Cuadernos de Investigación UNED
ISSN: 1659-4266
ISSN: 1659-441X
Universidad Estatal a Distancia de Costa Rica

San Gil-León, Jorge; Angulo, Arturo
Xantismo en peces cíclidos (Cichliformes: Cichlidae) costarricenses, y variación ontogenética en Parachromis dovii
Cuadernos de Investigación UNED, vol. 13, núm. 1, e3093, 2021, Enero-Junio
Universidad Estatal a Distancia de Costa Rica

DOI: https://doi.org/10.22458/urj.v13i1.3093

Disponible en: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=515668884002

Cómo citar el artículo
Número completo
Más información del artículo
Página de la revista en redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

UNED Research Journal
Cuadernos de Investigación UNED

Xantismo en peces cíclidos (Cichliformes: Cichlidae) costarricenses, y variación ontogenética en *Parachromis dovii*

Jorge San Gil-León [1,2]; Arturo Angulo [1,2]

1. Museo de Zoología, Centro de Investigación en Biodiversidad y Ecología Tropical (CIBET), Universidad de Costa Rica. 11501–2060, San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica; jorgeandres2210@hotmail.com
2. Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR), Universidad de Costa Rica. 11501–2060, San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica; arturo.angs@gmail.com

Recibido 18-VIII-2020 • Corregido 05-XI-2020 • Aceptado 23-XI-2020
DOI: https://doi.org/10.22458/urj.v13i1.3093

ABSTRACT. "Xanthism in Costa Rican Cichlid fish (Cichliformes: Cichlidae), and ontogenetic variation in *Parachromis dovii*." **Introduction**: Xanthism or xanthocromism is a phenotypic anomaly evidenced by the predominant production of xanthine, a pigment that gives the organism a yellowish coloration. In Costa Rica there are few records of organisms exhibiting such anomaly in natural environments. **Objective**: To present cases of xanthism in Costa Rican cichlid fish. **Methods:** We collected records of xanthism from social media, museum specimens and field work. In addition, we reproduced two xanthochromic specimens of *Parachromis dovii* to determine ontogenetic changes. **Results:** We recorded xanthism in eight species, six of them cichlids. In the case of the specimens raised in captivity, 100% of the offspring had xanthism after about four months. **Conclusions:** At least eight species of Costa Rican fish show xanthism, and a genetic (heritable) origin is presumed; this was corroborated in the captive breeding exercise.

Keywords: Neotropical fishes, Mojarras, Guapote, chromatic aberrations, Xantochromism, Albinism.

RESUMEN. Introducción: El xantismo o xantocromismo es una anomalía fenotípica que se evidencia por la producción predominante de xantina, un pigmento que le da al organismo una coloración amarillenta. En Costa Rica existen pocos registros de organismos con esa anomalía en ambientes naturales. **Objetivo:** Presentar casos de xantismo en peces cíclidos de Costa Rica. **Métodos:** Recolectamos registros de xantismo por redes sociales, así como de especímenes de museos y trabajo de campo. Además, reproducimos dos especímenes xantocrómicos de *Parachromis dovii* para determinar cambios ontogenéticos. **Resultados:** Registramos xantismo en ocho especies, seis de ellas cíclidos. En el caso de los ejemplares criados en cautiverio, el 100% de la descendencia presentó xantismo a los cuatro meses aproximadamente. **Conclusiones:** Al menos ocho especies de peces costarricenses presentan xantismo, para lo cual se presume un origen genético (heredable); esto fue corroborado en el ejercicio de reproducción en cautiverio.

Palabras clave: Peces neotropicales. Mojarras, Guapote, Aberraciones cromáticas, Xantocromismo, Albinismo.

El xantismo o xantocromismo constituye una anomalía fenotípica, caracterizada, a nivel dérmico (incluyendo escamas, pelos o plumas), entre otros, por la variación en el patrón de coloración típico de un determinado organismo (Dobosz, 2007; Leclercq, Taylor, & Migaud, 2010; Quigley, Lord, MacGabhann, & Flannery, 2017; Saunders, 2017). Tal anomalía puede ser expresada total o parcialmente, incluso temporalmente, y es evidenciada por la producción predominante, y en algunos casos excesiva, de xantina, un pigmento que le confiere al organismo una coloración usualmente amarillenta, variando inclusive entre diversas tonalidades incluidos el rojo-amarillento o naranja (Dobosz, 2007; Quigley et al., 2017; Saunders, 2017; Irigoyen-Arredondo, Escobar-Sánchez, Abitia-Cárdenas, Moreno-Sánchez, & Palacios-Salgado, 2018).

En el grupo de los peces óseos se han reportado diversos casos de xantismo en especies tanto marinas (*e.g.*, Allen & Neill, 1953; Moe, 1963; Béarez, Treviño, & Huamani, 2006; Jawad & Ibrahim, 2018), como dulceacuícolas (*e.g.*, Balon, 2004; Pawar & Jawad, 2017). No obstante, en la mayoría de los casos esta condición se relata como poco frecuente, al menos naturalmente (*e.g.*,

CC BY OPEN ACCESS

Balon, 2004; Dobosz, 2007; Quigley et al., 2017). De hecho, en la mayoría de los casos, se ha mencionado, clasificado o determinado como una desventaja adaptativa (Okihiro, Whipple, Groff, & Hinton, 1993; Leclercq et al., 2010; Noga, 2010; Saunders, 2017). En contraposición, en el "hobby" de la acuariofilia, *i.e.,* la cría y reproducción de peces (entre otros) con fines de ornato, esta condición anómala es bastante apreciada, ya que añade múltiples variantes y patrones únicos de coloración al espectro típico de una determinada especie, otorgándole a los ejemplares que la poseen un valor único sin representar (en la mayoría de los casos, dado su mantenimiento en cautividad) un detrimento en su condición o estado de salud (Balon, 2004; Dobosz, 2007).

En general, uno de los grupos de peces dulceacuícolas más importantes a nivel de acuariofília es el de los cíclidos (Cichliformes: Cichlidae) (Conkel, 1993; Bussing, 1998), siendo este un grupo con distribución neotropical, presente también en las cuencas de los grandes lagos africanos y en parte de Asia. En la actualidad, este grupo incluye alrededor de 1726 especies descritas (Fricke, Eschmeyer, & Van der Laan, 2020). De las 25 especies de cíclidos nativas reportadas para Costa Rica según Angulo, Garita-Alvarado, Bussing, & López (2013), todas presentan potencial ornamental, con la mayoría de estas siendo parte del mercado ornamental global y cultivadas comercialmente en Estados Unidos y Europa (Conkel, 1993; Bussing, 1998). Entre las características que hacen bastante apreciado a este grupo de organismos a nivel local y regional destacan su comportamiento (*e.g.*, cortejo, cuido parental, defensa de territorios, etc.) y patrones de coloración llamativos (Conkel, 1993; Bussing, 1998).

En lo que respecta a las especies de cíclidos costarricenses, son escasos los registros literarios formales, reportando, en poblaciones naturales, casos de xantismo. Uno de los pocos registros/observaciones al respecto son los de Bussing (1998), quien hace referencia a casos puntuales de esta aberración en poblaciones de las especies *Amphilophus citrinellus*, conocido comúnmente como "Mojarra Midas", y *Parachromis dovii*, conocido comúnmente como "Guapote lagunero/azul/lobo", en la región Caribe norte del país. En tales casos, se ha indicado que los especímenes con el patrón de coloración anómalo representan usualmente menos de un 1%, hasta un máximo de 10% en algunas localidades, del total de individuos en la población (Bussing, 1998). Para el resto de las especies nacionales nativas, se desconocen, o no han sido reportados formalmente, a la fecha, casos de esta anomalía.

En la presente contribución recopilamos y discutimos casos de xantismo en especies de cíclidos costarricenses, ocurriendo en aguas nacionales y aledañas, basados en registros recientes (en ambientes naturales), los cuales fueron obtenidos por diversos medios (digitales y comunicaciones directas de colegas y pescadores artesanales/aficionados, trabajo de campo y revisión de material museográfico). Por otra parte, y como complemento a lo anterior, se describen los cambios ontogénicos y el patrón heredado en ejemplares de la especie *P. dovii*, criados en cautiverio a partir de parentales presentando esta anomalía, lo cual representa el primer registro o nota formal publicada al respecto.

MATERIALES Y MÉTODOS

Registros fotográficos de casos de xantismo en cíclidos costarricenses fueron recopilados por diversos medios digitales, incluyendo grupos y redes sociales de pesca y acuarismo (*e.g.*, Facebook, Instagram, Twitter y WhatsApp), esto durante el periodo comprendido entre 2010 y 2020. Observaciones ocasionales realizadas en campo por los autores y otros colegas, respaldadas por videos o fotografías, fueron también consideradas y adicionadas a la base de registros. Los registros obtenidos fueron validados geográfica y taxonómicamente, contrastando las localidades de captura o registro y las características externas de los ejemplares con los mapas y descripciones provistas por Bussing (1998), con la posterior corroboración por expertos del Museo de Zoología de

la Universidad de Costa Rica. A cada imagen/video se le asociaron y registraron los siguientes datos: (1) especie, (2) localidad [nombre del río y cuenca según la división utilizada por Angulo et al. (2013)], (3) fecha de la captura o registro y (4) colector/pescador/fuente. El nombre de la especie fue asignado siguiendo la nomenclatura actualmente aceptada para este grupo según Fricke et al. (2020); los nombres comunes se presentan según Angulo (2013). Observaciones adicionales en cuanto a la expresión de la mutación (total o parcial), sexo del ejemplar y talla [Longitud estándar (LE); medida desde la punta del hocico hasta el origen de la aleta caudal (sin contar esta), en centímetros (cm)], también fueron realizadas y registradas cuando fue posible. En paralelo, se realizó una revisión del material de referencia depositado en la colección ictiológica del Museo de Zoología de la Universidad de Costa Rica (MZUCR) con el fin de identificar casos de xantismo en el material correspondiente al grupo de los cíclidos (alrededor de 19 814 ejemplares revisados), complementando así los datos obtenidos por medios digitales y trabajo de campo.

Adicionalmente, para el caso específico de la especie *P. dovii*, se realizó (en cautiverio), y a modo ilustrativo, un cruce de ejemplares exhibiendo un patrón de coloración xantocrómico (Fig. 4), documentándose algunas variables físicas y químicas del agua, de la puesta en sí (número total de huevos y número total de larvas eclosionadas) así como propias de las crías durante su desarrollo. Los ejemplares parentales fueron obtenidos de cruces experimentales de ejemplares ornamentales realizados en cautiverio hasta obtener la expresión de la mutación. El objetivo de esta sección experimental fue determinar, cuantificar y describir, de forma complementaria a los resultados generados tras la recopilación de los registros de ocurrencia, los cambios ontogénicos asociados a esta mutación, así como su prevalencia en la descendencia, simulando de cierta forma un potencial suceso natural. Para esto, se realizaron observaciones puntuales y conteos periódicos (al menos uno por semana, durante aproximadamente 19 semanas), considerando diferencias en los patrones de coloración por individuo (para las crías), proporción de individuos anómalos respecto al total de individuos, tipo y expresión de la mutación (total o parcial; amelanínico o xantocrómico) y distribución de tallas. Para realizar el cruce se utilizó un acuario de 210cm de largo x 60cm de ancho x 50cm de altura instalado en un ambiente cerrado; este contenía una fina capa (*ca.*, 2cm) de grava de rio con piedras y troncos naturales, como sustrato, para brindar refugio y posibles sitios de puesta a los parentales. Durante al menos una semana se mantuvo una división permeable en el centro del acuario para aislar al macho de la hembra, evitando así una posible interacción antagónica (esto debido al alto riesgo de muerte de la hembra por el carácter agresivo de los machos de esta especie); una vez aclimatados se retiró la división para inducir el emparejamiento y la puesta. Durante esta fase experimental, no se adicionaron otros organismos al acuario y las condiciones ambientales (temperatura y pH, medidas con un medidor multiparamético Combo Basic AKSO) se mantuvieron relativamente constantes (según detallado en la sección de resultados).

RESULTADOS

Registros de xantismo en cíclidos costarricenses: Se registraron casos de xantismo en un total de cinco especies de cíclidos costarricenses, más el registro de una sexta especie, la "Moga amarilla" – *Hypsophrys nicaraguensis* (especie ocurriendo en Costa Rica) en la Laguna Xiloá en la Cuenca de los lagos de Nicaragua; esto para un total de 20 registros/especímenes. La información asociada a tales registros se presenta en el Apéndice digital, Tabla 1, y se ilustra en las Figuras 1 y 2. La especie con mayor cantidad de reportes confirmados fue *Parachromis dovii* (con 14 casos); las demás especies estuvieron representadas por un único caso, excepto la especie *Parachromis managuensis* ("Guapote pinto") con dos registros confirmados. Los registros de xantismo para las especies *Hypsophrys nicaraguensis*, *P. managuensis*, *Talamancaheros underwoodii* ("Moga verde del Pacífico") y *Tomocichla tuba* ("Tuba") representan los primeros casos formalmente

documentados en la literatura científica. Un total de 15 individuos mostraron un patrón de xantismo total o casi total (cerca de un 80% del cuerpo de color amarillo o una variante de este), mientras que en cinco individuos esta anomalía fue menos acentuada, presentando porciones del cuerpo con coloración blanca u oscura, por lo que fueron clasificados bajo la categoría de xantismo parcial.

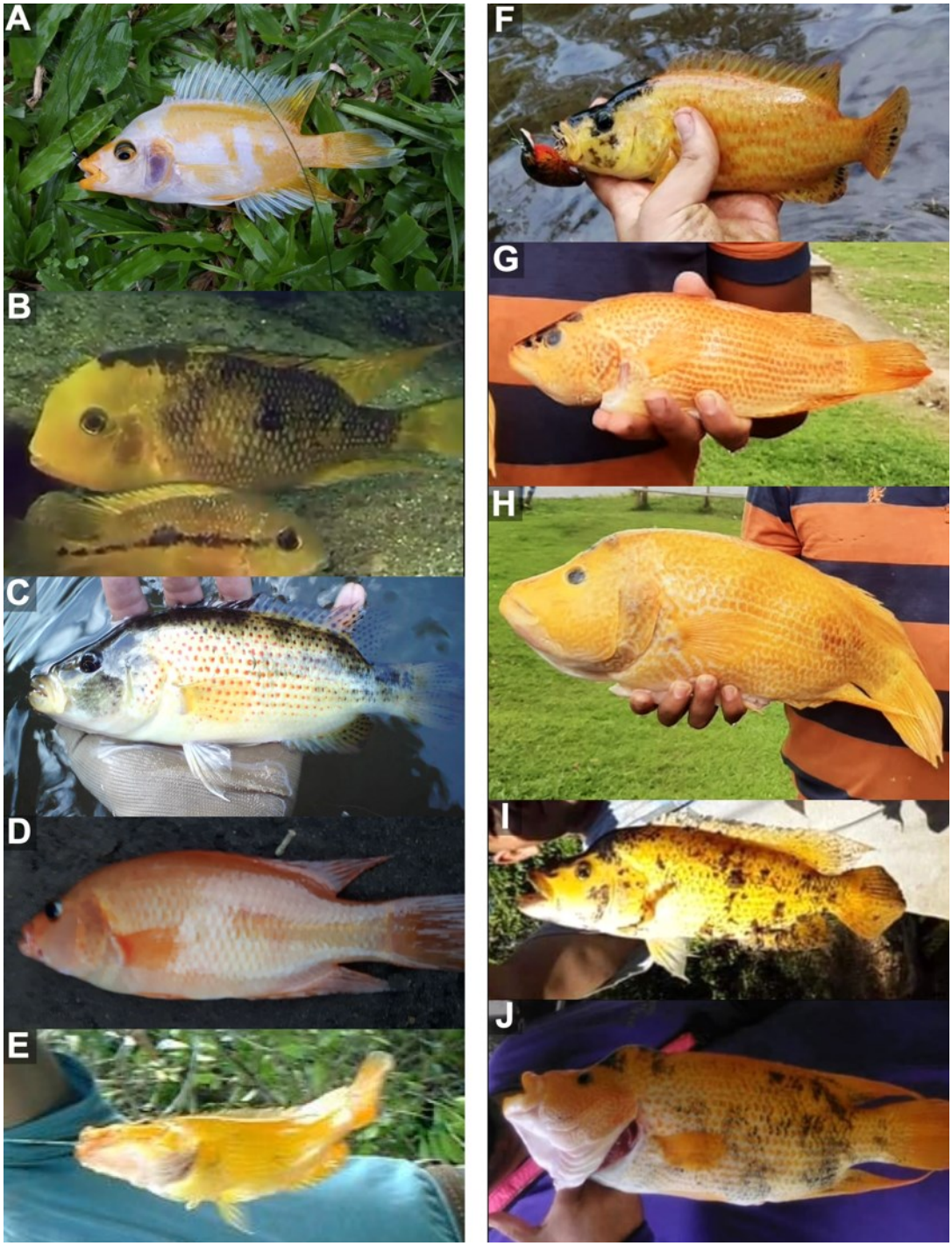

Fig. 1. Casos de xantismo en especies de Cichlidae en ambientes naturales en Costa Rica. Parte 1. A. *Amphilophus citrinellus*; B. *Hypsophrys nicaraguensis* (registro en Nicaragua); C–J. *Parachromis dovii*. Los datos asociados se presentan en el Apéndice digital, Tabla 1

OPEN ACCESS

Los registros, en su mayoría obtenidos por medio de redes sociales y fotografías enviadas por colegas o pescadores artesanales/aficionados (16, vs. un registro en campo y 3 ejemplares de museo; ver abajo), provinieron de un total de siete cuencas diferentes; la cuenca del río San Carlos (con siete casos), seguida por Sarapiquí (con cinco casos) y San Juan (con tres casos), fueron las que presentaron el mayor número de reportes; cabe mencionar que estas tres cuencas se ubican en la vertiente del océano Atlántico y que se registró un único caso en la vertiente del océano Pacífico (*i.e.*, *T. underwoodi* en la cuenca del río Coto). La mayoría de los registros fueron documentados durante el periodo 2019–2020, no obstante, se registraron casos desde el 2012. Se determinó el sexo de los ejemplares en un total de 13 reportes, siendo mayoritario el número de casos en machos (12, vs. 1 hembra). La mayoría de los registros correspondió a ejemplares de tallas superiores a los 15cm de LE (media = 25.3cm), indicando la prevalencia de la mutación a edades reproductivas. Por otro lado, en el ejemplar de *T. tuba* se observó además la presencia de trematodos parásitos (Fig. 3 posiblemente del género *Clinostomum*).

Como resultado de la revisión del material de Cichlidae depositado en la colección ictiológica del MZUCR, el cual incluye más de 19 000 especímenes en 1 387 lotes, con representación de 48 especies de ocho países del continente, se registraron solo de tres casos de xantismo (UCR 0056-001, 2448-001 y 2540-001); todos correspondientes a ejemplares de la especie *P. dovii* (Figs. 2E–G). Los tres especímenes fueron capturados en la cuenca del río Sarapiquí, entre 1961 y 1999, y corresponden a dos machos (35–39cm LE) y una hembra (29cm LE). Considerando el total de ejemplares de *P. dovii* presentes en la colección (*i.e.*, 1 231 ejemplares), la proporción de individuos xantocrómicos, para esta especie en particular, corresponde a 0.2%. Durante el transcurso de esta investigación, se registraron casos adicionales de xantismo para dos especies no Cicliformes (*i.e.*, el "Barbudo de barbas largas" – *Rhamdia guatemalensis*, Heptapteridae; y el "Gobio de río" – *Sicydium* sp., Gobiidae; Fig. 4), lo cual amplia el espectro de casos de especies/familias de peces dulceacuícolas costarricenses presentando esta anomalía a un total de siete–ocho especies y tres familias, respectivamente (Webber, Barlow, & Brush, 1976; Bussing, 1998).

Reproducción en cautiverio de especímenes de P. dovii con xantismo: La puesta generada (al 29 de marzo de 2020) por especímenes xantocrómicos de *P. dovii* (Fig. 5) estuvo compuesta por aproximadamente 218 huevos (Fig. 6), de los cuales, al cabo de unas 100–110h (*i.e.*, al 03 de abril de 2020), eclosionaron un total aproximado de 84 larvas (*i.e.*, 38.5% de rendimiento). Las larvas, en este punto, mostraron un patrón de coloración aparentemente normal, considerando como base puestas de individuos parentales sin la mutación, *i.e.*, con fenotipos (patrones de coloración) caracterizados por un color general blanquecino-rosa a transparente interrumpido por una franja negra prominente y continua (o conformada por una serie de manchas grandes muy cercanas entre sí) situada(s) entre el borde posterior del ojo (en ocasiones también presente en el hocico) y el borde posterior del pedúnculo caudal, así como manchas negras pequeñas dispersas en el cuerpo y aletas (principalmente en la dorsal). Antes y durante la puesta, así como antes y durante la eclosión de las larvas la temperatura del agua se mantuvo relativamente constante en 27 °C, otros parámetros del agua, como el pH, se mantuvieron en valores relativamente constantes variando entre 6.8 y 7.2. Las larvas fueron alimentadas con alimento comercial seco de la marca *Otohime* con 51% proteína. En el apéndice digital, Tabla 2, se resume la información obtenida en cuanto a proporciones de individuos anómalos según tipo y expresión de la mutación e intervalo de tallas a escala temporal. Durante los más de 130 días de seguimiento se observaron cambios constantes y temporales en los patrones de coloración cutánea, tanto en los parentales como en algunas crías, principalmente en la proporción de espacios o áreas con pigmentación amarilla, rojiza-naranja, blanca o gris oscuro. Algunos de los cambios o variantes observados se ilustran en las Figs. 7 y 8. A partir de los 48 días

OPEN ACCESS

se registraron, además, tres ejemplares con pigmentación cutánea ausente (Fig. 7H), este número llegó a seis ejemplares al finalizar el periodo de observación.

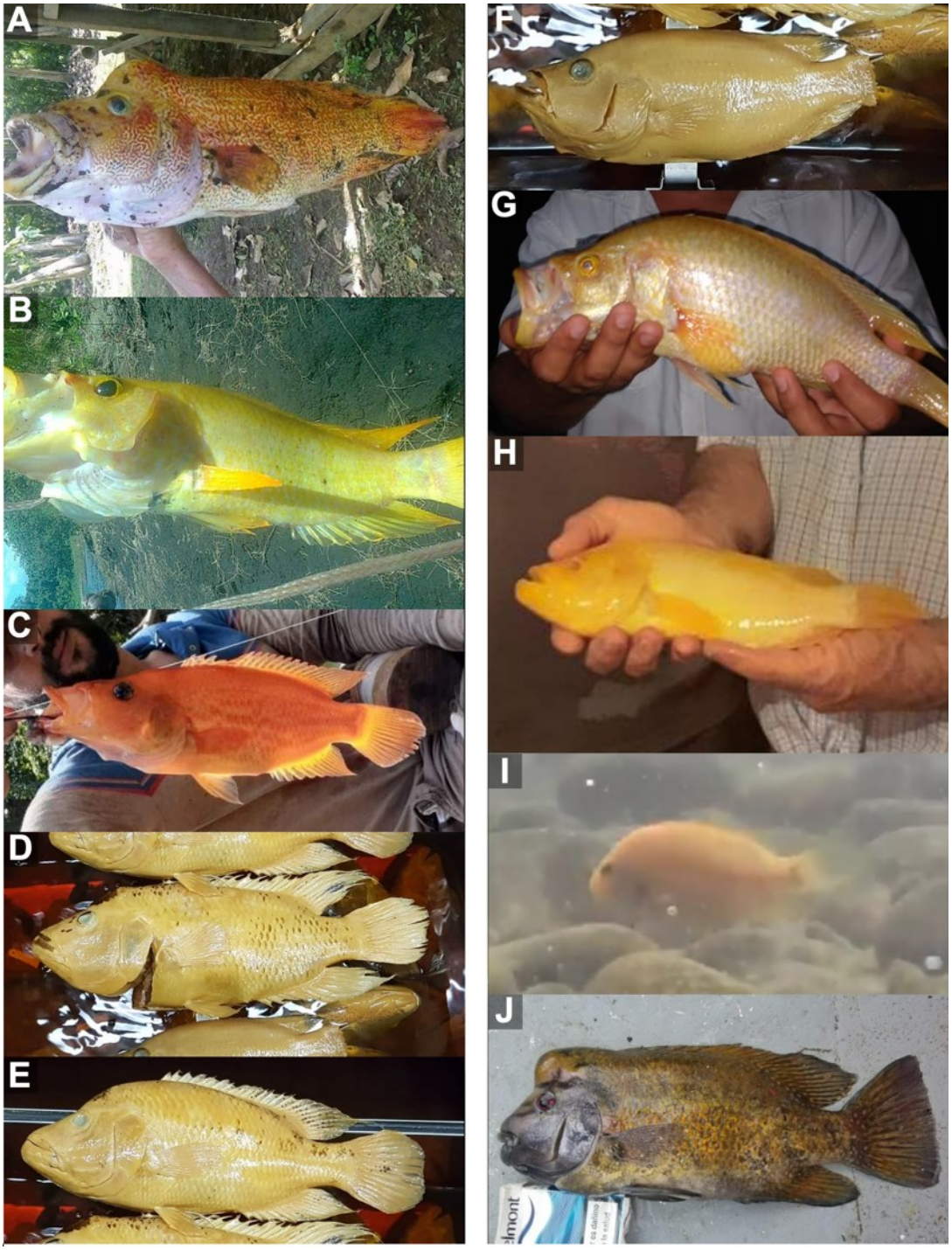

Fig. 2. Casos de xantismo en especies de Cichlidae en ambientes naturales en Costa Rica. Parte 2. A–F. *Parachromis dovii*; G–H. *Parachromis managuensis*; I. *Talamancaheros underwoodi*; J. *Tomocichla tuba*. Los datos asociados se presentan en el Apéndice digital, Tabla 1

OPEN ACCESS

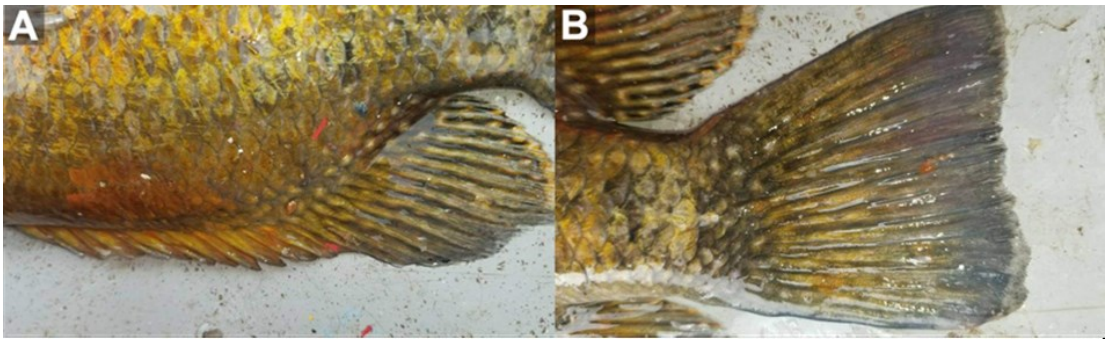

Fig. 3. Detalle de la región anal (A) y caudal (B) del especímen xantocrómico de Tomocichla tuba evidenciando la presencia de (posiblemente) trematodos parásitos (i.e., las protuberancias o manchas claras circulares u ovales presentes en la piel y membrana interadial).

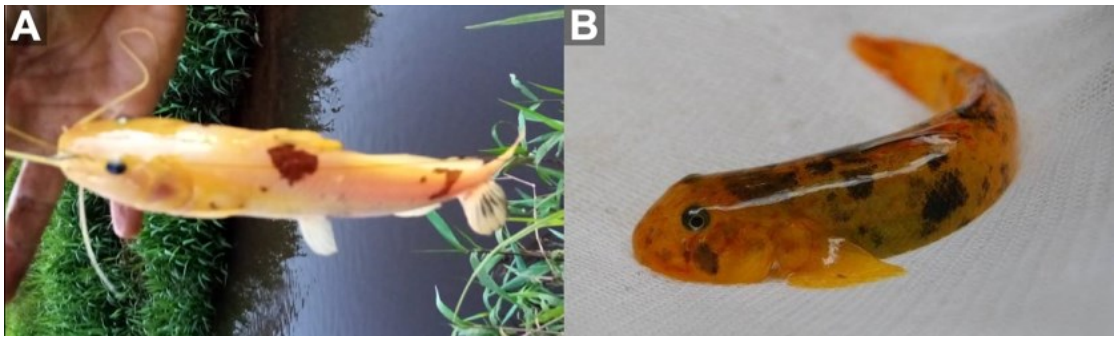

Fig. 4. Especímenes no Cichliformes exhibiendo un patrón de coloración xantocrómico en Costa Rica. A. Ejemplar de *Rhamdia guatemalensis*, Heptapteridae, capturado en la cuenca del río San Juan; B. Ejemplar de *Sicydium* sp., Gobiidae, capturado en la cuenca del río Sixaola (fotografía de la Asociación ANAI)

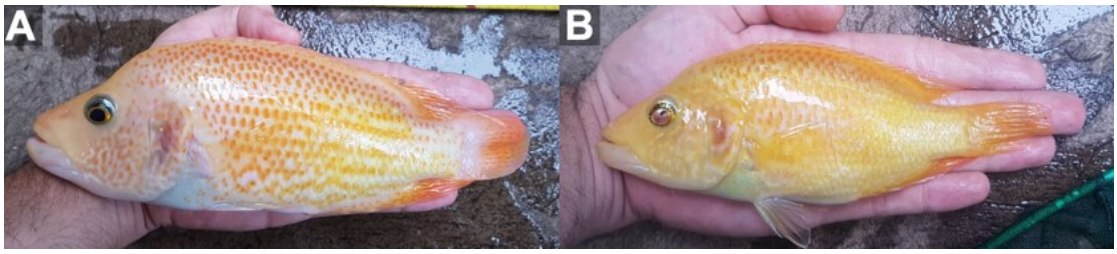

Fig. 5. Individuos parentales (A. Macho, 32cm LE; B. Hembra, 24cm LE) de *Parachromis dovii*, mantenidos en cautiverio y exhibiendo un patrón de coloración xantocrómico (A) y xantocrómico-albino ocular(B)

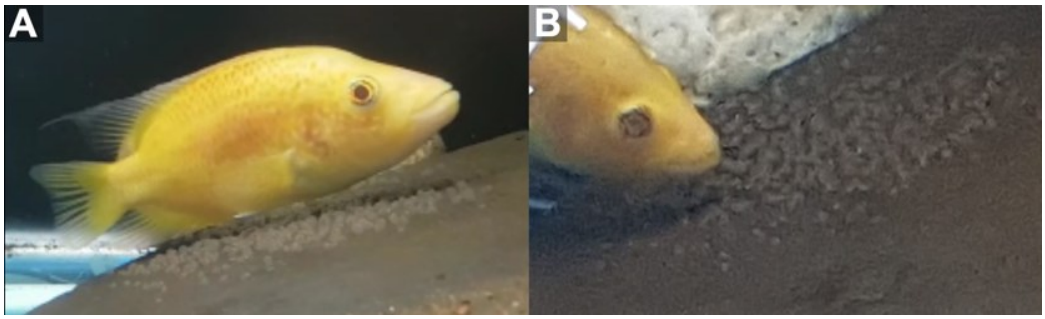

Fig. 6. Detalle de la puesta al 29 (A) y 30 (B) de marzo de 2020

OPEN ACCESS

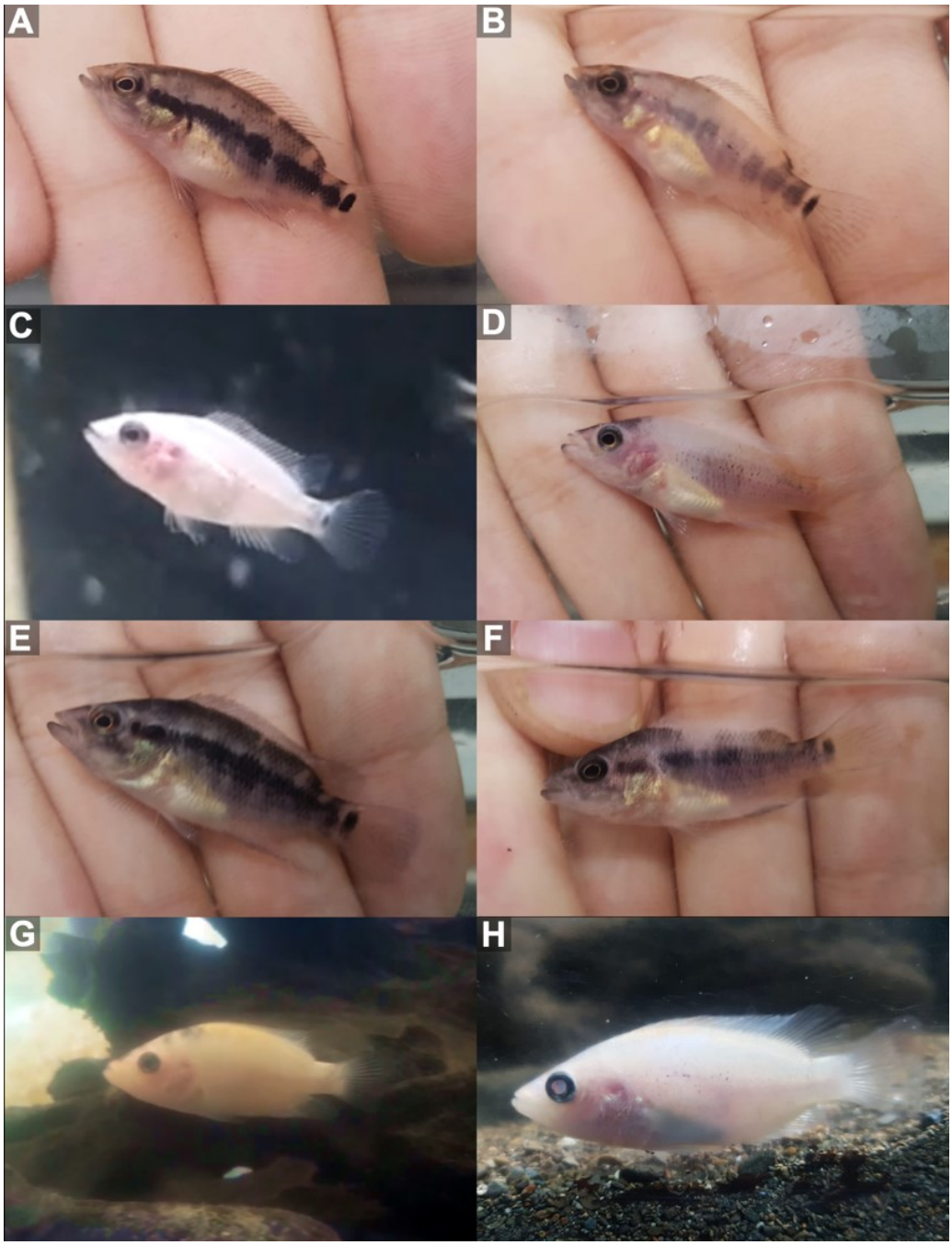

Fig. 7. Variación ontogénica y detalle de los diferentes patrones y estados de coloración observados en crías de *P. dovii* a partir de individuos parentales mostrando un patrón de coloración amelanínico, xantocrómico y xantocrómico-albino. A. Ejemplar de 2.4 cm de LT exhibiendo un patrón de coloración normal; B. Ejemplar de 2.2 cm LT con un patrón amelanínico parcial (coloración anormal); C. Ejemplar de 2.8 cm LT con un patrón amelanínico total; D. Ejemplar de 3.4 cm LT con un patrón amelanínico casi total, con pigmentación amarillenta-naranja en la porción caudal del cuerpo; E. Ejemplar de 4 cm LT con un patrón amelanínico parcial; F. Ejemplar de 3.8 cm LT con un patrón amelanínico parcial; G. Ejemplar de 4.2 cm LT exhibiendo un patrón xantocrómico total; H. Ejemplar de cerca de 5 cm LT con un patrón amelanínico oculocutaneo

OPEN ACCESS

Fig. 8. Variación individual en el patrón de coloración en ejemplares xantocrómicos y amelanínicos de *P. dovii* mantenidos en cautiverio. A y B. Macho parental de 32cm LE. C y D. Ejemplar de 12cm LE

DISCUSIÓN

Previo a este estudio solo se habían documentado casos de xantismo en dos especies de cíclidos, en ambientes naturales, en Costa Rica (Webber et al., 1976; Bussing 1998); con esta contribución ampliamos el número de registros a un total de cinco especies y una sexta potencial si se considera además el registro de la especie *H. nicaraguensis*. Durante el transcurso de esta investigación, se registraron casos adicionales para dos especies no Cichliformes lo cual amplia el espectro a un total de siete–ocho especies y tres familias (Webber et al., 1976; Bussing, 1998).

Entre las posibles causas de esta alteración/aberración se han sugerido, tanto en peces como en otros grupos de organismos, aspectos ecológicos [*e.g.*, una dieta rica en carotenoides (Leclercq et al., 2010) o deficiente en vitaminas C y E (Simon, Joyeux, & Gasparini, 2011), así como la hibridización interespecífica (Kijewska, Wiecaszek, Kalamarz-Kubiak, Szulc, & Sobecka, 2012)], patológicos [cromatoforomas (tumores compuestos por cromatóforos) o cromatóforos hiperplásicos (*e.g.*, Okihiro, 1993; Noga, 2010)], fisiológicos [*e.g.*, desbalances hormonales (Burton, 2010), siendo la epinefrina una de las más importantes (Irigoyen-Arredondo et al., 2018) y otros desordenes neuroendocrinos (Noga, 2010)] y genéticos [*i.e.*, mutaciones diversas y, usualmente, múltiples en uno o varios de los genes (usualmente recesivos) involucrados en (1) la formación, desarrollo y regulación de células pigmentarias, (2) la síntesis y producción de los diversos pigmentos cutáneos, y (3) la translocación y expresión de estos pigmentos, entre otros (Odenthal et al., 1996; Leclercq, 2010 et al.; Kijewska et al., 2012)]. Otros factores que han sido señalados como posibles causas o desencadenantes de tal afectación son las infecciones parasíticas (Irigoyen-Arredondo et al., 2018), la presencia de contaminantes (Macieira, Joyeux, Chagas, 2006; Irigoyen-Arredondo et al., 2018) o la presencia de heridas provocadas por otros organismos durante

interacciones antagónicas (Colman, 1972), no obstante, no se ha probado una correlación directa entre estas y la anomalía pigmentaria en cuestión. Para el caso específico de los registros aquí presentados consideramos que el factor genético es predominante, algo que constatamos con el ejercicio de reproducir individuos parentales con esta mutación, y que corresponde además con el bajo porcentaje de afectación/registros observados (según discutido más adelante). Por otro lado, en el ejemplar de *T. tuba* se observó además la presencia de trematodos parásitos (Fig. 3; posiblemente del género *Clinostomum*), siendo este un posible desencadenante de la aberración cromática observada, según mencionado anteriormente.

Webber et al. (1976) reportaron variaciones en el patrón de coloración en *Cichlasoma citrinellum* (válida actualmente como *Amphilophus citrinellus*) en lagos en Nicaragua y citan entre las posibles causas aspectos ecológicos (dieta) y genéticos, en concordancia con lo mencionado anteriormente. Entre los especímenes clasificados como "gold morph" (forma dorada), *i.e.*, aquellos presentando una coloración xantocrómica según lo definido en el presente estudio, estos autores definen además dos subcategorias: el "yellow morph" (amarillo) y el "orange morph" (naranja), los cuales difieren en la concentración cutánea de pigmentos del tipo α-Caroteno y Cantaxantina, y, por tanto, en el patrón de coloración general exhibido. Tal nivel de variación fue observado, de forma similar, en el caso de la especie *P. dovii*, especie para la cual registramos el mayor número de individuos con esta anomalía; en ese sentido, la predominancia de uno u otro color [amarillo o naranja, o la mezcla de ambos, así como la presencia de negro (melanina) y blanco (ausencia de pigmento)] podría, como discutido por Webber et al. (1976) y mencionado anteriormente, deberse a la acción conjunta de factores ecológicos (dieta) y genéticos (heredables), así como del estado "anímico/emocional¨ o reproductivo del individuo (variables no evaluadas en el presente estudio), considerando la capacidad o facilidad de los miembros de esta familia, entre otros, de alterar temporalmente sus patrones de coloración (Conkel, 1993; Bussing, 1998). Los casos ilustrados en la Fig. 6 son prueba, obtenida en este estudio, de ello.

Por otro lado, Webber et al. (1976) indican además que (en la región de los lagos de Nicaragua) la proporción de individuos xantocrómicos de *A. citrinellus* ronda el 8–10%. Considerando que varios de estos lagos, por su propia condición natural representan ambientes prácticamente cerrados al flujo génico, la (relativamente) alta proporción de individuos xantocrómicos podría ser indicativa de altos niveles de endogamia. En ese sentido, diversos autores trabajando en esta región, *e.g.* Barluenga & Meyer (2004), Barluenga, Stölting, Salzburger, Muschick, & Meyer (2006) y Elmer, Lehtonen, & Meyer (2009), han demostrado fuerte estructuración genética en poblaciones de esta especie, sugiriendo inclusive su separación como entidades evolutivas distintas, *i.e.*, un "complejo de especies" (dado el resultado de procesos/mecanismos de aislamiento y especiación simpátrica). Para la especie *P. dovii*, Bussing (1998) estimó en menos de 1% el porcentaje de individuos xantocrómicos en poblaciones naturales en el Caribe norte costarricense; lo cual corresponde con lo observado en especímenes preservados depositados en la colección ictiológica del MZUCR, en donde el porcentaje de casos observados equivale a un 0.2%. De igual forma, tras años de trabajo de campo (2009–2020) e inventarios ictiológicos, los autores de la presente contribución reportan escazas observaciones de individuos xantocrómicos (un único caso; Apéndice digital, Tabla 1). Interesante además es el caso de capturas recurrentes en áreas específicas del país, *e.g.*, San Carlos y Sarapiquí, lo cual podría soportar la idea de valores considerables (y localizados) de endogamia, favoreciendo la proliferación de esta anomalía, o la acción (en menor grado) de algún(os) otro(s) factor(es) "externo(s)" inductores o nocivos localizados (*e.g.*, la presencia de contaminantes o parásitos, disponibilidad de recursos alimenticios, etc.), según lo mencionado anteriormente.

En los dos ejemplares registrados de *P. managuensis* (Figs. 2G–H) se constató también la presencia de albinismo parcial, evidente dada la ausencia de melanina (pigmento que otorga una

coloración oscura) en el ojo y algunas porciones del cuerpo del animal, *i.e.*, albinismo del tipo oculo-cutaneo (Saunders, 2017); en el caso específico de estos ejemplares se observa además una pupila de color rojizo-naranja, característica usual en organismos albinos (Lechner & Ladich, 2011). Alteraciones duales (o múltiples, indicando diversos desordenes genéticos) a nivel cutáneo y ocular, modificando el patrón de coloración habitual de una especie, como en este caso particular, son poco frecuentes en la naturaleza; en peces se han reportado algunos casos similares en especies marinas, *e.g.*, *Epinephelus morio* – Serranidae en el Golfo de México (Moe, 1963), y dulceacuícolas, *e.g.*, *Hypothalamichthyes molitrix* – Cyprinidae en India (Pawar & Jawad, 2017); no obstante, desconocemos sobre la existencia de registros previos en especies habitando ambientes naturales en Costa Rica o la región, así como el origen y posibles afectaciones de esta doble anomalía. En la hembra parental (Fig. 4B) y varios de los ejemplares de *P. dovii* nacidos y criados en cautiverio, esta alteración dual (albinismo-xantismo) fue también evidente; la presencia de esta condición en parte de la progenie de esta hembra corrobora además el origen genético y la transmisibilidad de esta por mecanismos hereditarios (Lechner & Ladich, 2011; Saunders, 2017).

En mamíferos y peces se ha documentado además la asociación entre desordenes pigmentarios, como el albinismo y el xantismo, con impedimentos o problemas auditivos o de visión (Conlee, Parks, Romero, & Creel, 1984; Conlee, Abdul-Baqi, McCandless, & Creel, 1986; Conlee, Abdul-Baqi, McCandless, & Creel, 1988; Lezirovitz et al., 2006; Dutton et al., 2009); otros autores, por el contrario, refutan esta hipótesis, al menos para el caso específico de algunos grupos de peces óseos dulceacuícolas y el sentido de la audición en particular (Lechner & Ladich, 2011). En algunos de los ejemplares de *P. dovii* nacidos en cautiverio y presentando ojos de color rojizo-naranja (*i.e.*, con albinismo parcial, independientemente de presentar la condición de xantismo o no; condición heredada de la madre), se observaron también diversos comportamientos aberrantes o inusuales (*e.g.*, choques frecuentes contra las paredes del acuario u otras estructuras fijas, ataques por parte de otros peces sin reacción o evasión aparente y relativamente fácil captura utilizando redes de mano, así como la aparente no detección de alimento), los cuales sugieren alguna afectación a nivel de los sistemas auditivo o visual, esto al estar fuertemente involucrados en la espacio-percepción y el reconocimiento del hábitat/entorno (Lezirovitz et al., 2006; Saunders, 2017), soportando, parcialmente, lo expuesto con anterioridad (*i.e.*, la asociación entre tales desordenes pigmentarios y la presencia de problemas auditivos/visuales).

Resta discutir poco en relación con el ejercicio de reproducir ejemplares con esta anomalía pigmentaria, puesto que nuestro objetivo principal fue meramente descriptivo. Considerando no obstante que diversas variables externas, citadas como potenciales causantes o desencadenantes de esta anomalía, fueron controladas (*e.g.*, temperatura del agua, pH del agua, estresores externos) o eliminadas en su totalidad (*e.g.*, diferencias en la dieta, presencia de depredadores o contaminantes), reforzamos la idea de su origen genético. Por otra parte, en relación con la cría, cabe mencionar, además, que nuestros resultados, considerando el tamaño de los parentales (relativamente pequeños) y que las condiciones en las que se desarrolló esta fueron óptimas (Nonell, 2001), son comparables y acordes con los obtenidos por estudios previos evaluando, para esta especie en particular, tasas de crecimiento, desarrollo y supervivencia (Nonell, 1996; 2001; Méndez, 2016).

En la presente contribución se citan y discuten nuevos casos de xantismo en un grupo de peces dulceacuícolas de distribución neotropical y con importancia comercial (ornamental). Esto viene a incrementar nuestro nivel de conocimiento sobre la fauna íctica local, así como hace notar la influencia de factores endógenos y exógenos potencialmente alterando o afectando patrones cromáticos (e inclusive conductuales) con implicaciones, a nivel de individuo y en términos de supervivencia o reproductivos, potencialmente nocivas o negativas en ambientes naturales, según discutido por otros autores (Okihiro et al., 1993; Leclercq et al., 2010; Noga, 2010; Saunders, 2017);

algo que no pudimos corroborar en este estudio, y que de hecho, podría ser refutado parcialmente con nuestros resultados (dado que todos los individuos registrados corresponden a adultos o sub-adultos; *i.e*., alcanzaron la etapa reproductiva). Reforzamos también la idea del origen genético de esta(s) alteración(es) (si incluimos también el albinismo) y proveemos, por vez primera, datos sobre la variación ontogénica y el patrón heredado en especímenes presentando esta(s) anomalía(s). En ese sentido, y para finalizar, recomendamos la realización de nuevos estudios involucrando variables y aspectos fisiológicos, genéticos o conductuales lo cual, sin duda arrojaría resultados más concluyentes y apoyaría (o refutaría) algunas de las hipótesis o conjeturas planteadas en este estudio.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el apoyo del personal del Museo de Zoología, el Centro de Investigación en Biodiversidad y Ecología Tropical (CIBET) y el Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR) de la Universidad de Costa Rica. Agradecemos también a Carlos A. Garita-Alvarado, al personal de la Asociación ANAI y demás colegas y pescadores artesanales/aficionados que nos facilitaron las imágenes o videos a efectos de completar este trabajo. Esta investigación es en parte un resultado del proyecto: 808-C1-125: “Peces de las aguas continentales e insulares de Costa Rica: diversidad, distribución, sistemática, taxonomía y estado actual de conservación”, financiado por la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica, por medio del CIMAR.

ÉTICA, CONFLICTO DE INTERESES Y DECLARACIÓN DE FINANCIAMIENTO

Los autores declaran haber cumplido con todos los requisitos éticos y legales pertinentes, tanto durante el estudio como en el manuscrito; que no hay conflictos de interés de ningún tipo, y que todas las fuentes financieras se detallan plena y claramente en la sección de agradecimientos. Asimismo, están de acuerdo con la versión editada final del documento. El respectivo documento legal firmado se encuentra en los archivos de la revista.

La declaración de la contribución de cada autor al manuscrito es la siguiente: J.S.G.L.,: ideó el trabajo, recopiló los datos fotográficos, realizó el cruce de los ejemplares en cautiverio y recopiló los datos presentados semanalmente. Además, revisó el documento escrito y aportó diversas sugerencias para su mejora; A.A.,: redactó el manuscrito y editó y unió las fotografías, así como los datos recopilados por el primer autor.

REFERENCIAS

Allen, E. R., & Neill, W. T. (1953). A xanthic largemouth bass (*Micropterus*) from Florida. *Copeia 1953*(2), 116-117.

Angulo, A. (2013). Nombres comunes y técnicos de los peces de agua dulce de Costa Rica. *Revista de Filología y Lingüística de la Universidad de Costa Rica, 39*(2), 77-103.

Angulo, A., Garita-Alvarado, C. A., Bussing, W. A., & López, M. I. (2013). Annotated checklist of the freshwater fishes of continental and insular Costa Rica: additions and nomenclatural revisions. *Check List, 9*(5), 987-1019.

Balon, E. K. (2004). About the oldest domesticates among fishes. *Journal of Fish Biology, 65*(A), 1–27.

Barluenga, M., & Meyer, A. (2004). The Midas cichlid species complex: incipient sympatric speciation in Nicaraguan cichlid fishes?. *Molecular Ecology*, *13*(7), 2061-2076.

Barluenga, M., Stölting, K. N., Salzburger, W., Muschick, M., & Meyer, A. (2006). Sympatric speciation in Nicaraguan crater lake cichlid fish. *Nature*, *439*(7077), 719-723.

Béarez, P., Treviño, H., & Huamani, I. (2006). Un caso de xantismo parcial en *Aplodactylus punctatus* (Teleostei: Aplodactylidae) del sur de Perú. *Revista Peruana de Biología*, *13*(1), 113-115.

Burton, D. (2010). Flatfish (Pleuronectiformes) chromatic biology. *Reviews in Fish Biology and Fisheries, 20*(1), 31–46

Bussing, W. A. (1998). *Peces de las aguas continentales de Costa Rica*. San José: Editorial de la Universidad de Costa Rica.

Colman, J. A. (1972). Abnormal pigmentation in the sand flounder. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research, 6* (1-2), 208–213. DOI:10.1080/00288330.1977.9515419

Conkel, D. (1993). *Cichlids of North & Central America*. Nueva Jersey: TFH Publications.

Conlee, J. W., Parks T. N., Romero C., & Creel, D. J. (1984). Auditory brainstem anomalies in albino cats: II. Neuronal atrophy in the superior olive. *The Journal of Comparative Neurology, 225*(1), 141-148.

Conlee, J. W., Abdul-Baqi, K. J., McCandless, G. A., & Creel, D. J. (1986) Differential susceptibility to noise-induced permanent threshold shift between albino and pigmented guinea pigs. *Hearing Research, 23*(1), 81-91.

Conlee, J. W., Abdul-Baqi, K. J., McCandless, G. A., & Creel, D. J. (1988). Effects of aging on normal hearing loss and noise-induced threshold shift in albino and pigmented guinea pigs. *Acta Oto-Laryngologica, 106*(1-2), 64-70.

Dobosz, S. (2007). Xantoric variety of rainbow trout: Studies of inheritance and breeding value. *Archives of Polish Fisheries, 15*(1), 5-69.

Dutton, K., Abbas, L., Spencer, J., Brannon, C., Mowbray, C., Nikaido, M., Kelsh, R., & Whitfield, T. T. (2009). A zebrafish model for Waardenburg syndrome type IV reveals diverse roles for Sox10 in the otic vesicle. *Disease models & mechanisms*, *2*(1-2), 68-83.

Elmer, K. R., Lehtonen, T. K., & Meyer, A. (2009). Color assortative mating contributes to sympatric divergence of neotropical cichlid fish. *Evolution: International Journal of Organic Evolution*, *63*(10), 2750-2757.

Fricke, R., Eschmeyer, W. N., & Van der Laan, R. (2020). Eschmeyer's Catalog of Fishes: Genera, Species, References. Recuperado de: http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp.

Irigoyen-Arredondo, M. S., Escobar-Sánchez, O., Abitia-Cárdenas, L. A., Moreno-Sánchez, X. G., & Palacios-Salgado, D. S. (2018). Incidence of xanthism in the leopard grouper *Mycteroperca rosacea* (Perciformes: Serranidae) in the Gulf of California. *Marine Biodiversity*, *48*(4), 2255-2258.

Jawad, L. A., & Ibrahim, M. (2018). Partial xanthism and xanthic phenotype in two fish species from Jubail City, Arabian Gulf, Saudi Arabia. *Cahiers de Biologie Marine*, *59*(1), 37-42.

Kijewska, A., Wiecaszek, B., Kalamarz-Kubiak, H., Szulc, J., & Sobecka, E. (2012). Skin structure studies and molecular identification of the Atlantic cod *Gadus morhua* L. of unique golden pigmentation from the Svalbard Bank. *Journal of Applied Ichthyology, 28*(1), 60-65.

Lechner, W., & Ladich, F. (2011). How do albino fish hear?. *Journal of Zoology, 283*(3), 186–192. DOI: 10.1111/j.1469-7998.2010.00762.x

Leclercq, E., Taylor, J. F., & Migaud, H. (2010). Morphological skin colour changes in teleosts. *Fish and Fisheries, 11*(2), 159–193.

Lezirovitz, K., Nicastro, F.S., Pardono, E., Abreu-Silva, R.S., Batissoco, A.C., Neustein, I., Spinelli, M., & Mingroni-Netto, R. C. (2006). Is autosomal recessive deafness associated with oculocutaneous albinism a "coincidence syndrome"?. *Journal of Human Genetics, 51*(8), 716-720.

Macieira, R.M., Joyeux, J.C., & Chagas, L.P. (2006). Ambicoloration and morphological aberration in the sole *Achirus declivis* (Pleuronectiformes: Achiridae) and two other cases of color abnormalities in achirid soles from southeastern Brazil. *Neotropical Ichthyology, 4*, 287–290. DOI: 10.1590/S1679-62252006000200016

Méndez, A. C. (2016). Aspectos técnicos y ambientes a nivel de pre-factibilidad para la producción orgánica sostenible de guapote (*Parachromis managuensis* y *P. dovii)* y almeja de agua dulce (Mycetopodidae), en Jiménez de Pococí, Limón, Costa Rica. *Revista e-Agronegocios, 2*(2), 2-26.

Moe, M. A. (1963). Partial Albinism in a Xanthic Specimen of *Epinephelus morio* (Valenciennes) from the Gulf of Mexico. *Copeia, 1963*(4), 703. DOI: 10.2307/1440977

Noga, E.J. (2010). *Fish disease: diagnosis and treatment*. Iowa: Wiley Blackwell Inc.

Nonell, J. G. (1996). Crecimiento del guapote lagunero (*Cichlasoma dovii*) en régimen de cultivo intensivo en estanques y su dependencia de la densidad. *Uniciencia, 13*(1), 13-19.

Nonell, J. G. (2001). Efecto de la temperatura sobre el crecimiento de juveniles del guapote lagunero (*Parachromis dovii*). *Uniciencia*, *18*(1), 53-55.

Odenthal, J., Rossnagel, K., Haffter, P., Kelsh, R. N., Vogelsang, E., Brand.,… Nusslein-Volhard, C. (1996). Mutations affecting xanthophore pigmentation in the zebrafish, *Danio rerio*. *Development, 123*(1), 391-398.

Okihiro, M. S., Whipple, J. A., Groff, J. M., & Hinton, D. E. (1993). Chromatophoromas and chromatophore hyperplasia in Pacific rockfish (*Sebastes* spp.). *Cancer Research, 53*(8), 1761-1769.

Pawar, R.T., & Jawad, L.A. (2017) First Report of a xanthic phenotype of the Silver Carp, *Hypothalamichthyes molitrix* (Valenciennes, 1844) (Teleostei: Cyprinidae) from Maharashtra Fish Seed Production Centre, India. *International Journal of Aquaculture*, 7(715), 101-105. DOI: 10.5376/ija.2017.07.0015

Quigley, D. T. G., Lord, R., MacGabhann, D., & Flannery, K. (2017). First records of xanthochromism in three-bearded rockling *Gaidropsarus vulgaris* (Cloquet 1824) and pollack *Pollachius pollachius* (Linnaeus 1758). *Journal of Applied Ichthyology, 33*(6), 1208-1210.

Saunders, W.B. (2017) Diseases of the skin, eye, conjunctiva, and external ear. En P. D. Constable, K. W. Hinchcliff, S. H. Done, & W. Grünberg (Ed), *Veterinary Medicine*, (pp 1540-1661). Elsevier. DOI: 10.1016/B978-0-7020-5246-0.00016-4.

Simon, T., Joyeux, J. C. & Gasparini, J. L. (2011). Are melanic coney *Cephalopholis fulva* getting common? *Marine Biodiversity Records, 4*, e51. DOI:10.1017/S1755267211000455

Webber, R., Barlow, G. W., & Brush, A. H. (1976). Pigments of a color polymorphism in a cichlid fish. *Comparative Biochemistry & Physiology,* 44(B)*,* 1127-1135.

OPEN ACCESS