

2022-08-08

## Descripción de los niveles de testosterona, estradiol y cortisol en *Pseudoplatystoma metaense* x *Leiarius marmoratus*

Yeferson A. Moreno-Guerra

*Universidad de la Amazonia*, yeferson.moreno@unillanos.edu.co

José Ariel Rodríguez-Pulido

*Universidad de los Llanos*, jarodriguez@unillanos.edu.co

Mónica T. Nieto-Vera

*Universidad de los Llanos*, nietomnica@gmail.com

Tatiana Mira-López

*Universidad de los Llanos*, tmira@unillanos.edu.co

Pablo Cruz-Casallas

*Universidad de los Llanos*, pecruzasallas@unillanos.edu.co

Follow this and additional works at: <https://ciencia.lasalle.edu.co/mv>

---

### Citación recomendada






Moreno-Guerra YA, Rodríguez-Pulido JA, Nieto-Vera MT, Mira-López T y Cruz-Casallas P. Descripción de los niveles de testosterona, estradiol y cortisol en *Pseudoplatystoma metaense* x *Leiarius marmoratus*. *Rev Med Vet.* 2022;(45):. doi: <https://doi.org/10.19052/mv.vol1.iss45.5>

This Artículo de investigación is brought to you for free and open access by the Revistas científicas at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Revista de Medicina Veterinaria by an authorized editor of Ciencia Unisalle. For more information, please contact [ciencia@lasalle.edu.co](mailto:ciencia@lasalle.edu.co).

# Descripción de los niveles de testosterona, estradiol y cortisol en *Pseudoplatystoma metaense* x *Leiarius marmoratus*\*

Yeferson A. Moreno-Guerra<sup>1</sup> / José Ariel Rodríguez-Pulido<sup>2</sup> / Mónica T. Nieto-Vera<sup>3</sup> / Tatiana Mira-López<sup>4</sup> / Pablo Cruz-Casallas<sup>5</sup>

\* Artículo de investigación.

- 1 M.Sc. Universidad de la Amazonia. Grupo de Investigación Calidad y Preservación de Ecosistemas Acuáticos. Caprea, Florencia, Caquetá, Colombia. ✉ yeferson.moreno@unillanos.edu.co  <https://orcid.org/0000-0002-3013-9965>
- 2 Ph.D Universidad de los Llanos, Instituto de Acuicultura. Grupo de Investigación sobre Reproducción y Toxicología de Organismos Acuáticos (Gritox), Villavicencio, Meta, Colombia. ✉ jarodriguez@unillanos.edu.co  <http://orcid.org/0000-0003-0195-0891>
- 3 Biol. Universidad de los Llanos, Instituto de Acuicultura. Grupo de Investigación sobre Reproducción y Toxicología de Organismos Acuáticos (Gritox), Villavicencio, Meta, Colombia. ✉ nietomnica@gmail.com  <http://orcid.org/0000-0001-7241-6089>
- 4 Ph.D. Instituto de Acuicultura de la Universidad de los Llanos - IALL. Grupo de Investigación sobre Reproducción y Toxicología de Organismos Acuáticos (Gritox), Villavicencio, Meta, Colombia. ✉ tmira@unillanos.edu.co  <http://orcid.org/0000-0002-2278-7997>
- 5 Ph.D. Instituto de Acuicultura de la Universidad de los Llanos - IALL. Grupo de Investigación sobre Reproducción y Toxicología de Organismos Acuáticos (Gritox), Villavicencio, Meta, Colombia. ✉ pecruzasallas@unillanos.edu.co  <https://orcid.org/0000-0003-4641-1692>

## Resumen

Los esteroides desempeñan un papel importante en la coordinación de las actividades del eje hipotálamo-hipófisis-gónada, y su actividad en el control de múltiples procesos, incluidos el apareamiento y la reproducción, es fundamental. El presente estudio consistió en describir los niveles séricos de testosterona (T), estradiol (E2) y cortisol en ejemplares mayores de dos años de *Pseudoplatystoma metaense* x *Leiarius marmoratus* en condiciones de cautiverio. Se realizaron ocho muestreos durante los meses de enero a octubre. Fueron empleados nueve individuos híbridos entre machos y hembras (4:5, respectivamente), siendo seleccionados aleatoriamente  $7 \pm 2$  individuos por cada muestreo. Las muestras de sangre obtenidas fueron procesadas y analizadas cada 40 - 45 días durante el periodo experimental. Los niveles de T en machos (0,65 ng/ml) y E2 en hembras (0,88 ng/ml) presentaron los picos más altos durante los meses de mayor pluviosidad en la región (junio - julio) que desencadenaron el inicio de la temporada reproductiva. Por un lado, los niveles de E2 en hembras posiblemente se encuentran asociados con la maduración ovárica y actividad de la aromataza, en tanto que los machos mostraron descensos de 0,1 ng/ml durante junio - julio; y un incremento máximo de 0,7 ng/ml para el mes de octubre. Por otro lado, los niveles de cortisol se incrementaron hacia la temporada de reproducción siendo mayores en hembras (18,8 - 25,4 ng/ml). Lo anterior puede indicar que, a pesar de altas concentraciones de cortisol, no se inhibió la producción de esteroides.

**Palabras clave:** perfil hormonal, testosterona, estradiol, CLIA, híbridos de peces.

## Description of the Levels of Testosterone, Estradiol and Cortisol in *Pseudoplatystoma metaense* x *Leiarius marmoratus*

### Abstract

Steroids play an essential role in coordinating the activities of the hypothalamic-pituitary-gonad axis and their activity in controlling multiple processes, including mating and reproduction. The current study described the serum levels of testosterone (T), estradiol (E2), and cortisol in specimens older than two years of *Pseudoplatystoma metaense* x *Leiarius marmoratus* in captive conditions. Eight samplings were carried out from January to October. Nine hybrid individuals were used between males and females (4: 5, respectively), with  $7 \pm 2$  individuals being randomly selected for each sampling. The blood samples were processed and analyzed every 40-45 days during the experimental

**Cómo citar este artículo:** Moreno-Guerra YA, Rodríguez-Pulido JA, Nieto-Vera MT, Mira-López T, Cruz-Casallas P. Descripción de los niveles de testosterona, estradiol y cortisol en *Pseudoplatystoma metaense* x *Leiarius marmoratus*. Rev Med Vet. 2022;(45): e1442. Disponible en: <https://doi.org/10.19052/mv.vol1.iss45.5>

period. The levels of T in males (0.65 ng/ml) and E2 in females (0.88 ng/ml) presented the highest peaks during the months of the most significant rainfall in the region (June - July) that triggered the beginning of the reproductive season. On the one hand, E2 levels in females are possibly associated with ovarian maturation and aromatase activity, while males showed decreases of 0.1 ng/ml from June to July; and a maximum increase of 0.7 ng/ml for October. On the other hand, cortisol levels increased towards the breeding season, being higher in females (18.8 - 25.4 ng/ml). This may indicate that despite high cortisol concentrations, steroid production was not inhibited.

**Keywords:** hormonal profile, testosterone, estradiol, CLIA, fish hybrids.

## INTRODUCCIÓN

El bagre rayado (*Pseudoplatystoma metaense*) presenta un atractivo comercial por su carne y ornamentación. No obstante, existe una alta dificultad para la producción en cautiverio por su fuerte tendencia piscívora, lo cual, hace que presente canibalismo durante las etapas de larvicultura y alevinaje (1). Además, implica mayores gastos en proteína animal durante el levante y engorde. En comparación, el yaque (*Leiarius marmoratus*), aparte de tener gran valor gastronómico, es una especie con potencial en la producción acuícola, por presentar tendencia omnívora, mayores tasas de fecundación, eclosión y sobrevivencia (2).

Algunos de estos problemas pueden ser solucionados realizando el cruce de ambas especies. El híbrido ha reportado una tasa de fecundación del 30 % a partir del cruce de hembras de *P. metaense* x machos de *L. marmoratus* (3), y se ha observado que dichos individuos tienden a presentar hábitos alimenticios heredables del parental paterno (datos propios) pero con características morfológicas y craneales similares al materno (4). Empero, se desconocen las similitudes del híbrido respecto a los parentales en el retrocruce.

Dicho lo anterior, podemos decir que el híbrido intergenérico *P. metaense* x *L. marmoratus* presenta interés comercial y mayor rendimiento zootécnico que sus parentales (4). En efecto, aquello acaba favoreciéndolo como posible candidato en la diversificación acuícola de la región de la Orinoquia colombiana, pese a los posibles

riesgos que eso implicaría dentro de los sistemas naturales, como la pérdida de diversidad genética.

Aunque ambas especies se reproducen una vez al año durante el periodo de lluvias en la región Orinoquia, presentan periodos reproductivos distintos. A saber, *L. marmoratus* a finales del mes de marzo y principios de abril, y *P. metaense*, entre mayo y junio. Por tanto, es posible deducir que, aunque estas especies pertenecan a la familia taxonómica Pimelodidae (5), presenten el mismo número cromosómico (56) (6, 7) y compartan el mismo hábitat, su entrecruzamiento natural puede verse limitado por el corto rango de estacionalidad reproductiva de *L. marmoratus* (menor a veinte días), así como las diferencias morfológicas (4) y etológicas entre las especies. Sin embargo, aún se requiere maximizar esfuerzos en biología reproductiva del híbrido (*P. metaense* x *L. marmoratus*) y sus especies puras, pues estas han sido estudiadas hasta el momento desde su morfología, citogenética y métodos de crioconservación de gametos para el desarrollo de la acuicultura. Por tanto, aún se desconocen estudios morfológicos, anatómicos y hormonales del desarrollo gonadal y el ciclo reproductivo de las especies parentales, para poder establecer posibles diferencias en los híbridos como productos de cruces recíprocos.

La reproducción en peces está coordinada por las actividades fisiológicas del eje hipotálamo-hipófisis-gónada, donde la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH) promueve la síntesis y secreción de la hormona folículo estimulante (Fsh) y luteinizante (Lh), siendo

influenciada por diferentes factores como la temperatura, el fotoperiodo, la pluviosidad y las interacciones sociales (8, 9). En efecto, acaba promoviendo el proceso de gametogénesis, como respuesta a niveles esteroidales controlados por gonadotropinas hipofisarias, y muchas veces inhibidas por concentraciones de cortisol que se generan por el estrés del cautiverio (9).

En hembras, la Lh y Fsh estimula la producción de andrógenos, especialmente T a partir del colesterol en las células de la teca, pero, mediante la acción de la aromatasa en la granulosa, es transformado en estrógeno (9). Niveles altos de Fsh estimulan la liberación de  $17\beta$ -estradiol (E2), el cual desencadena la síntesis de vitelogenina (Vtg) en los hepatocitos a través de la interacción con el receptor intracelular tipo alfa ( $ER_{\alpha}$ ), bajos y altos niveles de E2, y estrógenos que, respectivamente, pueden causar efectos en la concentración de Vtg y mala calidad del huevo (10, 11).

Finalizando el periodo de maduración del oocito, los niveles de E2 disminuyen por una baja actividad de la aromatasa en las células de la granulosa, la cual desencadena un aumento en los niveles de T para la síntesis de *esteroides inductores de la maduración* (MIS por sus siglas en inglés), principalmente  $17\alpha$ , y  $20\beta$  dihidroxiprogesterona ( $17\alpha$   $20\beta$ -DHP) (9). Aquello concluye con la migración del núcleo hacia la periferia y la posterior ovulación, mediante la acción de las prostaglandinas (12). No obstante, se ha demostrado que las hembras en cautiverio pueden presentar disfunción reproductiva debido a los altos niveles de cortisol (13).

Por otro lado, en machos, las Fsh y Lh estimulan las células de Leydig para producir 11 keto-testosterona (11-KT) y  $17\alpha$   $20\beta$ -DHP, respectivamente (9). En tanto, la 11 KT se encuentra relacionada con el proceso de la espermatogénesis y  $17\alpha$   $20\beta$ -DHP durante la espermiogénesis, momentos que consisten en el proceso de formación del espermatozoide desde la espermatogonia – espermátida y diferenciación de la célula espermática, respectivamente (14). Sin embargo, la espermiación y la adopción de características sexuales secundarias como

la coloración, agresividad, cortejo, etc., parecen estar correlacionadas con altos niveles de 11-KT, asociados al comienzo de la actividad reproductiva (13).

Por todo lo anterior, en este trabajo se describen las concentraciones séricas de testosterona y estradiol, considerando condiciones de cautiverio que pueden alterar los niveles de cortisol, con miras a conocer y entender la capacidad reproductiva de los híbridos (*P. metaense* x *L. marmoratus*) como una expresión de su fisiología durante el periodo de verano – invierno.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Aspectos éticos.** El estudio fue posterior a la aprobación del proyecto por el Centro de Investigación de la Universidad de los Llanos (Villavicencio, Colombia) con código FO-VIAC-4811112014. Los animales fueron tratados bajo los lineamientos éticos de bienestar animal, dando cumplimiento a lo consagrado en el artículo 1 de la Ley 84 de 1989.

**Localización.** El muestreo se realizó en la granja Primavera Acuicultura, ubicada en el municipio de Guamal – Meta (Colombia). Los registros obtenidos de los parámetros físicos y químicos del agua en estanque de tierra fueron de  $26,2 \pm 0,5$  °C, oxígeno disuelto  $6,9 \pm 0,1$  mg/L, determinados diariamente usando un oxímetro (YSI Professional Plus, Ohio, EE. UU.), pH  $6,9 \pm 0,6$ , amoníaco total 0,15 mg/L, nitrato 0,01 mg/L, alcalinidad 40–50 mg  $CaCO_3$ /L y dureza 35 mg  $CaCO_3$ /L, determinados semanalmente con un fotómetro (Eco-Check, Aquatic-Eco, Rock Hill, EE. UU.).

Por otro lado, se empleó un tanque de laboratorio con 4000 L de agua proveniente del estanque de tierra donde se encontraban los animales objeto de estudio. Se mantuvo aireación permanente, recambio de  $0,002\text{ m}^3$  / minuto y fotoperiodo de 12 h: 12 h (Luz: oscuridad). Fueron reportados datos de temperatura ( $26,5 \pm 1,0$  °C), pH ( $6,5 \pm 0,5$ ) y oxígeno disuelto ( $7,5 \pm 0,5$  mg/L) principalmente.

**Material biológico.** Fueron utilizados nueve individuos adultos híbridos de dos años, mantenidos en un mismo estanque de tierra de 600 m<sup>2</sup> con una profundidad de 1,5 m. Se emplearon cinco hembras y cuatro machos (diferenciación de la papila genito-urinaria) conforme al permiso de la entidad privada. Los peces fueron capturados del estanque y mantenidos en un tanque de laboratorio en condiciones controladas durante 24 horas (minimizando el efecto postcaptura). Luego, fueron anestesiados con aceite de clavo (0,1 ml/L). Rápidamente, se tomó una muestra de sangre (3 ml) de cada individuo, mediante punción de la vena caudal, usando jeringas heparinizadas (durante cada periodo de muestreo se obtuvieron muestras de sangre en el mismo rango de horario entre 10:00 y 11:00 am). El plasma se separó por centrifugación (Centrifuga 5424/5424 R, Hamburg, Germany) de la muestra a 2500 rpm durante 8 minutos a una temperatura de 4 °C. El plasma se repartió en 3 alícuotas de 400 µl transferidos a tubos Eppendorf de 1,5 ml y se almacenaron a -80 °C hasta el momento de su análisis. De igual forma, se determinó el peso corporal (PC) y la longitud total (LT), con la ayuda de una balanza electrónica y una cinta métrica. Las muestras de plasma sanguíneo fueron colectadas cada 40 a 45 días durante diez meses, a partir de enero del año 2018.

### Cuantificación hormonal

Las muestras de plasma sanguíneo fueron enviadas al Laboratorio de Fisiología de Peces de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional de Colombia (sede Bogotá), cuyos responsables determinaron la concentración de T, E2 y cortisol por medio de la técnica de análisis de quimioluminiscencia de micro-placa (CLIA), y la cuantificación de estas en el equipo LumiStat 4100 Plus de Awareness Technology, Inc. ®. Fueron utilizados los kits comerciales Acculite CLIA microwells (Monobind Inc. ®), Testosterone Kit System 3775-300, estradiol Kit System 4975-300 y cortisol Kit System 3675-300, teniendo presentes las recomendaciones de la casa comercial y el protocolo estandarizado del laboratorio prestador del servicio. De

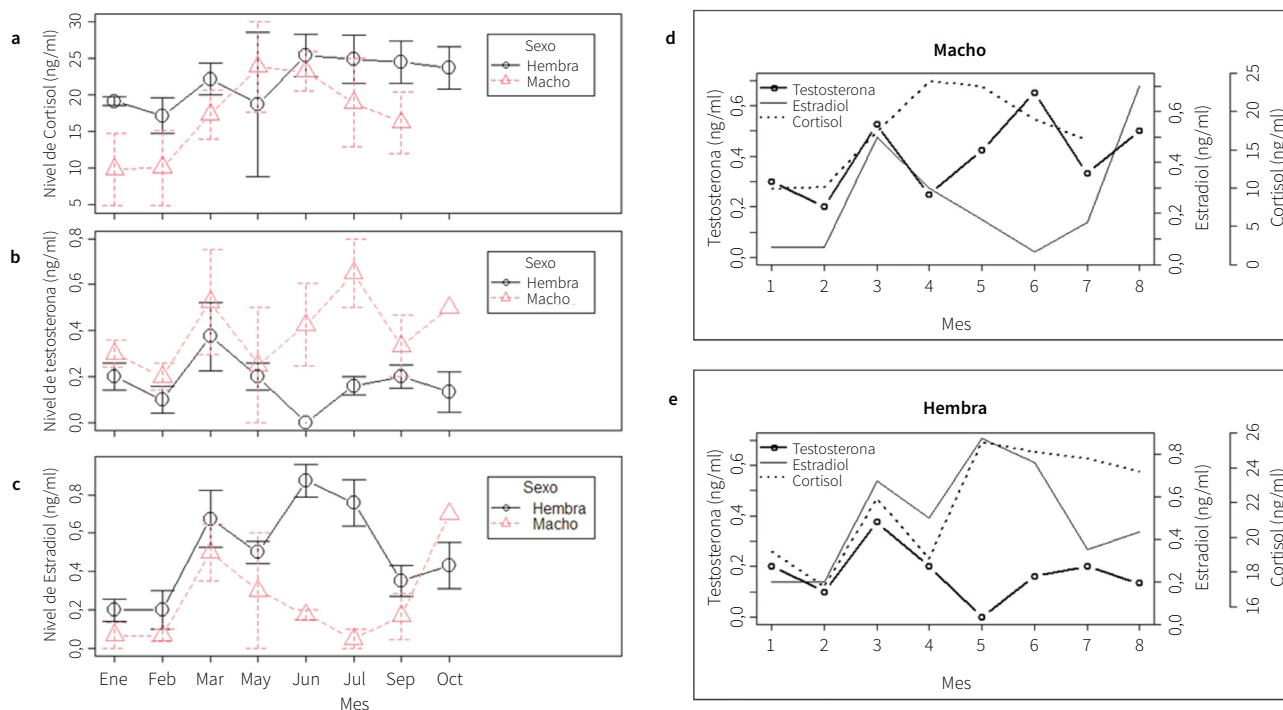
acuerdo con la casa comercial, la reactividad cruzada entre T y E2 es < 0,0001, y para con cortisol es < 0,0001 y 0,0004, respectivamente. Cabe señalar que el kit cortisol no presentó información a reactividad cruzada para T y E2.

**Análisis estadístico.** Se realizó un análisis descriptivo de los niveles de T, E2 y cortisol en machos y hembras de *P. metaense* x *L. marmoratus* estudiados durante diez meses (enero a octubre). Los datos fueron procesados y analizados empleando la plataforma de código abierto R (15). Se realizó prueba de normalidad para cada una de las variables respuesta / sexo, mediante la prueba *Shapiro* (IC = 95 %), los cuales fueron no paramétricos ( $p < 0,05$ ). Para el análisis descriptivo de todas las variables de respuesta por sexo, los datos fueron normalizados (escalados) para identificar posibles cambios o influencias entre hormonas durante el tiempo. Por otro lado, se determinó el coeficiente de correlación de Spearman y diferencias significativas mediante la prueba correspondiente (IC = 95 %) entre y dentro de grupos para verificar posibles asociaciones.

### RESULTADOS

Se encontró que los ejemplares de dos años en cautiverio presentaron niveles de hormonas variantes, siendo el cortisol el de mayor concentración durante todo el muestreo para ambos sexos. Asimismo, la concentración de cortisol fue mayor en hembras en todos los periodos de muestreo, a excepción de mayo (18,8 ng/ml) comparada con machos para ese mismo mes (23,9 ng/ml). El mes de junio presentó el mayor pico de concentración en hembras (25,4 ng/ml) y con descenso hasta el mes de octubre (23,8 ng/ml) denotando mayor efecto del estrés a partir de la temporada reproductiva (figura 1a). Con relación a los machos, se observaron concentraciones altas para los meses de mayo y junio (23,9 y 23,3 ng/ml, respectivamente). Hacia el final del muestreo, no fue posible detectar las concentraciones de cortisol en el plasma de machos.

Figura 1. Variación de los niveles plasmáticos en testosterona, estradiol y cortisol (ng / ml) de machos y hembras *P. metaense* x *L. marmoratus* en condiciones de cautiverio



Estadística descriptiva M ± SE (a-c). Promedio de los niveles hormonales durante cada mes de muestreo, donde 1 = enero, 2 = febrero, 3 = marzo, 4 = mayo, 5 = junio, 6 = julio, 7 = septiembre, 8 = octubre (d-e)  
Fuente: elaboración propia

Las concentraciones plasmáticas de T en los machos fueron superiores a las de las hembras, y mostraron incrementos significativos en los meses de marzo y julio, siendo este último el de mayor concentración (0,65 ng/ml), para luego descender (0,33 ng/ml), pasando la temporada de reproducción a principios del mes de septiembre (figura 1b). El hecho de encontrar los mayores niveles durante los meses de marzo a julio, podría relacionarse con la maduración testicular.

Por otro lado, las hembras presentaron el máximo registro de testosterona (0,37 ng/ml) en marzo, y luego las concentraciones se hicieron indetectables en el mes de junio (figura 1b), pero para ese último mismo mes se obtuvo el registro más alto de E2, siendo este de 0,88 ng/ml (figura 1c). Aquellos resultados estaban posiblemente

asociados a la actividad de la aromatas, maduración ovárica y su disponibilidad a la reproducción.

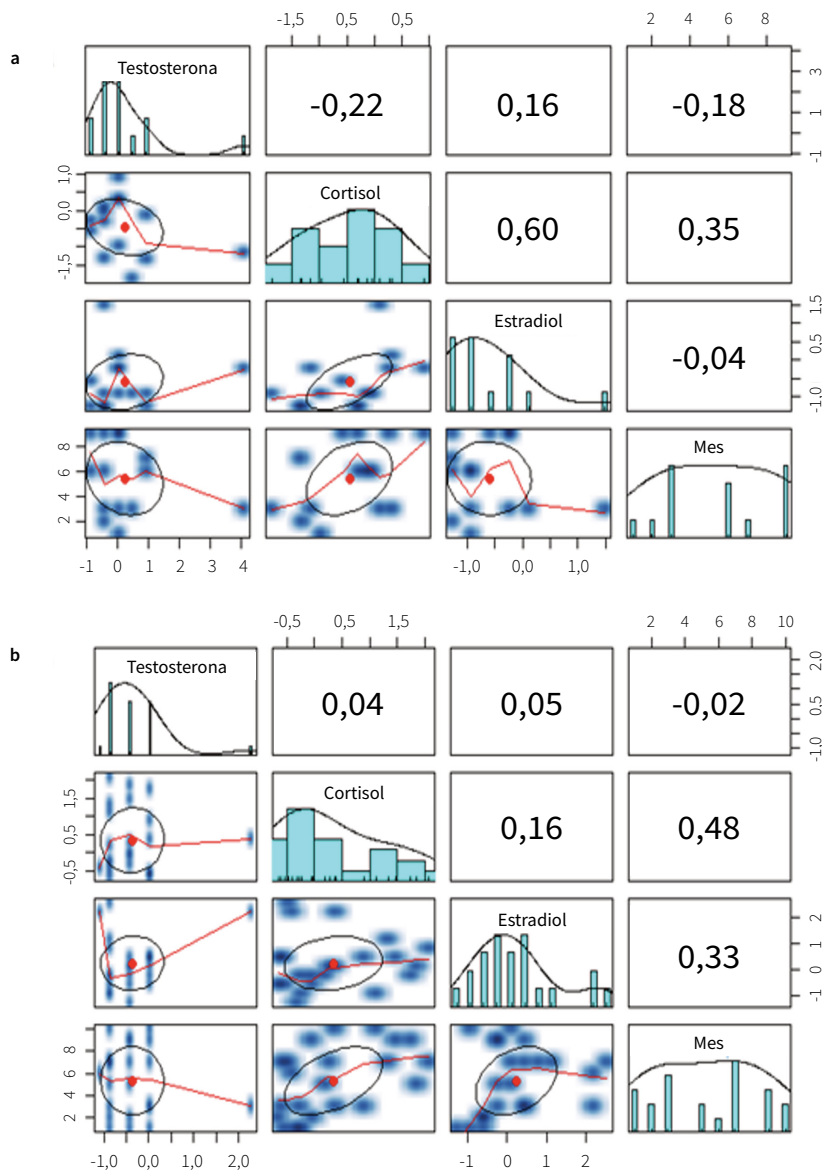
Con relación a las concentraciones plasmáticas de E2, se registraron incrementos en las concentraciones, que se extienden hasta marzo en los dos sexos, y luego se hicieron mayores en las hembras en junio y julio, siendo estos de 0,88 y 0,76 ng/ml, respectivamente (figura 1c). En tanto que los machos muestran descensos de 0,17 a 0,05 ng/ml para junio y julio, luego, los valores vuelven a incrementarse, presentando su valor máximo en el mes de octubre (0,7 ng/ml).

En machos de *P. metaense* x *L. marmoratus*, el comportamiento de las tres hormonas para los diez meses de muestreo (figura 1d) muestra que el cortisol presentó

los niveles más altos en relación con las demás hormonas hasta el mes de junio. Por otro lado, las concentraciones de testosterona para junio y julio son significativamente mayores que el E2 (que llega a su nivel más bajo en julio). Para el mes de septiembre, de nuevo baja la concentración de T (0,33 ng/ml) y aumenta el E2, has-

ta el mes de octubre, cuando alcanza su máximo valor (0,70 ng/ml). Por otro lado, los niveles de cortisol y estradiol presentaron relación moderada positiva con  $r^2 = 0,36$ , indicando que el 36 % de la variación de la concentración de cortisol puede atribuirse la asociación lineal con E2,  $p = 0,02$  (figura 2a).

Figura 2. Coeficiente de correlación múltiple usando el método de Spearman para las hormonas evaluadas por grupo (machos, a; hembras, b)



Fuente: elaboración propia

Durante los meses de junio y julio, las concentraciones de T en hembras fueron las más bajas, siendo contrarias a los niveles de E2 para esa misma temporada (figura 1e). En efecto, no se observa correlación entre dichas hormonas (figura 2b).

En relación con el cortisol, se observó que, de enero a marzo, el comportamiento es muy similar al de T, y, a finales del periodo que va de mayo a octubre, se observó un patrón de comportamiento inverso con dicha hormona (figura 1e); con todo, no se encontró asociación estadística entre ambas hormonas (figura 2b). No obstante, el nivel de cortisol a comparación de la temporada de muestreo presentó débil asociación positiva (0,48) con  $r^2 = 0,23$  y  $p = 0,024$  (figura 2b). Aunque se encontraron diferencias significativas entre el nivel de cortisol y la temporada de muestreo, el coeficiente de correlación no es lo suficientemente grande como para poder determinar que de hecho exista una asociación lineal entre ellas (23 %).

## DISCUSIÓN

Dado que se encontraron altos niveles de cortisol en ambos sexos, los ejemplares tienden a mostrar la continuidad del proceso de maduración (no se inhibió la producción de esteroides), influenciados por la temporada de lluvias, siendo notorio el solapamiento del nivel de dicha hormona entre sexos para el mes de junio (figura 1a). Resultados similares en niveles poscaptura en *Rhamdia quelen* han demostrado que las hembras presentan mayores picos de cortisol en comparación con los machos, siendo estos de 80 y 48 ng/dl, respectivamente (16). Es necesario mencionar que todas las muestras de nuestro estudio fueron obtenidas a las 24 horas de confinamiento dentro del mismo rango de horario diurno (10:00 a 11:00 am), siendo este un control para la comparación de los niveles hormonales durante el tiempo de muestreo. En cuanto a posibles aumentos de cortisol por estrés en confinamiento, estudios han demostrado picos altos progresivos de cortisol plasmático en *Pagrus auratus*, *Chelidonichthys kumu* y *Cyprinus carpio* durante las primeras 12 horas postcaptura, y, posterior a 24 ho-

ras, ha mostrado niveles más bajos que el periodo inicial (17-19). Lo anterior permite deducir que, durante la captura, los niveles de cortisol en peces son significativamente altos como respuesta al estrés; sin embargo, durante periodos de confinamiento mayores a 24 horas, los animales tienden a aclimatarse.

Por tanto, una posible explicación a los altos niveles de cortisol en hembras de *P. metaense* x *L. marmoratus* es que estos pueden estar influenciados por la fase de vitelogénesis exógena (acumulación de yema). Con ello finalizaría la etapa preparatoria, la cual se encuentra fuertemente correlacionada para estos periodos en otros bagres tales como *Hepteropterus fossilis*, el cual reportó ascenso del nivel de cortisol y E2 durante dicho periodo, presentando su pico más alto en el mes de mayo (130 y 6 ng/ml, respectivamente) e iniciando la fase pre-desove con descenso hasta la mitad del mes de junio (80 y 5 ng/ml, respectivamente). Asimismo, posteriormente este vuelve a retomar ascensos de cortisol durante el periodo de desove (julio a agosto), siendo estos de 80 y 120 ng/ml, respectivamente (20).

Dicha fluctuación en el cortisol es muy similar a lo reportado en nuestro estudio, y se asemeja a la temporada reproductiva de *P. metaense* para los meses de junio y julio. De igual manera, presenta diferencias significativas entre los rangos de asociación (cortisol vs. tiempo de muestreo) con un coeficiente de Spearman débil (figura 2b), comportándose como una variable no monótona (en el transcurso de los meses, el cortisol aumenta y disminuye).

En comparación, existe una diferencia de 2,18 ng/ml de cortisol mayor en hembras para el mes de junio (figura 1a), siendo esto poco significativo. No obstante, en consecuencia, aquello podría conducir en machos a un retraso en el desarrollo testicular, siendo esto demostrativo en *Cyprinus carpio* (21). Asimismo, posiblemente no suceda lo mismo para hembras según lo reportado para *L. punctatus*, en donde se ha demostrado que dicha hormona no suprime la reproducción, y por el contrario, promovió un 47,1 % de más desoves con respecto al grupo de control, sin presentar diferencias significativas



entre las características y el efecto de producción del huevo (22).

En tanto, estudios morfológicos gonadal en *P. metaense* x *L. marmoratus*, han demostrado que machos mayores a un año y medio de edad presentaron desarrollo testicular intermedio comparado con sus parentales; y, de manera contraria, las hembras presentaron maduración gonadal y desarrollo de ovocitos, lo que coincide con la época de mayor precipitación (junio y julio) (23). No obstante, faltarían estudios que permitan determinar el grado de correlación entre los niveles de cortisol y el desarrollo gonadal del híbrido *P. metaense* x *L. marmoratus*.

Los registros de cortisol en el plasma sanguíneo de los híbridos fueron mayores (14,75 - 28,15 ng/ml) a los reportados para el ciclo reproductivo en *Pleuronectes platessa* (1,4 - 15,5 µg/100ml) y en carpa china *Ctenopharyngodon idellus* (5,3 - 13,2ng/ml) (21, 22). Sin embargo, a diferencia de lo reportado para *Tor putitora* (13), no se vio afectada la producción de esteroides sexuales, lo que permite suponer que los híbridos continúan su proceso de maduración gonadal, aun bajo condiciones de cautiverio. Asimismo, en *H. fossilis*, las variaciones de cortisol presentaron diferencias significativas, siendo mayores en la fase predesove (26), semejante a lo encontrado en este estudio con mayor énfasis en machos.

En este estudio, los niveles de E2 en hembras durante los meses de junio a julio fueron los más altos, correspondiendo a 0,90 y 0,78 ng/ml, respectivamente (ver figura 1c). Por otra parte, en machos, los niveles de T fueron más altos para el mes de julio, siendo estos de 0,70 ng/ml (figura 1b). Lo anterior podría indicar que, en condiciones de cautiverio, las gónadas de los híbridos mayores a dos años son funcionales, y el incremento en las concentraciones séricas de hembras y machos podría estar asociado con el inicio de la maduración oocitaria y espermatogénesis, respectivamente, correspondiendo aquello a la temporada de precipitación y reproducción de las especies parentales en los ríos de la región. Condición semejante fue reportada para machos de *Centropomus undecimalis*, cuya maduración es influenciada por la temporada de desove natural (27).

Las concentraciones de T sérica en machos *P. metaense* x *L. marmoratus* fue de 0,70 ng/ml, siendo semejantes a los encontrados en machos del capitán de la sabana (*Eremophilus mutisii*), cuyos niveles de hormonas esteroideas coinciden con los periodos de reproducción de la especie y el índice gonadosomático (28). Sin embargo, fueron bajos frente a lo reportado para *Clarias batrachus*, 45 ng/ml de suero (29), *Tor tambroides*,  $0,83 \pm 0,01$  ng/ml (30) y carpa china (*Ctenopharyngodon idellus*, 5,9 - 17,3 ng/ml) (24). Sin embargo, fueron mayores a los reportados en *Hemibagrus nemurus*, que fluctuaron desde 0,018 a 0,072 ng/ml (31), más altos que los reportados en bagres de canal (*Ictalurus punctatus*) (0,22 ng/ml) (32), así como los reportados en *H. fossilis* (~0,06 ng/ml) (26). Para todos los casos se reportan incrementos moderados para la época de reproducción, lo cual corresponde a la temporada reproductiva de las especies parentales (33), comenzando con incrementos significativos en la época predesove (34).

En comparación, estudios realizados en *Pangasionodon hypohthalmus* x *Pangasionodon gigas* demuestran que ejemplares machos maduran más rápido que las hembras, presentando niveles de T altos durante marzo y junio ( $1,33 \pm 0,35$  pg/ml), y maduración del oocito solo en el mes de octubre, con altas concentraciones de E2 ( $49,05 \pm 8,60$  pg/ml), respectivamente (35). Todo lo anterior sugiere que los individuos híbridos corresponderían a animales de única temporada.

En tanto, la disminución de las concentraciones de testosterona y, marginalmente, en el plasma de hembras (figura 1e), puede estar asociada a la fase de recrudescimiento, a la posible presencia de óxido nítrico (NO) y al control por retroalimentación o a la temporada del año, lo cual se evidencia en otros estudios (36).

La variación en el perfil hormonal de hembras, el incremento de estradiol y la disminución de testosterona en este estudio, corresponde con lo reportado para *H. nemurus* (31), que lo relaciona con la mayor reclusión ovárica para madurez. En ese contexto, nuevos oocitos en maduración son respuesta al incremento de estrógenos circulantes, así como la aromatización de testosterona en el ovario (32).

En tanto, los niveles fluctuantes de las hormonas T y E2 permiten inferir que el eje hipotálamo - hipófisis - gónada, es funcional, así como el eje hipotálamo - hipófisis interrenal (cortisol), y que la interacción de estas hormonas evidencia diferencias asociadas a las condiciones ambientales (epigenéticas) y entre sexos (37). Ese sistema, altamente conservado durante la evolución de los vertebrados, permite el control reproductivo, sumando el papel estimulante o inhibidor del estrés (cortisol). Probablemente, los niveles más altos en hembras establezcan una diferencia funcional para la ovulación, que dependerá en gran medida de si el estrés es agudo o crónico.

De forma general se arguye que pequeñas dosis de cortisol se asocien con pulsos de GnRH y estímulos a la reproducción; sin embargo, niveles crónicos se han asociado a la inhibición. Generalmente, las hembras producen mayor concentración de cortisol en respuesta al estrés, afectando tanto la maduración como la reproducción (37, 38). Así, el papel inhibidor del cortisol y sus acciones en la salud general de los peces dependerá de su concentración, tiempo de duración, retroalimentación positiva de E2, T, hormonas inhibidoras e inclusive regulación opioindérgica (dopamina) (39).

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

## REFERENCIAS

1. Castañeda Alvarez G, Gutiérrez Espinosa M, Santamaría Pérez F. Alimentación de alevinos de bagre rayado, *Pseudoplatystoma metaense* (Buitrago-Suárez y Burr 2007): cambio a dieta inerte. Orinoquía. 2014;18(1): 198-202.
2. Sánchez JAM, Moyetones F, Cerdá MJ. Influencia del contenido proteico en el crecimiento de alevinos de bagre yaque, *Leiarius marmoratus*, alimentados con concentrados comerciales. Zootec Trop. 2009;27(2): 187-194.
3. Moreno Guerra YA, Mira Lopez TM, Rodríguez Pulido JA, Medina Robles VM. Desarrollo embrionario de híbridos de *Pseudoplatystoma metaense* Suarez, 2007 x *Leiarius marmoratus* Gill, 1870 (Siluriformes: Pimelodidae). Orinoquia. 2016;20(2 Sup): 78-85. Disponible en: <https://doi.org/10.22579/20112629.444>
4. Porras-Rivera G, Rodríguez-Pulido JA. Comparación y Caracterización Morfométrica del Híbrido (*Pseudoplatystoma metaense* x *Leiarius marmoratus*) y sus Parentales (Siluriformes: Pimelodidae) - Morphometric Comparison and Characterization of the Hybrid (*Pseudoplatystoma metaense* x *Leiarius marmoratus*) and its Parental Lines (Siluriformes: Pimelodidae). Int J Morphol. 2019;37(4). Disponible en: <https://doi.org/10.4067/S0717-95022019000401409>
5. Froese R, Pauly D. FishBase [Internet]. 2019. Disponible en: [www.fishbase.org](http://www.fishbase.org)
6. Girardi SC, Pavanelli CS, Margarido VP. Contributions to the systematic of pimelodidae (Osteichthyes, Siluriformes): Basic and molecular cytogenetics on seven species of pimelodus from three Brazilian hydrographic systems. Neotrop Ichthyol. 2018;16(2): 170148. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/1982-0224-20170148>
7. Sandoval Herrera ID, Solarte Murillo LV. Caracterización citogenética y molecular de una población híbrida entre bagre Rayado (*Pseudoplatystoma metaense*) y bagre Yaque (*Leiarius marmoratus*). Universidad de los Llanos; 2019.
8. Yaron Z, Gur G, Melamed P, Rosenfeld H, Elizur A, Levavi-sivan B. Regulation of Fish Gonadotropins. Int Rev Cytol. 2003;225: 131-85. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0074-7696\(05\)25004-0](https://doi.org/10.1016/S0074-7696(05)25004-0)
9. Rocha MJ, Arukwe A, Kapoor BG. Fish reproduction. 1<sup>st</sup> ed. Science Publishers; 2008.
10. Devlin RH, Nagahama Y. Sex determination and sex differentiation in fish: an overview of genetic, physiological, and environmental influences. Aquaculture. 2002;208(3-4): 191-364. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00057-1](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00057-1)
11. Planas JV, Athos J, Goetz FW, Swanson P. Regulation of Ovarian Steroidogenesis in Vitro by Follicle-Stimulating Hormone and Luteinizing Hormone During Sexual Maturation in Salmonid Fish1. Biol Reprod.

- 2000;62(5): 1262-1269. Disponible en: <https://academic.oup.com/biolreprod/article-lookup/doi/10.1095/biolreprod62.5.1262> <https://doi.org/10.1095/biolreprod62.5.1262>
12. Takahashi T, Hagiwara A, Ogiwara K. Prostaglandins in teleost ovulation: A review of the roles with a view to comparison with prostaglandins in mammalian ovulation. *Mol Cell Endocrinol.* 2018;461: 236-247. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030372071730504X> <https://doi.org/10.1016/j.mce.2017.09.019>
  13. Akhtar M, Ciji A, Sarma D, Rajesh M, Kamalam B, Sharma P, et al. Reproductive dysfunction in females of endangered golden mahseer (*Tor Putitora*) in captivity. *Anim Reprod Sci.* 2017;182: 95–103. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2017.05.004>
  14. Zanuy S, Carrillo M, Rocha A, Molés G. Regulación y control hormonal del proceso reproductor de los teleosteos. En: JE de los Monteros (ed.). *La reproducción de los peces: aspectos básicos y sus aplicaciones en acuicultura.* Madrid: Publicaciones Científicas de la Fundación Observatorio Español de Acuicultura; 2009. pp. 1-719.
  15. R Core Team. *R: A Language and Environment for Statistical Computing.* Vienna, Austria; 2020. Disponible en: <https://www.r-project.org/>
  16. Barcellos LJG, Woehl VM, Wassermann GF, Quevedo RM, Itzés I, Krieger MH. Plasma levels of cortisol and glucose in response to capture and tank transference in *Rhamdia quelen* (Quoy & Gaimard), a South American catfish. *Aquac Res.* 2001;32(2): 121-123. Disponible en: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.2001.00539.x>
  17. Pankhurst NW, Sharpies DF. Effects of capture and confinement on plasma cortisol concentrations in the snapper, *pagrus auratus*. *Mar Freshw Res.* 1992;43(2): 345-356. Disponible en: <https://doi.org/10.1071/MF9920345>
  18. Clearwater SJ, Pankhurst NW. The response to capture and confinement stress of plasma cortisol, plasma sex steroids and vitellogenic oocytes in the marine teleost, red gurnard. *J Fish Biol.* 1997;50(2): 429-441. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1997.tb01370.x>
  19. Pottinger TG. Changes in blood cortisol, glucose and lactate in carp retained in anglers' keepnets. *J Fish Biol.* 1998;53(4): 728–742. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1998.tb01828.x>
  20. Lamba VJ, Goswami SV, Sundararaj BI. Circannual and circadian variations in plasma levels of steroids (cortisol, estradiol-17 $\beta$  estrone, and testosterone) correlated with the annual gonadal cycle in the catfish, *Heteropneustes fossilis* (Bloch). *Gen Comp Endocrinol.* 1983;50(2): 205-225. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/0016-6480\(83\)90221-6](https://doi.org/10.1016/0016-6480(83)90221-6)
  21. Goos HJT, Consten D. Stress adaptation, cortisol and pubertal development in the male common carp, *Cyprinus carpio*. *Mol Cell Endocrinol.* 2002;197(1-2): 105-116. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0303-7207\(02\)00284-8](https://doi.org/10.1016/S0303-7207(02)00284-8)
  22. Small BC. Effect of dietary cortisol administration on growth and reproductive success of channel catfish. *J Fish Biol.* 2004;64(3): 589-596. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2004.00322.x>
  23. Rodríguez-Pulido J, Villamil-Rodríguez J, Mira-López T, Cruz-Casallas P, Baldisserotto B. Gonadal Maturation in *Pseudoplatystoma metaense*  $\times$  *Leiarius marmoratus* Hybrids, (Siluriformes: Pimelodidae) Maduración Gonadal en Híbridos de *Pseudoplatystoma metaense*  $\times$  *Leiarius marmoratus* (Siluriformes: Pimelodidae). *Int J Morphol.* 2020;38(5): 1405-1411. Disponible en: <https://doi.org/10.4067/S0717-95022020000501405>
  24. Mousavi S., Yousefian M. Effects of exogenous hormones on plasma cortisol, sex steroid hormone and glucose levels in male and female grass carp, *Ctenopharyngodon idellus*, during the spawning induction. *African J Biotechnol.* 2012;11(36): 8920-8927. Disponible en: <https://doi.org/10.5897/AJB11.1789>
  25. Wingfield J., Grimm A. Seasonal change in plasma Cortisol, Testosterone and Oestradiol-17 $\beta$  in the Plaice, *Pleuronectes platessa*. *Gen Comp Endocrinol.* 1977;3: 1–11. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/0016-6480\(77\)90184-8](https://doi.org/10.1016/0016-6480(77)90184-8)
  26. Chaube R, Mishra S, Singh RK. A comparison of steroid profiles in the testis and seminal vesicle of the catfish (*Heteropneustes fossilis*). *Theriogenology.* 2018;105: 90-96. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2017.09.010>
  27. Passini G, Carvalho CVA, Sterzelecki FC, Baloi MF, Cerqueira VR. Spermatogenesis and steroid

- hormone profile in puberty of laboratory-reared common snook (*Centropomus undecimalis*). *Aquaculture*. 2019;1(500): 622-630. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.10.031>
28. Landines MA. Perfil de esteroides sexuales del capitán de la sabana (*Eremophilus mutisii*) durante un ciclo hidrológico completo. *Rev UDC A Act Div*. 2017;20(1): 43-50. Disponible en: <https://doi.org/10.31910/rudca.v20.n1.2017.61>
  29. Singh VK, Lal B. Pro-steroidogenic and pro-spermatogenic actions of nitric oxide (NO) on the catfish, *Clarias batrachus*: An in vivo study. *Gen Comp Endocrinol*. 2017;242: 1-10. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2016.05.001>
  30. Ismail MFS, Siraj SS, Daud SK, Harmin SA. Association of annual hormonal profile with gonad maturity of mahseer (*Tor tambroides*) in captivity. *Gen Comp Endocrinol*. 2011;170(1): 125-130. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2010.09.021>
  31. Adebisi F, Siraj S, Harmin S, Christianus A. Plasma sex steroid hormonal profile and gonad histology during the annual reproductive cycle of river catfish *Hemibagrus nemurus* (Valenciennes, 1840) in captivity. *Fish Physiol Biochem*. 2013;39: 547-557. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10695-012-9718-x>
  32. Barrero M, Small BC, D'Abramo LR, Hanson LA, Kelly AM. Comparison of estradiol, testosterone, vitellogenin and cathepsin profiles among young adult channel catfish (*Ictalurus punctatus*) females from four selectively bred strains. *Aquaculture*. 2007;264(1-4): 390-397. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.12.003>
  33. Rodríguez-Pulido JA, Cruz-Casallas PE, Góngora-Orjuela A. Hibridización de silúridos: una alternativa para la piscicultura con alto riesgo para la conservación de las especies nativas. *Orinoquia*. 2016;20(1): 62-68. Disponible en: <https://doi.org/10.22579/20112629.328>
  34. Chaube R, Mishra S, Singh RK. A comparison of steroid profiles in the testis and seminal vesicle of the catfish (*Heteropneustes fossilis*). *Theriogenology*. 2018;105: 90-96. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2017.09.010>
  35. Sutthi N, Amornlerdpisan D, Chitmanat C, Mengumphan K. Annual Growth and Reproductive Performance in an F2 Catfish Hybrid. *J Adv Agric Technol*. 2014;1. Disponible en: <https://doi.org/10.12720/joat.1.2.113-118>
  36. Singh VK, Lal B. Pro-steroidogenic and pro-spermatogenic actions of nitric oxide (NO) on the catfish, *Clarias batrachus*: An in vivo study. *Gen Comp Endocrinol*. 2017;242: 1-10. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2016.05.001>
  37. Phumsatitpong C, Wagenmaker ER, Moenter SM. Neuroendocrine interactions of the stress and reproductive axes. *Front Neuroendocrinol*. 2021;63(December 2020): 100928. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.yfrne.2021.100928>
  38. Motavalli R, Majidi T, Poulak T, Abediazar S, Shojaja MM, Zununi Vahed S, et al. The clinical significance of the glucocorticoid receptors: Genetics and epigenetics. *J Steroid Biochem Mol Biol*. 2021;213(July): 105952. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jsbmb.2021.105952>
  39. Ganesh CB. The stress – Reproductive axis in fish: The involvement of functional neuroanatomical systems in the brain. *J Chem Neuroanat*. 2021;112(November 2020): 101904. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jchemneu.2020.101904>