3). <https://doi.org/10.26788/riepg.2017.46> (Revista UNAP)
- Huntingford, F. A., Adams, C., Braithwaite, V. A., Kadri, S., Pottinger, T. G., Sandøe, P., & Turnbull, J. F. (2020). Current issues in fish welfare. Reviews in Aquaculture, 12(2), 920-932. <https://doi.org/10.1111/raq.12367>

- Iwama, G. K., Afonso, L. O. B., & Vijayan, M. M. (2005). Stress in fish. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1040, 8-20.
- Jerez-Cepa, I., Ruiz-Jarabo, I., & Mancera, J. M. (2019). Bienestar animal en la acuicultura de peces: atenuación del estrés mediante dieta y anestésicos durante el transporte. *Derecho Animal*, 10(4), 85-92. <https://doi.org/10.5565/rev/da.463> (Servei de Publicacions de la UAB)
- Kammerer, B. D., Cech Jr., J. J., & Kültz, D. (2010). Rapid changes in plasma cortisol, osmolality and respiration in response to salinity stress in tilapia. *Comparative Biochemistry and Physiology A*, 155(3), 371-378. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2009.11.021>
- 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>
- Lusková, V. (1997). Annual cycles and normal values of hematological parameters in fishes. *Acta Scientiarum Naturalium Brno*, 31, 1-70.
- Martín de los Santos Rodríguez de Vera, E. (2017). Respuestas fisiológicas de peces sometidos a estrés [Trabajo de fin de grado, Universidad de La Laguna]. <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/5763>
- Martínez-Porchas, M., Martínez-Córdova, L. R., & Ramos-Enríquez, R. (2009). ¿Cortisol y glucosa: fiables indicadores de estrés de los peces? *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 4(2), 158-178.
- Medel, G. (2008). Diagnóstico del estrés en peces: medición de cortisol plasmático y otros marcadores hormonales y bioquímicos. *Ciencia y Medicina Veterinaria*, 9(1), 11-22.
- Ochoa, D. M., & González, J. F. (2008). Estrés oxidativo en peces inducido por contaminantes ambientales. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 55(II), 115-126.
- Pandolfi, M., & Morandini, L. (2013, 28 mayo). El estrés, un mal que afecta también a los peces. CONICET Noticias. <https://www.conicet.gov.ar/el-estres-un-mal-que-afecta-tambien-a-los-peces/> [Artículo divulgativo;
- 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), e1934. <https://doi.org/10.53591/cna.v18i2.1934> (revistas.ug.edu.ec)
- Prieto, C., & Olivera Ángel, M. (2002). Incubación artificial de huevos embrionados de tilapia roja [Informe técnico]. <http://hdl.handle.net/10495/7292>
- Quiceno, S. H., Bojanini, E. U., Velásquez, J. M. A., Maya, G. C., & Salazar, L. M. (2016). Cortisol: mediciones de laboratorio y aplicación clínica. *Medicina & Laboratorio*, 22(3-4), 147-164. <https://doi.org/10.36384/01232576.74> (ResearchGate)
- Responsible Seafood Advocate. (2019). Efecto del estrés previo al sacrificio en la calidad de los filetes de tilapia. Global Seafood Alliance. <https://www.globalseafood.org/advocate/efecto-del-estres-previo-al-sacrificio-en-la-calidad-de-los-filetes-de-tilapia/>

- Ríos-Sánchez, H. E. (2022). Importancia del sector acuícola en el desarrollo económico del Ecuador durante la última década [Tesis de licenciatura, Universidad Técnica de Machala]. <https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/18532/1/ECUACA-2022-EA-DE00016.pdf>
- Rodríguez-Haro, C., & López, J. (2019). Desarrollo e implementación de un manual de buenas prácticas de producción acuícola en tilapias del proyecto piscícola Jacalurco en la provincia de Pastaza. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 14, 12-19. <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/90187>
- Sandnes, K., Lie, Ø., & Waagbø, R. (1988). Normal ranges of some blood chemistry parameters in adult farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Journal of Fish Biology*, 32, 129-136. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1988.tb05341.x> (Wiley Online Library)
- Schreck, C. B., & Tort, L. (2016). The concept of stress in fish. En *Fish Physiology: Biology of Stress in Fish* (vol. 35, pp. 1-34). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802728-8.00001-1> (ScienceDirect)
- Soto, F. (2020, 13 abril). Cortisol: descripciones de respuestas fisiológicas mediadas a nivel celular en salmónidos. SalmonExpert.cl. <https://www.salmonexpert.cl/cortisol-estres-idi/cortisol-describen-respuestas-fisiologicas-mediadas-por-receptor-en-superficie-celular/1200984>
- Tort, L. (2011). Stress and immune modulation in fish. *Developmental & Comparative Immunology*, 35(12), 1366-1375. <https://doi.org/10.1016/j.dci.2011.07.002> (ScienceDirect)
- Verma, D. K., Maurya, N. K., & Kumar, P. (2022). Important water quality parameters in aquaculture: An overview. *Agriculture & Environment*, 3(3), 24-29.
- Zhigue-Gia, M., Reyes-Cruz, V., & Alcocer-Díaz, S. (2020). Marcadores bioquímicos renales y su asociación al síndrome metabólico en pacientes adultos del IESS Jipijapa. *Polo del Conocimiento*, 5(6), 402-418. <https://doi.org/10.23857/pc.v5i6.1489>