

Evaluación del estrés en peces de Latinoamérica a través de la respuesta en los niveles de cortisol

Stress assessment in Latin American fish through cortisol response levels

Geovanna Parra-Riofrío^{1,2,3*}, Gabriel Vaca Nuñez^{1,2}, Antonio Torres Noboa¹

1Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil, 090601 Guayaquil, Ecuador.

2Laboratorio de Acuicultura, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil, 090601 Guayaquil, Ecuador.

3Departamento de Acuicultura, Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Católica del Norte, Larrondo 1281, Coquimbo, Chile

Recibido 01 agosto 2024, aceptado 11 octubre 2024, en línea 07 diciembre 2024

Resumen

Los peces enfrentan factores estresantes que alteran su homeostasis y capacidad de adaptación en ambientes naturales y de cautiverio, en este ámbito el cortisol es un glucocorticoide liberado por el eje hipotálamo-hipófisis-interrenal, mismo que es clave en la respuesta al estrés, relacionado a su supervivencia. El objetivo de esta revisión fue analizar el estrés en peces de Latinoamérica y la respuesta de cortisol. El análisis mostró que los estudios se han realizado en Brasil 77%, Colombia 10%, y Ecuador, México, Uruguay y Chile, con un 3% respectivamente. Se reportan 13 especies estudiadas que corresponden a: *Brycon amazonicus*, *B. cephalus*, *Piaractus mesopotamicus*, *P. brachypomus*, *Colossoma macropomum*, *Rhamdia quelen*, *Pimelodus maculatus*, *Oreochromis niloticus*, *O. mossambicus*, *Morone saxatilis*, *Arapaima gigas*, *Austrolebias reicherti* y *Salmo salar*. Las especies de peces analizadas en Latinoamérica son en su mayoría nativas, con factores de estrés como la hipoxia, persecución, transporte y manipulación, que aumentan los niveles de cortisol. Es importante señalar que los anestésicos químicos como MS-222, que a pesar que disminuyen el estrés, afectan procesos como la reproducción. Sin embargo, el uso de aceites esenciales como el aceite de clavo de olor o β -glucanos, ayudan a reducir los índices de estrés, podrían ser una alternativa sin efectos negativos sobre algunas funciones fisiológicas.

Palabras clave: peces, Latinoamérica, cortisol, estrés.

Abstract

Fish, both wild and farmed, face stress factors that alter their homeostasis and ability to adapt in natural and captive environments, putting their survival at risk. Pollution and changes in water quality affect their health and response to stress. In this area, cortisol is a glucocorticoid released by the hypothalamic-pituitary-interrenal axis, which is key in the response to stress and everything related to its survival. The objective of this review was to analyze stress in fish from Latin America and the cortisol response. The analysis showed that the studies have been carried out in Brazil 77%, Colombia 10%, and Ecuador, Mexico, Uruguay and Chile, with 3% respectively. 13 studied species are reported, corresponding to: *Brycon amazonicus*, *B. cephalus*, *Piaractus mesopotamicus*, *P. brachypomus*, *Colossoma macropomum*, *Rhamdia quelen*, *Pimelodus maculatus*, *Oreochromis niloticus*, *O. mossambicus*, *Morone saxatilis*, *Arapaima gigas*, *Austrolebias reicherti* and *Salmo salar*. The fish species analyzed in Latin America are mostly native, with the main stressors identified being hypoxia, persecution, transportation and handling, which increase cortisol levels. However, the use of additives such as clove oil, β -glucans and ascorbic acid helps reduce this elevation. It is important to note that although chemical anesthetics such as MS-222, although they reduce stress, affect processes such as reproduction. However, the use of essential oils such as clove oil or β -glucans help reduce stress indices, so essential oils could be an alternative without negative effects on some other physiological functions.

Keywords: fish, Latin America, cortisol, stress.

* Correspondencia del autor:

E-mail: geovanna.parrar@ug.edu.ec



Esta obra está bajo una licencia de creative commons: atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0. Los autores mantienen los derechos sobre los artículos y por tanto son libres de compartir, copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra.

Introducción

Los peces son organismos tolerantes a diferentes condiciones ambientales (natural o cautiverio), y a su vez están expuestos a estímulos que pueden alterar sus niveles de estrés. Como respuesta a estas condiciones se da un desequilibrio homeostático y puede comprometer la capacidad de adaptación de los organismos, amenazando su supervivencia (Opini3n et al. 2023). Factores ambientales como la contaminación y cambios en la calidad del agua afectan la salud de los peces, quienes muestran respuestas deterioradas ante estresores agudos. Si los organismos ya est3n expuestos a condiciones estresantes cr3nicas, estas alteraciones impactan a los peces desde niveles moleculares hasta comunitarios (De los Santos, 2017).

Por lo que la respuesta primaria a este factor en peces es la producci3n de cortisol (Per3n, 2020). El cortisol es un glucocorticoide asociado con la regularizaci3n de las respuestas producidas por estímulos nocivos (Goikoetxea et al., 2017), y se libera por la activaci3n de células interrenales (porci3n anterior del riñ3n) que integran el eje hip3talamo-hip3fisis-interrenal (eje HPI) (Mommssen et al. 1999). La respuesta a una situaci3n de estr3s hace que la gl3ndula pituitaria anterior de la hip3fisis actúe a trav3s del Factor de Liberaci3n de Corticotropina (CFR), estimulando la secreci3n de la Hormona Adrenocorticotrópica (ACTH) (Fryer & Lederis, 1986), la cual se liberará hacia el sistema circulatorio (Wendelar, 1997; Mart3nez-Porchas et al., 2009). Por lo cual el objetivo de esta revisi3n es analizar el estr3s en peces de Latinoam3rica a trav3s de la respuesta en los niveles de cortisol.

Materiales y Métodos

Esta revisi3n se basa en el an3lisis cualitativo con un enfoque correlacional de los estudios de medici3n de niveles de estr3s a trav3s del cortisol en peces a nivel de Latinoam3rica obtenidos de los resultados previamente estudiados en las 30 publicaciones obtenidas de ScienceDirect, Scopus, Scielo; los estudios fueron divididos por especies y las palabras claves de b3squedas fueron Cortisol, Latinoam3rica, peces.

Resultados

Los estudios de medici3n de cortisol en peces de Latinoam3rica se han realizado en seis pa3ses con una representaci3n de investigaci3n del 77% en Brasil, 10% Colombia y 3% respectivamente en Ecuador, M3xico, Uruguay y Chile. Se reportan 13 especies estudiadas que corresponden a: *Brycon amazonicus*, *B. cephalus*, *Piaractus mesopotamicus*, *Piaractus brachypomus*, *Colossoma macropomum*, *Rhamdia quelen*, *Pimelodus maculatus*, *Oreochromis niloticus*, *O. mossambicus*, *Morone saxatilis*, *Arapaima gigas*, *Austrolebias reicherti* y *Salmo salar*. (Tabla 1).

Brycon amazonicus

La matrinxã (*B. amazonicus*), es un pez amaz3nico de la familia Bryconidae que tiene un crecimiento r3pido y un alto valor nutricional a partir del consumo de su carne (Izel-Silva et al., 2024) "ISSN": "00448486", "abstract": "This study evaluated matrinxã *Brycon amazonicus* larviculture performance at different total suspended solid (TSS). Los niveles de cortisol presentados para esta especie est3n entre 80-125 ng mL⁻¹, de acuerdo a De Abreu & Urbinati (2006), la adici3n de vitamina C en 100-800 mg/kg de alimento y sometido a hipoxia por 2 minutos, no afect3 los niveles de cortisol en el plasma de los cuales fueron (93 - 120 ng mL⁻¹). La adici3n de NaCl en concentraciones de 0, 1, 3, 6 g L⁻¹, elev3 los valores de cortisol (> 150 ng mL⁻¹), no obstante a las 24 horas regresaron a las condiciones iniciales 80-100 ng mL⁻¹ (Urbinati & Carneiro, 2006). La persecuci3n para la captura de los organismos es un factor de estr3s frecuente, esto fue evaluado por Hoshiba et al. (2009) quien durante 10 minutos sometió a los peces a este factor llev3ndolos a una nataci3n intensa, no obstante no fue suficiente para elevar los niveles de cortisol que se presentaron entre entre 120-130 ng mL⁻¹. Seg3n Mart3nez Castillo et al. (2023) evaluaron diferentes tratamientos de manejo de estr3s mostrando que la utilizaci3n de anest3sicos (MS222 y Benzocaína) puede controlar los niveles de cortisol, al ser expuestos a choques t3rmicos de 25 a 7 °C, los resultados no mostraron diferencias con respecto al control, 429.1 - 511.4 ng mL⁻¹. No obstante el estudio de Mart3nez Castillo et al. (2023) realizado en Colombia, muestra valores de cortisol m3s elevados que los realizados en Brasil De Abreu & Urbinati (2006); Urbinati & Carneiro, 2006 y Hoshiba et al. (2009) sugieren que esto puede deberse a la utilizaci3n de compuestos anest3sicos y otros efectos estresores como el choque t3rmico que elevan el cortisol plasmático.

Brycon cephalus

B. cephalus es un pez amaz3nico cultivado en Brasil por el sabor y contenidos de prote3na de importancia en su carne, perteneciente a la familia Bryconidae (Medran Rangel et al., 2022). En esta especie se ha evaluado el efecto del aceite de clavo para minimizar el efecto del estr3s por el transporte o movilizaci3n de organismos, se evidenci3 que con respecto a los controles (12 ng mL⁻¹) no minimizaron los niveles de cortisol, (30.7 ng mL⁻¹), sin embargo, durante este factor de estr3s se pudo observar la elevaci3n de los niveles de cortisol tanto en control 90 ng mL⁻¹ y tratamiento 60 ng mL⁻¹ mostrando que durante esta etapa el aceite de clavo es efectivo para reducir el estr3s en esta especie.

Piaractus mesopotamicus

P. mesopotamicus es un pez de agua dulce de la familia Serrasalminidae conocido como "pacú" que se distribuye en la cuenca alta del R3o Paraguay y la cuenca del Paran3 (Perez Ribeiro et al., 2010). El estr3s ocasionado por la captura (persecuci3n, contacto entre los peces, nado r3pido, hipoxia), mostr3 elevados niveles de cortisol entre los 5 - 30

minutos post captura, con niveles de 78-130 ng mL⁻¹, respecto a un control de 48 ng mL⁻¹, sin embargo 24 horas posteriores estos disminuyeron a 90 ng mL⁻¹. De acuerdo con Abreu et al. (2009) netting and air exposure se concluye que en el pacú los niveles elevados de cortisol probablemente fueron provocados por la activación del eje cerebro-hipófisis-interrenal.

Sin embargo, Drumond et al. (2018) 11.25, 22.50, 33.75, and 45.00 mg kg⁻¹ mostraron que el efecto de la inclusión de Ractopamina tiene incremento directamente proporcional a la concentración de cortisol en el plasma hasta llegar a una concentración de 73.3 ng mL⁻¹ respecto al control de 32.7 ng mL⁻¹, y esto se hace una relación a que los niveles elevados de cortisol reducen la acción de las enzimas lipogénicas hepáticas por acción indirecta de incremento de la epinefrina, por lo que la adición de este promotor de crecimiento lleva a una situación de estrés a la especie. En cuanto al estudio de Mariano et al., (2019) determinó que el uso de plaguicidas a base de *Bacillus thuringiensis* (Dipel-WP®) añadidos al alimento y en el agua, no mostraron diferencias con respecto al control de 24 - 48 horas, manteniendo niveles entre 50-65 ng mL⁻¹, respecto al de Drumond et al. (2018) 11.25, 22.50, 33.75, and 45.00 mg kg⁻¹ que difiere respecto al valor del control, probablemente mostrando que los organismos a nivel silvestre que se puedan exponer a plaguicidas podrían llegar a situaciones de estrés que eleven los niveles de cortisol.

Por otro lado, al ser el pacú una especie de importancia acuícola, se evalúa el uso de $\beta(1,3/1,6)$ -glucanos en juveniles que fueron desafiados con *Aeromonas hydrophila*, Lopes et al. (2022) determinaron que a nivel basal disminuyen los niveles de cortisol con respecto al control de 0.40 a 0.10 ng mL⁻¹, posterior al desafío se pudo observar que todos los niveles fueron elevados 0.70 ng mL⁻¹ pero a las 6 y 24 horas post-desafío se determinó que la inclusión del 0.1% tuvo el valor más bajo de cortisol respecto al control. No obstante en comparación con los estudios de Abreu et al. (2009) netting and air exposure, Drumond et al. (2018) 11.25, 22.50, 33.75, and 45.00 mg kg⁻¹ y Mariano et al., (2019) se puede observar que la adición de $\beta(1,3/1,6)$ -glucanos en la dieta, muestra los niveles más bajos de cortisol reportados para la especie.

Piaractus brachypomus

La cachama blanca (*P. brachypomus*) es una especie nativa de las cuencas de los ríos Orinoco y Amazonas, perteneciente a la familia Serrasalminidae, se encuentra distribuida en Brasil, Argentina, Bolivia, Perú, Venezuela y Colombia (Puello-Caballero et al., 2018). Esta especie es importante a nivel de piscicultura local, por lo cual se evaluaron los efectos a nivel de dietas e inclusión de aditivos en los alimentos. Rodríguez & Landines-Parra (2018) observaron el efecto de la restricción de alimento en el cual el tratamiento experimental alimentaba a la especie pasando un día, sin embargo, en la

medición de los niveles de cortisol (20,56 ng mL⁻¹), se mostraron diferencias significativas con respecto al control que fue alimentado a diario (20,76 ng mL⁻¹). Cuando se adicionó ácido ascórbico (400 mg/Kg) se mostró que los niveles de cortisol disminuyen cuando la especie es sometida a hipoxia. 30 minutos post-estrés se presentaron valores control de 45 ng mL⁻¹ y el tratamiento de 25 ng mL⁻¹, mejorando la respuesta al estrés (Corredor Castillo & Landines Parra, 2019). Respecto a esta especie podemos determinar que los valores control para la especie están entre 20-25 ng mL⁻¹.

Colossoma macropomum

C. macropomum, conocido comúnmente como "tambaqui", es una especie de la familia Serrasalminidae de la cuenca del río Amazonas y del Orinoco en América del Sur (Silva Hilsdorf et al., 2021). Los estudios en referencia a la cuantificación de cortisol para la especie se han determinado que valores control oscilan entre 50-100 ng mL⁻¹, así Aride et al. (2018) evaluaron la inclusión de *Myrciaria dubia* en la dieta y determinaron que no afecta los niveles de cortisol siendo similar al control, no obstante cuando los sometió al test de Ucrit (persecución), los niveles se elevaron en todas las condiciones experimentales mostrando valores entre 180-250 ng mL⁻¹, concluyendo que las adaptaciones bioquímicas para mantenimiento de los procesos de movilización de energía y necesidad de regulación en la demanda de oxígenos en tejidos durante ejercicio intenso, elevan los niveles de cortisol en el plasma. Por otro lado Paz & Val (2018) utilizaron la hormona de crecimiento bovino (bGH), y se comprobó que esta no altera los niveles de cortisol en las diferentes dosis, sólo a los 15 días tiene una elevación a 170 ng mL⁻¹ sin embargo, desde el día 30 hasta el 50 disminuye a sus niveles basales menores a 100 ng mL⁻¹.

Rhamdia quelen

El bagre plateado (*R. quelen*) es un silúrido de la familia Heptapteridae. Se lo puede encontrar en el centro de Argentina hasta el sur de México y en la región sur de Brasil, en esta último país su producción es la más alta de América del Sur (Valladão et al., 2016; Kelm Battisti et al., 2020). Los estudios en relación a condiciones de estrés han sido investigados por Falanghe Carneiro et al., (2009) que determinaron que las diferentes densidades poblacionales (75, 150, 250, 350 g L⁻¹) tienen un efecto en el incremento proporcional de cortisol, siendo el valor máximo de 173.18 ng mL⁻¹ - 350 g L⁻¹; y entre 50-60 ng mL⁻¹ en la densidad más baja; no obstante, después de 24 horas para todos las densidades los niveles disminuyeron por debajo de 100 ng mL⁻¹. Los autores mencionan que de acuerdo con Davis & Small (2006) la rápida eliminación del cortisol probablemente se deba a la falta de una globulina transportadora de cortisol que lo protege de la degradación y pueda que *R. quelen* se incluya dentro de este listado de peces con estas características. Por otro lado, de acuerdo a Koakoski et al. (2013) este organismo no posee un efecto acumulativo de cortisol por persecución, por

lo que esta especie es tolerante para este factor con valores máximos de 120 ng mL⁻¹ respecto al control con 40 ng mL⁻¹. La evaluación de diversos compuestos y aditivos anestésicos permiten ayudar a las especies a minimizar su respuesta ante condiciones de estrés. Así se ha evaluado para la especie el efecto de la albahaca lima (*Ocimum americanum*) en la que los tratamientos de 300-500 mg L⁻¹ mostraron efectos anestésicos con valores de cortisol similares a los niveles basales menores a 100 ng mL⁻¹, no obstante a los 240 minutos el control mostró el valor más bajo >25 ng mL⁻¹ y en los tratamientos valores de 50 ng mL⁻¹ (Silva et al., 2015). Otro anestésico frecuentemente usado es el eugenol, el cual Corso et al. (2019) determinaron que en concentraciones de 40 y 50 mg L⁻¹ presentaron niveles plasmáticos de cortisol menores (88,4 y 83,3 ng mL⁻¹ respectivamente) que el control (147,1 ng mL⁻¹), concluyendo que además no tuvo ninguna afectación con el desempeño reproductivo de los reproductores. Finalmente dos Santos Teixeira et al. (2021) mostraron que el efecto del anestésico MS-222 (metanosulfonato de triclaína) eleva las concentraciones de cortisol y deteriora la motilidad espermática y disminuye el estradiol plasmático mostrando valores de 150-190 ng mL⁻¹ respecto a 100 ng mL⁻¹ presente en el control. Finalmente se concluye que la utilización de anestésicos puede interferir en los aspectos reproductivos para esta especie, frente a otras especies que toleran de mejor manera la utilización de estos compuestos.

Pimelodus maculatus

P. maculatus es un silúrido perteneciente a la familia Pimelodidae que habita en la cuenca del río Amazonas y Paraná, su distribución geográfica abarca Brasil, Argentina, Paraguay y Uruguay (Araújo et al., 2018). De acuerdo a Pedron et al. (2023) evaluaron las condiciones fisiológicas de la especie resultantes del operaciones transitorias de hidroeléctricas en donde se determinó que los peces que aparecían en la superficie de la hidroeléctrica tenían un cortisol de 13.2 ng mL⁻¹, con respecto a los peces del canal de descarga 39.9 ng mL⁻¹, no obstante se indica que más del 70% de muestra de peces de superficie estaban con hemorragia lo cual pudo haber sido un indicador de bajos niveles de cortisol concluyendo que en peces con lesiones y hemorragias no son adecuados para la toma de cortisol como un indicador de estrés.

Oreochromis niloticus

O. niloticus conocida como "Tilapia nilótica" es una especie introducida proveniente de África, la acuicultura de esta especie es de importancia en América del Sur por el sabor de su carne y tolerancia a condiciones adversas del organismo (Abd El-Hack et al., 2022). La evaluación de niveles de cortisol relacionadas a esta especie se realizó por Fonseca Merighe et al. (2004) quienes observaron el efecto del cultivo con diferentes colores e interacción social (efecto espejo), evidenciando que el cortisol no tiene ningún efecto sobre los colores a nivel de producción, sin embargo, en relación a la interacción social elevó los niveles de cortisol entre 10.60 y 10.18 ng mL⁻¹

en los colores marrón y azul respectivamente, para el control y el resto de niveles se encontraron en niveles similares < 6 ng mL⁻¹ produciendo comportamientos agonísticos entre los individuos. Además de Oliveira et al. (2010) determinaron que la adición de 200 mg Kg⁻¹ de extracto seco de maracuyá tiene los niveles de cortisol similares al control (3.8 - 4.2 ng mL⁻¹). Por otro lado, Simões et al. (2012) mostraron que la utilización del aceite de clavo como anestésico entre 150 - 250 mg L⁻¹ previo a la manipulación de los peces, determinó que su utilización es eficaz impidiendo que los niveles de cortisol se eleven. Se explica que el aceite de clavo disminuye las funciones neurosensoriales bloqueando la estimulación nerviosa de las células al estrés del transporte, no mostró diferencias con respecto a la toma antes del transporte con valores entre 90-120 ng mL⁻¹. Respecto a los estudios mostrados para esta especie se puede señalar que es resistente a diversas condiciones ambientales y que la utilización de los diversos aditivos para minimizar la respuesta al estrés no muestra diferencias con los valores controles, no obstante se resalta que los estresores de fotoperiodo y transporte son los factores que más elevan los niveles de cortisol para *O. niloticus*

Oreochromis mossambicus

En Ecuador Briones García (2021) realizó la evaluación del estrés por hipoxia de *Oreochromis mossambicus* a través de la medición de cortisol donde los valores entre el control (115.4-202.07 ng mL⁻¹) y el tratamiento (118.8-257.5 ng mL⁻¹) no mostraron diferencias al día 3, los resultados indicaron que el cortisol en los peces afecta las células sanguíneas, alterando los factores de inmunidad celular y humoral, lo que puede llevar al agotamiento del sistema inmunológico (Magnadóttir, 2006).

Morone saxatilis

M. saxatilis es una especie marina comercial de la familia Moronidae, distribuida principalmente en las costas del Atlántico y el Golfo de México; se cultiva en estanques y jaulas en la Bahía de Todos Santos, México (Cabanillas-Gámez et al., 2022). En este ámbito se determinó el efecto de la inclusión de triptófano dietético en los parámetros sanguíneos y plasmáticos de organismos expuestos a estrés por manejo (5min) y estrés por hipoxia (45 min), se pudo determinar que los valores de control estuvieron entre 13-35 ng mL⁻¹, la hipoxia eleva los valores de cortisol entre 250-300 ng mL⁻¹ mientras que el manejo está en 110 ng mL⁻¹, lo que concluye para esta especie que en condiciones de estrés se requiere la adición de dietas altas en triptófano.

Arapaima gigas

A. gigas es un pez del orden Osteoglossiformes habita en el Amazonas en varias regiones como Brasil, Perú, Colombia y Guyana, tiene importancia pesquera para las comunidades locales (Gálvez Escudero & Mendoza De La Vega, 2024). Los niveles de cortisol de la especie están entre 42-53 ng mL⁻¹; de acuerdo a Gomes (2007) los organismos se sometieron a estrés por hipoxia por 75 minutos, presentando un nivel de cortisol

Tabla 1. Niveles de cortisol, aditivos evaluados y efectos estresores de peces de Latinoamérica.

Especie	Niveles de cortisol plasmático (ng mL ⁻¹)		Aditivo evaluado	Efecto estresor	Autores	País
	Control	Tratamientos				
Brycon amazonicus	nd	93.6-120.8	Vitamina C	Hipoxia	De Abreu & Urbinati, 2006	Brasil
	80	120	n/a	Salinidad y Transporte	Urbinati & Carneiro, 2006	Brasil
	125	120-130	n/a	Persecución	Hoshiba et al., 2009	Brasil
	511.42	429.1-459.8	MS-222, Benzocaina	Choque térmico	Martínez Castillo et al., 2023.	Colombia
Brycon cephalus	90	60	Aceite de clavo	Transporte	Inoue et al., 2005	Brasil
Piaractus mesopotamicus	48	78-130	n/a	Captura e hipoxia	J. S. Abreu et al., 2009	Brasil
	32.7	73.3	Ractopamina	n/a	netting and air exposure Drumond et al., 2018	Brasil
	50	65	Bacillus thuringiensis (Dipel-WP®)	n/a	11.25, 22.50, 33.75, and 45.00 mg kg ⁻¹	Brasil
	0.4	0.1	β-glucanos	Aeromonas hydrophila	Lopes et al., 2022	Brasil
Piaractus brachyomus	20.56	20.76	n/a	Restricción de alimento	Rodríguez & Landines-Parra, 2018	Colombia
	45	25	Ácido ascórbico	Hipoxia	Corredor Castillo & Landines Parra, 2019	Colombia
Colossoma macropomum	50	180-250	Myrciaria dubia	Test de nado Ucrit	Aride et al., 2018	Brasil
	100	170	Hormona de crecimiento bovino (bGH)	n/a	Paz & Val, 2018	Brasil
Rhamdia quelen	nd	50-173.18	Densidades poblacionales	Transporte	Falanghe Carneiro et al., 2009	Brasil
	40	120	Brasil	Salinidad y Transporte	Urbinati & Carneiro, 2006	Brasil
	25	50	n/a	Persecución	Koakoski et al., 2013	Brasil
	147.1	83.3-88.4	Brasil	Choque térmico	Martínez Castillo et al., 2023.	Colombia
Pimelodus maculatus	nd	13.2-39.9	n/a	Hidroeléctrica	Pedron et al., 2023	Brasil
Oreochromis niloticus	< 6	10.6	n/a	Colores de cultivos, interacción social	Fonseca Merighe et al., 2004	Brasil
	3800	4200	Extracto seco de maracuyá	n/a	de Oliveira et al., 2010	Brasil
	1.59	1.97	Aceite de clavo	Manipulación	Simões et al., 2012	Brasil
	75	71.3-85	n/a	Fotoperiodo	Veras et al., 2013	Brasil
Oreochromis mossambicus	100	90-120	Lippia alba	Transporte	Hohlenwerger et al., 2017	Brasil
	115.4-202.07	118.8-257.5	n/a	Hipoxia	Briones García, 2021	Ecuador
Morone saxatilis	13-35	250-300 - 110 (manejo)	Triptófano dietético	Manipulación e Hipoxia	Cabanillas-Gómez et al., 2022	México
	43	42-53	Aceite esencial (Ocimum basilicum)	n/a	Chung et al., 2020	Brasil
Arapaima gigas	27.4	104.7	n/a	Hipoxia	Gomes, 2007	Brasil
Austrolebias reicherti	nd	25-10	n/a	Invierno y Verano	Passos et al., 2021	Uruguay
Salmo salar	nd	103-326	n/a	Transporte y manipulación	Gatica et al., 2010	Chile

base de 27.4 ng mL⁻¹, después del estrés los niveles se elevaron a 104.7 ng mL⁻¹ y 6 horas posteriores todos los niveles disminuyeron a los niveles basales, concluyendo que la exposición de 75 min no llega a ser un nivel de estrés crónico para inhabilitar funciones fisiológicas. Por otro lado la suplementación de aceite esencial de Albahaca *Ocimum basilicum* no afecta los niveles de cortisol en la sangre teniendo valores de 42-53 ng mL⁻¹ en condiciones de altas densidades de siembra 7.56 Kg m⁻³ (Chung et al., 2020).

Austrolebias reicherti

Esta especie es de ciclo anual perteneciente a la familia Rivulidae está presente en Uruguay. , Passos et al. (2021) determinaron los niveles de cortisol entre la estación de invierno 10 ng mL⁻¹ y verano 25 ng mL⁻¹ mostrando variaciones temporales siendo similares a las de especies en condiciones silvestres y de laboratorio; este estudio muestra cómo los altos niveles de cortisol promueven la reproducción: También se asoció cambios en los índices gonadosomáticos y hepatosomáticos de ambos sexos.

Salmo salar

Es un pez carnívoro de la familia Salmonidae importante en la Acuicultura a nivel global, después de la cosecha los organismos sufren un estrés por el proceso antes, durante y después del transporte. Gatica et al. (2010) evaluaron los niveles de cortisol en las diferentes fases antes de la muerte del organismo en los cuales los valores de cortisol fluctuaron entre 103.2 - 326 ng mL⁻¹ , siendo el valor más elevado registrado después del bombeo, hacia la planta procesadora, siendo la etapa más estresante de la cadena de transporte comercial.

Conclusión

Los principales efectos estresores que se identificaron son la hipoxia, persecución, transporte y manipulación; estos efectos elevan los niveles de cortisol, no obstante, la utilización de aditivos como aceite de clavo, β-glucanos y ácido ascórbico logran minimizar la elevación de esta hormona.

La utilización de anestésicos químicos, como el MS-222 minimizan la respuesta al estrés, pero también comprometen aspectos reproductivos, lo que va a depender de la sensibilidad de la especie en respuesta a su utilización.

Finalmente se puede asumir que el uso de aceites esenciales, puede ser una alternativa que no causa efectos sobre otras funciones fisiológicas de los peces.

Referencias Bibliográficas

Abd El-Hack, M. E., El-Saadony, M. T., Nader, M. M., Salem, H. M., El-Tahan, A. M., Soliman, S. M., & Khafaga, A. F. (2022). Effect of environmental factors on growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *International Journal of Biometeorology*, 66(11), 2183-2194. <https://doi.org/10.1007/s00484-022-02347-6>

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(2), 415-421. <https://doi.org/10.1590/s1519-69842009000200026>

Araújo, F. G., Morado, C. N., Parente, T. T. E., Paumgarten, F. J. R., & Gomes, I. D. (2018). Biomarkers and bioindicators of the environmental condition using a fish species (*Pimelodus maculatus* Lacepède, 1803) in a tropical reservoir in Southeastern Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 78(2), 351-359. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.167209>

Aride, P. H. ., Oliveira, A. M., Batista, R. B., Ferreira, M. ., Pantoja-Lima, D. ., Ladislau, D. S., Castro, P. D. ., & Oliveira, A. T. (2018). Cambios en los parámetros fisiológicos del tambaqui (*Colossoma macropomum*) alimentado con dietas suplementadas con camu camu de frutas amazónicas (*Myrciaria dubia*). *Brazilian Journal of Biology*, 78(2), 360-367. <https://www.scielo.br/j/bjb/a/BBBVtSpBPm59CPL4LdM6K/?format=pdf&lang=en>

Briónes García, J. I. (2021). Evaluación del efecto del cortisol provocado por hipoxia sobre algunos parámetros inmunológicos de tilapias de comercialización de la ciudad de Sucúa - Ecuador. *ConcienciaDigital*, 4(1.2), 446-456. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v4i1.2.1611>

Cabanillas-Gómez, M., López, L. M., Bardullas, U., Espinoza-Villegas, R. E., True, C. D., & Galaviz, M. A. (2022). Effect of dietary tryptophan on blood and plasma parameters of striped bass *Morone saxatilis*, exposed to acute stressors. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 50(4), 529-540. <https://doi.org/10.3856/vol50-issue4-fulltext-2929>

Chung, S., Lemos, C. H. D. P., Teixeira, D. V., Fortes-Silva, R., & Copatti, C. E. (2020). Essential oil from *Ocimum basilicum* improves growth performance and does not alter biochemical variables related to stress in pirarucu (*Arapaima gigas*). *Anais Da Academia Brasileira de Ciencias*, 92, 1-11. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202020181374>

Corredor Castillo, A. S., & Landines Parra, M. Á. (2019). Respuestas fisiológicas de *Piaractus brachipomus* suplementado con ácido ascórbico y sometido a estrés por hipoxia. *Revista de Medicina Veterinaria*, 1(38), 1-9. <https://doi.org/10.19052/mv.vol1.iss38.3>

Corso, M. N., Marques, L. S., Gracia, L. F. G., Rodrigues, R. B., Barcellos, L. J. G., & Streit, D. P. (2019). Effects of different doses of eugenol on plasma cortisol levels and the quality of fresh and frozen-thawed sperm in South American catfish (*Rhamdia quelen*). *Theriogenology*, 125, 135-139. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2018.10.033>

Davis, K. B. & B. C. Small. 2006. Rates of cortisol increase and decrease in channel catfish and sunshine bass exposed to an acute confinement stressor. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C*, 143: 134-139.

De Abreu, Janessa Sampaio, & Urbinati, E. C. (2006). Physiological responses of matrinxã (*Brycon amazonicus*) fed different levels of vitamin C and submitted to air exposure. *Acta Amazonica*, 36(4), 519-524. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672006000400013>

de Oliveira, R. H. F., Pereira-da-Silva, E. M., Bueno, R. S., & Barone, A. A. C. (2010). The passion fruit on hepatocytes morphometry of Nile tilapia [O extrato de maracujá sobre a morfometria de hepatócitos da tilápia do Nilo]. *Ciencia Rural*, 40(12), 2562-2567. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-78951490169&doi=10.1590%2F0103-84782010001200020&partnerID=40&md5=a06aa031da347a605ebc06a12e4000a0>

dos Santos Teixeira, N., Santos Marques, L., Batista Rodrigues, R., Gusso, D., Thais Pinheiro, G., Flores Machado, T. L., & Streit Jr, D. P. (2021). Effects of anesthetic MS-222 on stress and reproduction of South American silver catfish (*Rhamdia quelen*) males. *Animal Reproduction Science*, 225(December 2020), 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2020.106669>

- Drumond, M. M., Naves, L. de P., Ribeiro, P. A. P., de Oliveira, M. M., Okamura, D., Resende, A. E., Cantarelli, V. de S., & Rosa, P. V. (2018). Metabolic and histologic responses of pacu (*Piaractus mesopotamicus*) fed diets supplemented with increasing concentrations of ractopamine. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 47. <https://doi.org/10.1590/rbz4720160234>
- Falanghe Carneiro, P. C., da Silva Kaiseler, P. H., Correia Swarofsky, E. de A., & Baldisserotto, B. (2009). Transport of jundiá *Rhamdia quelen* juveniles at different loading densities: Water quality and blood parameters. *Neotropical Ichthyology*, 7(2), 283-288. <https://doi.org/10.1590/s1679-62252009000200021>
- Fonseca Merighe, G. K., Pereira-da-Silva, E. M., Negrão, J. A., & Ribeiro, S. (2004). Efeito da cor do ambiente sobre o estresse social em tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Revista Brasileira de Zootecnia*, 33(4), 828-837. <https://doi.org/10.1590/s1516-35982004000400002>
- Fryer, J. N., & Lederis, K. (1986). Control of corticotropin secretion in teleost fishes. *American Zoologist*, 1017-1026.
- Gálvez Escudero, M. A., & Mendoza De La Vega, A. J. (2024). Reproductive aspects of the Amazon giant paiche (*Arapaima gigas*): a review. *Fisheries and Aquatic Sciences*, 27(2), 57-65. <https://doi.org/10.47853/FAS.2024.e7>
- Gatica, M. C., Monti, G. E., Knowles, T. G., Warriss, P. D., & Gallo, C. B. (2010). Effects of commercial live transportation and preslaughter handling of Atlantic salmon on blood constituents. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 42(1), 73-78. <https://doi.org/10.4067/S0301-732X2010000100010>
- Goikoetxea, A., Todd, E. V., & Gemmell, N. J. (2017). Stress and sex: does cortisol mediate sex change in fish?. *Reproduction*, 154(6), R149-R160.
- Gomes, L. D. C. (2007). Physiological responses of pirarucu (*Arapaima gigas*) to acute handling stress. *Acta Amazonica*, 37(4), 629-634. <https://doi.org/10.1590/s0044-59672007000400019>
- Hohlenwerger, J. C., Baldisserotto, B., Couto, R. D., Heinzmann, B. M., da Silva, D. T., Caron, B. O., Schmidt, D., & Copatti, C. E. (2017). Óleo essencial de *Lippia alba* no transporte de tilápia-do-Nilo. *Ciencia Rural*, 47(3), 47-50. <https://doi.org/10.1590/0103-8478r201600040>
- Hoshiba, M. A., Gonçalves, F. D., & Urbinati, E. C. (2009). Physiological stress responses of matrinxã (*Brycon amazonicus*) after chasing. *Acta Amazonica*, 39(2), 445-452. <https://doi.org/10.1590/s0044-59672009000200025>
- Inoue, L. A. K. A., Afonso, L. O. B., Iwama, G. K., & Moraes, G. (2005). Effects of clove oil on the stress response of matrinxã (*Brycon cephalus*) subjected to transport. *Acta Amazonica*, 35(2), 289-295. <https://doi.org/10.1590/s0044-59672005000200018>
- Izel-Silva, J., Dos Santos, R. B., de Medeiros, P. A., Suita, S. M., Wasielesky, W., Fugimura, M. M. S., & Afonso, E. G. (2024). *Brycon amazonicus* larviculture cannibalism is reduced in biofloc systems. *Aquaculture*, 579(September 2023). <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.740180>
- Kelm Battisti, E., Rabaioli, A., Uczay, J., Sutili, F. J., & Lazzari, R. (2020). Effect of stocking density on growth, hematological and biochemical parameters and antioxidant status of silver catfish (*Rhamdia quelen*) cultured in a biofloc system. *Aquaculture*, 524(March), 735213. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735213>
- Koakoski, G., Kreutz, L. C., Fagundes, M., Oliveira, T. A., Ferreira, D., da Rosa, J. G. S., & Barcellos, L. J. G. (2013). Repeated stressors do not provoke habituation or accumulation of the stress response in the catfish *Rhamdia quelen*. *Neotropical Ichthyology*, 11(2), 453-457. <https://doi.org/10.1590/S1679-62252013005000010>
- Lopes, L. M. F., de Mello, M. M. M., & Urbinati, E. C. (2022). B-Glucan reduces cortisol plasma levels, enhances innate immune system after *A. hydrophila* inoculation, and has lipolytic effects on the pacu (*Piaractus mesopotamicus*). *Aquaculture*, 546(August 2021). <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737411>
- Magnadóttir, B. (2006). Innate immunity of fish (overview). *Fish & shellfish immunology*, 20 (3), 2, 137-151.
- Mariano, W. S., Azevedo, S. B., Gomes, F. L., Lima, L. B. D., Moron, S. E., & Tavares-Dias, M. (2019). Physiological parameters of *Piaractus mesopotamicus* (Osteichthyes: Characidae) exposed to a biopesticide based on *Bacillus Thuringiensis*. *Anais Da Academia Brasileira de Ciências*, 91(2), 1-9. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201920180474>
- Martínez Castillo, S. L., León Romero, G. G., Agudelo Castro, D., Lugo, E. A., & Riveros, N. (2023). Cuantificación de glucosa y cortisol como indicador de estrés en el pez *Brycon amazonicus* (YAMÚ) mediante la utilización de choque térmico y anestesia. *Bistua Revista De La Facultad De Ciencias Básicas*, 21(2), 9-12. <https://doi.org/10.24054/bistua.v21i2.2067>
- Medran Rangel, E., Fernandes e Silva, E., Kaster Garcez, D., Laste Macagnan, K., Medran Rangel, A., Vargas Ribeiro, L., Fernandes e Silva, P., & Figueiredo Cardoso, T. (2022). Análise da interação do contaminante metilmercúrio com hemoglobina do peixe matrinxã *Brycon cephalus* (Günther, 1869). *Journal of Education Science and Health*, 2(2), 1-6. <https://doi.org/10.52832/jesh.v2i2.132>
- Mommsen, T.P.; Vijayan, M.M., & Moon, T.W. Cortisol in teleosts: dynamics, mechanisms of action, and metabolic regulation. *Rev. Fish Biol. Fish.* 1999, 9, 211-268.
- Opinion, A. G. R., Vanhomwegen, M., De Boeck, G., & Aerts, J. (2023). Long-term stress induced cortisol downregulation, growth reduction and cardiac remodeling in Atlantic salmon. *The Journal of experimental biology*, 226(22), jeb246504. <https://doi.org/10.1242/jeb.246504>
- Passos, C., Reyes, F., Jalabert, C., Quintana, L., Tassinio, B., & Silva, A. (2021). Stress promotes reproduction in the annual fish *Austrolebias reicherti*. *Animal Behaviour*, 174, 105-114. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2021.02.003>
- Paz, A. de L., & Val, A. L. (2018). Manipulation of growth of the amazonian fish tambaqui, *Colossoma macropomum* (Characiformes: Serrasalimidae): Analysis of physiological and zootechnical aspects. *Acta Amazonica*, 48(3), 197-206. <https://doi.org/10.1590/1809-4392201800181>
- Pedron, J. dos S., Bernardes Junior, J. J., Ribolli, J., Souza, J., Pereira, A. G., Tolentino, H., Barros, R., Milarch, C. de F., Dias, R. J. G., Guereschi, R. M., Latini, A., & Nuñez, A. P. de O. (2023). Fish injuries resulting from transient operating conditions in a Brazilian hydropower plant: morphological, physiological and biochemical evaluation in *Pimelodus maculatus* (Siluriformes: Pimelodidae). *Neotropical Ichthyology*, 21(3), 1-17. <https://doi.org/10.1590/1982-0224-2022-0104>
- Perán, C. (2020). Estrés en acuicultura: Una visión actualizada para mejorar el bienestar animal en especies de interés comercial. Trabajo de fin de grado en Ciencias del Mar. Universidad de Cádiz. Extraído de: https://rocin.uca.es/xmlui/bitstream/handle/10498/24180/TFG%20Cristina%20P%20er%20C3%A1n%20Aarcos_removed.pdf.
- Perez Ribeiro, A. P., Santos Costa, L., Eloy, Á. A., Vieira e Rosa, P., & Solis Murgas, D. L. (2010). Aceite De Clavo Como Anestésico Para El Pez Pacu. *Anales de Veterinaria de Murcia*, 26, 69-76. <https://revistas.um.es/analesvet/article/view/125061>
- Puello-Caballero, L., Montoya-Campuzano, O., Castañeda-Monsalve, V., & Moreno-Murillo, L. (2018). Characterization of the microbiota present in the intestine of *Piaractus brachypomus* (Cachama blanca). *Revista de Salud Animal*, 40(2), 2224-4700.
- Rodríguez, L., & Landines-Parra, M. A. (2018). Desempeño productivo y fisiológico de juveniles de *Piaractus brachypomus* sometidos a restricción de alimento. *Orinoquia*, 22(1), 57-67. <https://doi.org/10.22579/20112629.480>

- Samaras A & Pavlidis M (2022) Fish scales produce cortisol upon stimulation with ACTH. *Animals* 12: 3510. [10.3390/ani12243510](https://doi.org/10.3390/ani12243510).ingredients in fish feed. *Heliyon*, 8(9).
- Silva Hilsdorf, A. W., Hallerman, E., Ramos Valladao, G. M., Zaminhan-Hassemer, M., Hashimoto, D. T., Dairiki, J. K., Susumu Takahashi, L., Corrêa Albergaria, F., de Sousa Gomes, M. E., Leite Venturieri, R. L., Moreira Guimarães, R., & Possebon Cyrino, J. E. (2021). The farming and husbandry of *Colossoma macropomum*: From Amazonian waters to sustainable production. *Reviews in Aquaculture*, 14(2), 993-1027. <https://doi.org/10.1111/raq.12638>
- Silva, L. de L., Garlet, Q. I., Koakoski, G., de Abreu, M. S., Mallmann, C. A., Baldisserotto, B., Barcellos, L. J. G., & Heinzmann, B. M. (2015). Anesthetic activity of the essential oil of *Ocimum americanum* in *Rhamdia quelen* (Quoy & Gaimard, 1824) and its effects on stress parameters. *Neotropical Ichthyology*, 13(4), 715-722. <https://doi.org/10.1590/1982-0224-20150012>
- Simões, L. N., Gomide, A. T. M., Almeida-Val, V. M. F., Val, A. L., & Gomes, L. C. (2012). O uso do óleo de cravo como anestésico em juvenis avançados de tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus*). *Acta Scientiarum - Animal Sciences*, 34(2), 175-181. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v34i2.13022>
- Urbinati, E. C., & Carneiro, P. C. F. (2006). Sodium chloride added to transport water and physiological responses of *Matrinxã Brycon amazonicus* (Teleost: Characidae). *Acta Amazonica*, 36(4), 569-572. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672006000400020>
- Veras, G. C., Murgas, L. D. S., Zangeronimo, M. G., Rosa, P. V., Leon, J. A. S., & Salaro, A. L. (2013). Fotoperíodo sobre parâmetros fisiológicos relacionados ao estresse em alevinos de tilápia-do-nilo. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 65(5), 1434-1440. <https://doi.org/10.1590/S0102-09352013000500023>
- Wendelaar Bonga, S.E. The stress response in fish. *Physiol. Rev.* 1997, 77, 591-625.