

ANOFTALMIA EN ANUROS DE LATINOAMÉRICA: NUEVO CASO EN COLOMBIA, ESTADO DEL CONOCIMIENTO Y PERSPECTIVAS PARA LA CONSERVACIÓN

ANOPHTHALMIA IN ANURANS OF LATIN AMERICA: NEW CASE IN COLOMBIA, STATE OF KNOWLEDGE AND PERSPECTIVES FOR CONSERVATION

Daniel Enrique Espitia-Sanabria¹, Iván Camilo Pineda-Infante¹, Pamela Patiño Salazar¹ & Sebastián Cortés-Gallo^{1*}

¹Grupo de Ecología y Diversidad de Anfibios y Reptiles, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Caldas, Calle 65 # 26-10, A. A. 275, Manizales, Colombia.

*Correspondence: sebastiancg.9603@gmail.com

Received: 2024-06-15. Accepted: 2024-10-29. Published: 2025-03-10.

Editor: María Laura Ponssa, Argentina.

Resumen.— La anofthalmia es una anomalía ocular que se presenta con baja frecuencia en poblaciones de anuros en todo el mundo. En Latinoamérica, existen muy pocos casos reportados en la literatura y existen vacíos de conocimiento en torno a las causas potenciales que pueden estar ocasionando esta anomalía. En este artículo ofrecemos una revisión y análisis de los casos reportados de anofthalmia en anuros para Latinoamérica, identificando posibles causas y dando una perspectiva para la conservación. Además, presentamos el primer caso documentado de anofthalmia en *Leucostethus* aff. *fraterdanieli* (Dendrobatidae) para Colombia. Se recopiló información en las bases de datos Scopus y Google Scholar, obteniendo 27 trabajos con más de 88 registros totales de anofthalmia unilateral y bilateral en anuros de diferentes etapas de desarrollo. Se obtuvo información para 32 especies y un híbrido, producto de un cruce entre *Rhinella diptycha* x *Rhinella arenarum*, siendo Bufonidae y Brasil, respectivamente, la familia y el país con la mayor cantidad de registros de esta anomalía. La contaminación por agroquímicos y la hibridación son las dos únicas causas comprobadas asociadas a la aparición de la anofthalmia, mientras que la radiación UV-B, endogamia, mutaciones, entre otras, son causas potenciales que se deben evaluar a profundidad. Esta anomalía puede provocar cambios a nivel comportamental y fisiológico que acarrear efectos negativos como cambios en la estrategia de forrajeo y mayor vulnerabilidad hacia la depredación, afectaciones que se deben tener en cuenta en futuros planes y estrategias de conservación.

Palabras clave.— Anormalidad ocular, anfibios, conservación, revisión.

Abstract.— Anophthalmia is an ocular abnormality that occurs infrequently in anuran populations worldwide. In Latin America, there are very few reported cases in the literature and there are gaps in knowledge about the potential causes that may be causing this anomaly. In this article we offer a review and analysis of the reported cases of anophthalmia in anurans from Latin America, identifying possible causes and giving a perspective for conservation. In addition, we present the first documented case of anophthalmia in *Leucostethus* aff. *fraterdanieli* for Colombia. Information was collected in the Scopus and Google Scholar databases, obtaining 27 papers with more than 88 total records of unilateral and bilateral anophthalmia in anurans of different stages of development. Information was obtained for 32 species and one hybrid, the product of a crossing between *Rhinella diptycha* x *Rhinella arenarum*, with Bufonidae and Brazil, respectively, the family and country with the largest number of records of this anomaly. Agrochemical contamination and hybridization are the only proven causes associated with the appearance of anophthalmia. At the same time, UV-B radiation, inbreeding, mutations, among others, are potential causes that must be evaluated in depth. This anomaly can cause behavioral and physiological changes that have negative effects such as changes in foraging strategy and increased vulnerability to predation, which should be taken into account in future conservation plans and strategies.

Keywords.— Amphibians, conservation, ocular abnormality, review.

INTRODUCCIÓN

El aumento en el número de anfibios con anomalías morfológicas reportados en la literatura durante las últimas dos décadas ha generado una considerable preocupación entre los investigadores de todo el mundo (Blaustein & Johnson, 2003; Henle et al., 2017; Gobel et al., 2022). Estas anomalías son el resultado de defectos estructurales producidos por una mutación, trauma o errores producidos en las primeras etapas de desarrollo de los anfibios (Blaustein & Johnson, 2003). Entre las anomalías más comunes reportadas en anuros podemos encontrar: malformaciones en las extremidades (e.g., polidactilia); vértebras (e.g., cifosis); zona ocular (e.g., anoftalmia) (Meteyer, 2000; Lannoo, 2008; Henle et al., 2017). Sin embargo, aún no se tiene certeza del efecto de estas anomalías sobre la historia de vida de las especies afectadas.

La anoftalmia es una anomalía ocular relativamente común en poblaciones naturales de anuros (e.g., Ramalho et al., 2017; Brassaloti & Bertoluci, 2018; Cortés-Suárez, 2018; Morales-Flores et al., 2021). Esta se reconoce por la ausencia de uno o ambos globos oculares, dejando una depresión en la órbita cubierta por piel (Ganesh & Arumugam, 2015). Las causas potenciales asociadas a la anoftalmia son diversas y pueden estar relacionadas con alteraciones congénitas (Mitchell & Georgel, 2005; Ramalho et al., 2017), genéticas (Sánchez-Domene et al., 2018), carcinoma de tiroides (Cheong et al., 2000), contaminantes químicos (Bacon et al., 2006; Mantecca et al., 2007; Bacon et al., 2013; Sousa & Costa-Campos, 2017), endogamia (Williams et al., 2008), enfermedades infecciosas (Burton et al., 2008), hibridación (Mable & Rye, 1992; Rengel et al., 1994), parasitismo (Johnson et al., 2002; Roberts & Dickinson, 2012), radiación ultravioleta (Fite et al., 1998; Bacon et al., 2013), entre otras. Así mismo, puede ser el resultado de efectos sinérgicos (Toledo & Ribeiro, 2009) que, por ejemplo, pueden involucrar factores como los agroquímicos y la radiación UV-B (Hernández-Jaúregui & Chacón-Juárez, 2021). La ausencia del órgano visual es altamente perjudicial y puede poner en peligro la supervivencia de los individuos que la presentan (Ramalho et al., 2017). Su pérdida impacta negativamente la percepción espacial (orientación y profundidad), la evitación ante la depredación, ubicación y selección de presas (Rengel et al., 1994; Tolledo & Toledo, 2015). Además, puede afectar otros aspectos de la historia natural como el cortejo y la territorialidad, comportamientos que pueden estar muy influenciados por la visión (Toledo et al., 2007).

El impacto de la anoftalmia en poblaciones de anuros ha sido bien documentado en Norteamérica, Europa y Asia (Henle et al., 2017). En Latinoamérica existen pocos casos registrados

y han sido publicados principalmente como notas breves de un solo evento (e.g., Souza & Costa-Campos, 2017; Cortés-Suárez, 2018; Castro-Torreblanca & Blancas-Calva, 2021), y sólo algunos artículos evalúan y discuten el impacto de esta anomalía a nivel poblacional, postulando posibles causas asociadas (Rengel et al., 2014; Guerra & Aráoz, 2016). En este trabajo presentamos el primer caso documentado de anoftalmia en *Leucostethus* aff. *fraterdanieli* en Colombia. Además, recopilamos y analizamos los casos reportados de anoftalmia en anuros de Latinoamérica, identificando sus posibles causas y discutiendo las implicaciones para la conservación de las especies afectadas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El 08 de noviembre de 2022 a las 12:24 h se observó de manera fortuita un individuo adulto de *Leucostethus* aff. *fraterdanieli* con ausencia de su ojo izquierdo (Fig. 1), anomalía conocida como anoftalmia (Meteyer, 2000). El individuo fue encontrado muerto en un área cercana al parqueadero del Jardín Botánico de la Universidad de Caldas (5.056743° N, 75.494305° W, 2,100 m s.n.m.) en la ciudad de Manizales, departamento de Caldas, Colombia. El espécimen fue recolectado para su registro fotográfico; posteriormente fue fijado con una solución de formol al 10 %, preservado en alcohol etílico al 70 % (Aguirre-León, 2011) y depositado en el Museo de Historia Natural de la Universidad de Caldas (MHN-UCa 1585). A partir de este hallazgo, y con la finalidad de recopilar los casos de anoftalmia reportados en anuros de Latinoamérica e hipotetizar sobre las posibles causas, realizamos una revisión de literatura. Para esto utilizamos bases de datos como Scopus (<https://www.scopus.com/home.uri>) y Google Scholar (<https://scholar.google.es/schhp?hl=es>), abarcando todas las publicaciones hasta el 12 de julio de 2024. Usamos la siguiente combinación de palabras clave: (“anophthalmia” OR “eye malformation” OR “eye anomaly” OR malformation* OR anomal*) AND (anura* OR amphibian* OR tadpole* OR frog* OR toad*) AND (“South America” OR “Central America”). También utilizamos las referencias de los artículos seleccionados para buscar documentos adicionales.

En esta búsqueda excluimos documentos de literatura gris como trabajos de grado y reportes/observaciones personales. A cada trabajo seleccionado se le extrajeron las siguientes variables: 1. Familia y especie (siguiendo a Frost, 2024); 2. Número de individuos afectados; 3. Etapa de desarrollo (i.e., renacuajo, metamorfo/juvenil y adulto); 4. Tipo de anoftalmia (i.e., unilateral o bilateral); 5. Ojo afectado (i.e., derecho o izquierdo). Definimos el lado afectado utilizando las figuras proporcionadas



Figure 1. Adult individual of *Leucostethus* aff. *fraterdanieli* in lateral view with anophthalmia in the left eye. Photo: Iván Camilo Pineda-Infante.

Figura 1. Individuo adulto de *Leucostethus* aff. *fraterdanieli* en vista lateral con anoftalmia en el ojo izquierdo. Foto: Iván Camilo Pineda-Infante.

en los documentos, observando a los individuos desde una vista dorsal. Destinamos la categoría “no especificado” cuando no era posible conocer la orientación; 6. Causa determinada; 7. Causa potencial; 8. País; 9. Categoría de amenaza según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN, 2024); 10. Tipo de documento (i.e., libro, artículo, nota).

RESULTADOS

Además de nuestra observación, encontramos 27 trabajos distribuidos en 22 notas y cinco artículos con más de 88 registros totales de anoftalmia unilateral y bilateral reportados en renacuajos, metamorfos, juveniles y adultos (Apéndice 1). Los registros bibliográficos y nuestra observación abarcaron 32 especies y un híbrido, producto de un cruce entre *Rhinella diptycha* x *Rhinella arenarum*, distribuidos en siete familias, siendo Bufonidae la familia con el mayor número de registros (Fig. 2). La anomalía se ha reportado con mayor frecuencia en Brasil, seguido de Argentina, Colombia, México, Costa Rica y Panamá (Fig. 3).

La primera publicación de un caso de anoftalmia en Latinoamérica aparece a mediados de la década de los 90's (Fig.

4). Posteriormente, no se tuvo información de esta anomalía en la región hasta finales de la década siguiente, marcando el inicio de una serie de publicaciones casi anuales. El año 2021 presentó un incremento importante de publicaciones, siendo el primer pico histórico de información relacionada con esta anomalía ocular para Latinoamérica con seis trabajos (Apéndice 1; Fig. 4).

La mayoría de los registros se basan en encuentros accidentales donde las causas asociadas a este tipo de anomalía no son claras. Solo dos trabajos lograron atribuir la causa de la anoftalmia a agroquímicos (Guerra & Aráoz, 2016) e hibridación (Rengel et al., 1994). En los demás reportes los factores causantes fueron desconocidos, estableciendo como causas potenciales a los agroquímicos, el desarrollo anormal (congénito), endogamia, mutaciones naturales, radiación ultravioleta, minería y a otras actividades antropogénicas (Apéndice 1).

DISCUSIÓN

La anoftalmia reportada en este trabajo constituye el primer registro de esta anomalía sobre una especie de la familia Dendrobatidae (Fig.1). Entre las causas potenciales resaltamos el posible efecto del uso de agroquímicos (e.g., insecticidas) en

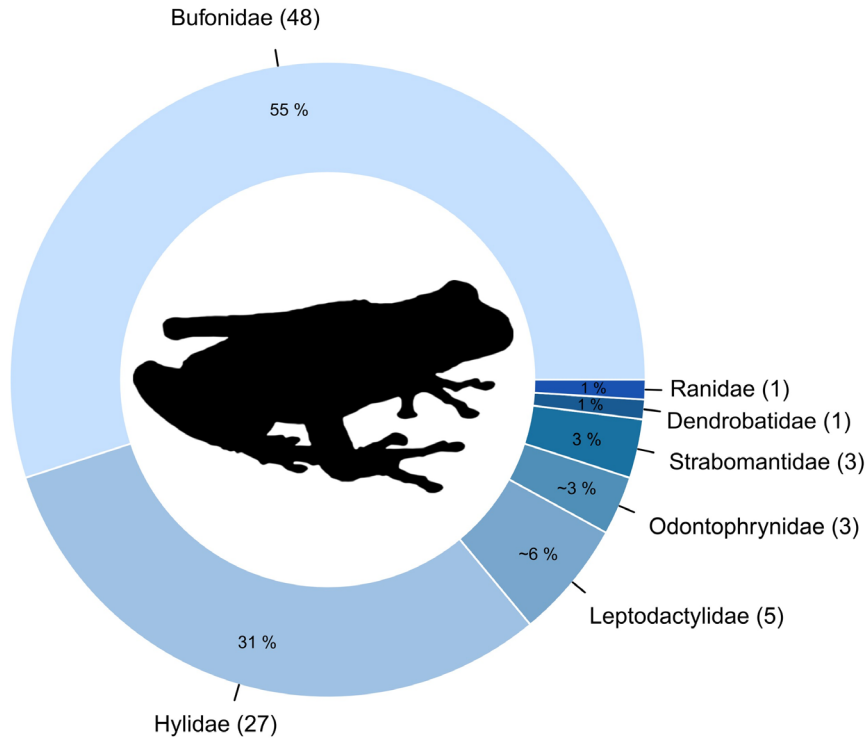


Figure 2. Number of records of anophthalmia in anuran families present in Latin America.

Figura 2. Número de registros de anofthalmia en familias de anuros presentes en Latinoamérica.

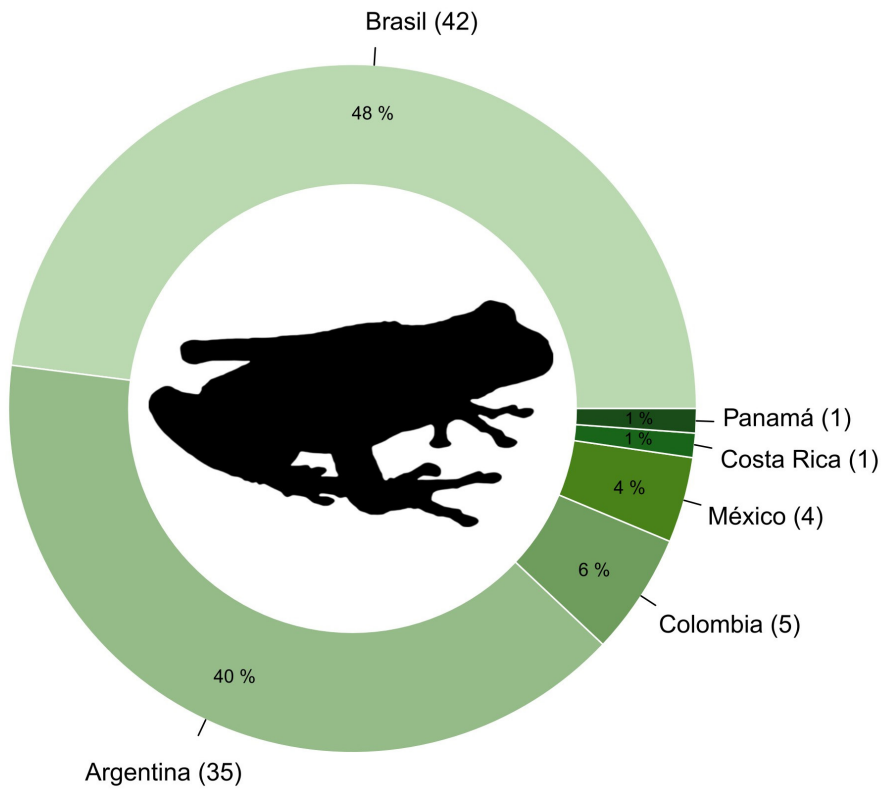


Figure 3. Number of anophthalmia records in anurans from Latin America.

Figura 3. Número de registros de anofthalmia en anuros de Latinoamérica.

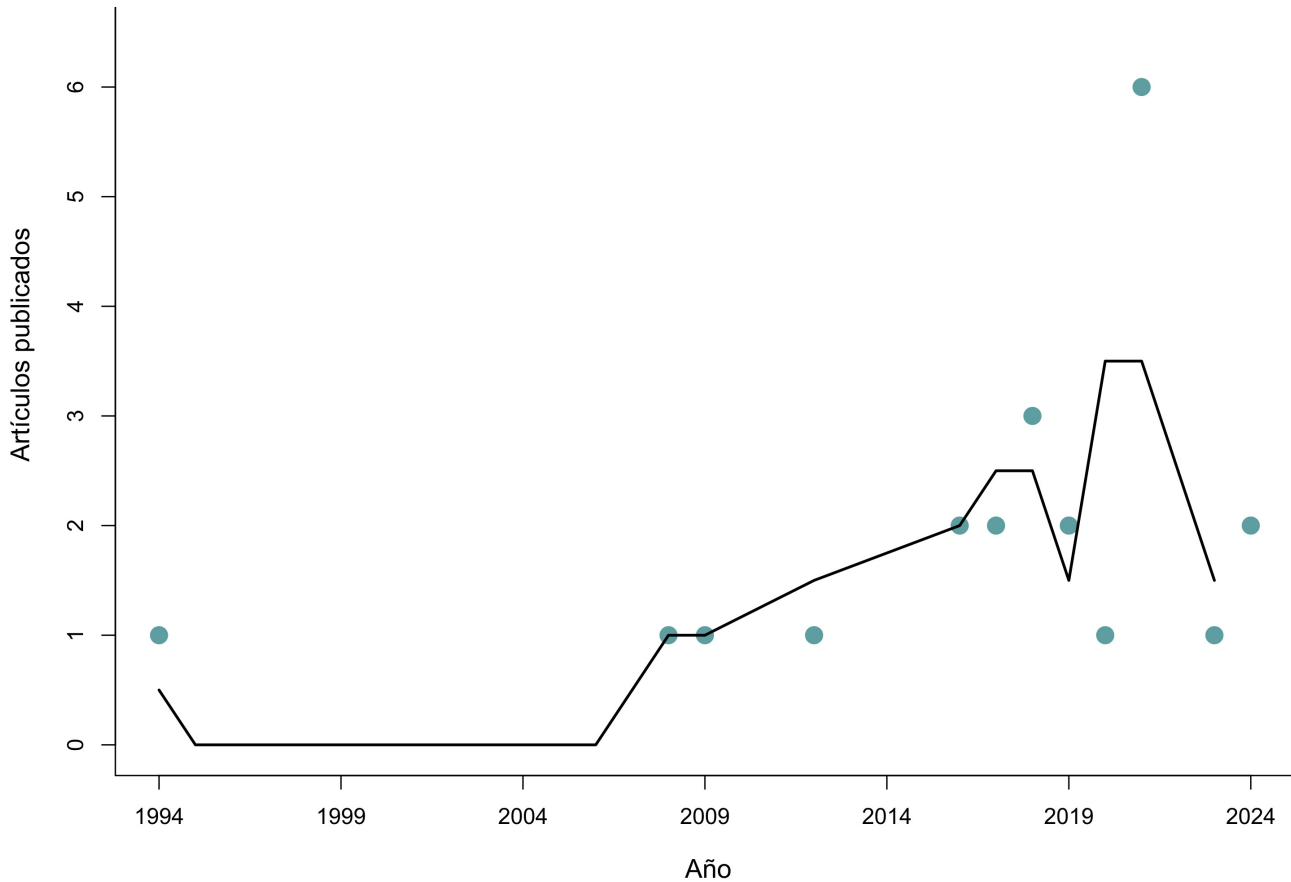


Figure 4. Temporal pattern of publications reporting anophthalmia in anurans for Latin America.

Figura 4. Patrón temporal de publicaciones que reportan anoftalmia en anuros para Latinoamérica.

cultivos destinados a prácticas académicas, situados cerca de donde se encontró el espécimen (Pineda-Infante, obs. pers.). Los diferentes agroquímicos utilizados en estas prácticas, se aplican en forma de polvo sobre las plantas para controlar la proliferación de diferentes plagas. En este sentido, hipotetizamos que estas partículas se puedan estar propagando por corrientes de viento (Gupta Vakil et al., 2022), entrando en contacto con cuerpos de agua y afectando directamente el desarrollo de los individuos (Guevara-Molina et al., 2017). Un dato adicional que podría apoyar esta hipótesis, es la ocurrencia de otras anomalías anatómicas encontradas en esta población de *Leucostethus aff. fraterdanieli* como microftalmia o polifalangia (Meteyer, 2000; Espitia-Sanabria & Cortés-Gallo, obs. pers.).

En general, los reportes de casos de anoftalmia en anuros para Latinoamérica son escasos en comparación a otras regiones del mundo (ver Figura 2 en Henle et al., 2017). Esta región contiene siete hotspots de anomalías reconocidos previamente (Henle et al., 2017), destacando países como Argentina y Brasil. Estos

países también presentan el mayor número de casos registrados de anoftalmia en anuros (Apéndice 1). Esto es posiblemente debido a que son los países con mayor producción científica en América Latina (González-Parías et al., 2022) y un mayor número de investigadores activos; lo que implicaría mayor probabilidad de encuentros con esta anomalía. Por otro lado, el único pico de registros de anoftalmia encontrado en este trabajo estuvo presente en el año 2021 (Fig. 4). Esto podría estar relacionado con la pandemia del COVID 19 (SARS-CoV-2), situación que pudo llevar a muchos investigadores a publicar estos casos fortuitos que de otro modo podrían haber pasado desapercibidos.

A pesar de que el registro de anomalías en la etapa larval en algunas poblaciones de anfibios suele ser más frecuente que en los adultos (Bacon et al., 2013), la mayoría de los casos de anoftalmia encontrados en esta revisión fueron reportados en esta última etapa (e.g., Carvalho et al., 2008; Aréchaga Ocampo & Roa Mata, 2022). Existe evidencia de que las anomalías presentes en individuos que superan la metamorfosis son menos

evidentes en comparación con sus contrapartes larvales (Bacon et al., 2013). Posiblemente esta sea la razón de la baja tasa de reportes de esta anomalía para adultos afectados. Sin embargo, no descartamos la idea que estas larvas anómalas experimenten mayores tasas de depredación por su condición, resultando en muy pocos adultos afectados.

En esta revisión se encontraron algunas causas potenciales asociadas a la anoftalmia reportadas por diferentes autores en Latinoamérica. A continuación, se presenta una breve discusión de cada una de ellas:

Agroquímicos

Los agroquímicos son conocidos por afectar a los anuros en etapas tempranas de desarrollo (Gurushankara et al., 2007; Agostini et al., 2013; Wagner et al. 2017; Borges et al., 2019) y por provocar daños genéticos (Rudek & Rozek, 1992; Vera Candioti et al., 2010) que pueden resultar en anomalías como la anoftalmia (Blaustein & Johnson, 2003). En Latinoamérica son la principal causa potencial asociada con los casos de anoftalmia registrados en anuros (e.g., Carezzano et al., 2016; Sierra-Serrano et al., 2023), esto podría deberse al aumento en el uso de agroquímicos, como pesticidas y herbicidas, desde la década de los 90's hasta la actualidad; algunos países como Argentina, Belice, Brasil y Ecuador figuran entre los 10 países con mayor uso de estos agroquímicos (FAO, 2022).

A pesar de esto, en apenas un trabajo se ha comprobado la asociación entre la anoftalmia y el uso de agroquímicos (Guerra & Araújo, 2016), por lo que se requieren estudios adicionales que confirmen su presencia en los lugares donde se han reportado los casos (e.g., Carezzano et al., 2016; Cortés-Suárez, 2018) y de experimentos que corroboren dicha asociación, particularmente en ambientes acuáticos donde, según Sousa y Costa-Campos (2017), los agroquímicos pueden afectar en gran medida el desarrollo de los anuros.

Hibridación

La hibridación puede inducir a una variedad de anomalías morfológicas en anuros dentro de las cuales se encuentra la anoftalmia (Mable & Rye, 1992; Christiansen et al., 2005). En Latinoamérica, apenas un estudio ha asociado la hibridación con la anoftalmia (Rengel et al., 1994). Aunque no se ha confirmado directamente esta asociación, se conoce que este factor influye directamente en la sobreexpresión de algunos genes durante la transdiferencia (TD) entre la córnea y el lente en la formación de la retina en los ojos (Mizuno et al., 1999; Cannata et al., 2003; Medina-Martínez et al., 2005; Henry et al., 2022), lo que podría resultar en este tipo de anomalía. Otra posible relación

la podemos encontrar en el gen Pax-6, el cual se expresa durante el desarrollo temprano del ojo en los tejidos oculares de todos los vertebrados, controlando una serie de pasos críticos en la formación del ojo (Graw, 1996; Chow et al., 1999; Mathers & Jamrich, 2000). En algunos estudios se ha demostrado que a través de la hibridación experimental de anuros es posible afectar directamente este gen que, a su vez, se encuentra fuertemente relacionado con anomalías oculares como la anoftalmia (Hever et al., 2006; Filoni, 2009; Matías-Pérez et al., 2017). Esta posible relación entre la hibridación y la anoftalmia en anuros debe ser tomada con cuidado y explorada con mayor profundidad para corroborar si la sobreexpresión de estos genes relacionados con el desarrollo del ojo está involucrada completamente.

Endogamia

La endogamia también se ha propuesto como posible causa de la anoftalmia en anfibios, aunque no se ha logrado comprobar como un mecanismo causal (Williams et al., 2008). Cuantificar la depresión endogámica en poblaciones naturales es notoriamente difícil (Keller & Waller, 2002; Caballero et al., 2021), lo que impide asociarla como causa de esta anomalía. A pesar de esto, algunos autores la proponen como causa principal de los casos de anoftalmia presentes en poblaciones pequeñas y aisladas de *Itapotihyla langsdorfii* e *Isthmohyla graceae* en Brasil y Panamá, respectivamente (De Azevedo & Leivas, 2021; Morales-Flores et al., 2021). Sin embargo, es necesario confirmar dicha asociación y evaluar si la depresión endogámica tiene mayores efectos en poblaciones aisladas de anuros.

Mutaciones

Mutaciones en los genes Pax-6 (Glaser et al., 1994; Verma & FitzPatrick, 2007) y RAX (Voronina et al., 2004; Verma & FitzPatrick, 2007) se han asociado con diferentes anomalías oculares incluida la anoftalmia en anfibios (Fish et al., 2014; Nakayama et al., 2015). En Latinoamérica, este factor se ha propuesto como una posible causa de anoftalmia en *Odontophrynus carvalhoi* y *Scinax fuscovarius* presentes en Brasil (Brito et al., 2011; Sánchez-Domene et al., 2018), sin embargo, como la evidencia es limitada, es crucial confirmar esta asociación. Estudios que apunten a determinar el gen o genes involucrados, nos ayudarían a comprender los procesos subyacentes que conllevan a la anoftalmia en anuros y cómo otros factores responsables de mutaciones (e.g., agroquímicos y radiación UV-B) favorecen la aparición de esta anomalía.

Radiación ultravioleta (UV-B)

La radiación UV-B ha sido catalogada como una causa potencial de disminución de la población de anfibios y aumento de la incidencia de anomalías (Blaustein et al., 1995; Blaustein

& Johnson, 2003). En el caso reportado de *Smilisca baudinii* en México, las causas probables consideraron a la radiación ultravioleta, sin mayor detalle (Hernández-Jaúregui & Chacón-Juárez, 2021). Se tiene evidencia de la relación entre el aumento de la radiación UV-B, la disminución de poblaciones de anfibios y un aumento considerable en la tasa de anomalías en anfibios alrededor del mundo (Middleton et al., 2001; Henle et al., 2017). Este hecho es preocupante y resalta una amenaza inmediata para las poblaciones de anfibios, ya que estos efectos podrían ser intensificados por acción del cambio climático acelerado (Forster et al., 2024). En un escenario futuro, podríamos hablar de un aumento en el porcentaje de anomalías presentes en poblaciones naturales (> 5 %) (Blaustein & Johnson, 2003) o anomalías más severas.

Minería

La contaminación por metales pesados se ha asociado con diferentes tipos de anomalías en anuros (Flyaks & Borkin, 2004; Bacon et al., 2013), sin embargo, hasta donde sabemos, ningún trabajo ha logrado confirmar su asociación con casos de anoftalmia. En Latinoamérica, sólo un trabajo sugirió que la anoftalmia presentada por un individuo de *Smilisca baudinii* en México se podía deber a alteraciones previas causadas por actividad minera (Aréchaga Ocampo & Roa Mata, 2022). Se requieren estudios que confirmen esta asociación, como se ha hecho en otros vertebrados como peces (e.g., Weis & Weis, 1977) y reptiles (e.g., Simoniello et al., 2014). También sería interesante evaluar los efectos sinérgicos entre los contaminantes químicos derivados de las actividades mineras junto a variables como la radiación UV-B y su relación con la aparición de la anoftalmia en anuros. Se sugiere que estas dos variables en conjunto pueden inducir anomalías en otras áreas del cuerpo por medio de la fotoactivación de algunos contaminantes químicos (Bacon et al., 2013).

Ausencia congénita

Cuando no hay hibridación y las causas de la anoftalmia no se pueden asociar con la presencia de agroquímicos u otro factor potencial en el ambiente, algunos autores proponen causas congénitas (Mitchell & Georgel, 2005; Ramalho et al., 2017). Este factor lo proponen como causa principal de los casos presentes en dos individuos de la especie *Boana fasciata* y en un individuo de *Osteocephalus lepreurii* en Brasil (Ramalho et al., 2017). Sin embargo, no descartaron completamente otras causas como la degradación ambiental y enfermedades infecciosas. Esta causa potencial se encuentra asociada estrechamente a la tasa natural de mutación de los organismos, por lo que se requieren estudios adicionales que confirmen su asociación con la anoftalmia.

Implicaciones ecológicas de la anoftalmia

La mayoría de los casos encontrados en esta revisión son observaciones accidentales que no proporcionan información sobre las implicaciones de esta anomalía para la supervivencia de los anuros. Dado que las consecuencias aún no se comprenden completamente, presentamos una pequeña discusión preliminar sobre el tema. La visión es uno de los sentidos más importantes para los anuros en todas las etapas de desarrollo, y su pérdida puede impactar negativamente su historia de vida (Ingle, 1976). Algunos trabajos sugieren que la limitación en el campo visual no parece comprometer la capacidad de búsqueda de pareja, pues la aparición de algunos amplexos con individuos en estas condiciones es algo común, por lo menos en zonas insulares donde la tasa de depredación es más baja en comparación al continente (Bacon et al., 2006; Toledo & Ribeiro, 2009). Sin embargo, otros aspectos como las estrategias de forrajeo pueden verse levemente afectadas y acarrear efectos negativos sobre los individuos. Existe evidencia de cómo los individuos afectados (de forma parcial o total) pueden recurrir a otros sentidos para localizar a sus presas. Por ejemplo, Tolledo y Toledo (2015) registraron un cambio comportamental (y su reflejo en la composición de la dieta) en *Rhinella diptycha*, que pasó de ser un forrajeador activo y nocturno, a comportarse como un forrajeador pasivo (estrategia sit-and-wait) orientado por señales táctiles, cuando se encontraban privados de la visión por una anomalía. La estrategia de forrajeo pasivo impidió a los individuos depredar una adecuada cantidad de presas, disminuyendo su condición corporal y esfuerzo reproductivo (Tolledo & Toledo, 2015). En futuros trabajos sería interesante evaluar qué otros cambios a nivel ecológico o comportamental podrían exhibir los individuos afectados por la anoftalmia y cómo éstos repercuten a nivel individual y/o poblacional.

CONCLUSIÓN

A grandes rasgos, la anoftalmia no parece constituir una amenaza particularmente grave para los anuros, no obstante, desconocemos su efecto en muchos otros aspectos de la historia de vida de las especies tales como su capacidad de dispersión, comportamiento antidepredatorio, elección de sitios de oviposición, entre otras. Los reportes de anoftalmia han aumentado en los últimos años en Latinoamérica, pero sin mayor información relacionada a las causas reales que conllevan a esta anomalía. En general, se tiene registro de algunos documentos acerca de la anoftalmia en anuros, siendo Brasil y Bufonidae, el país y la familia, respectivamente, con el mayor número de casos reportados. Es importante resaltar la necesidad de realizar investigaciones más profundas, destinadas a documentar la prevalencia de estas anomalías en poblaciones

naturales de anuros, enfatizando en aquellos reportes en especies amenazadas (Morales-Flores et al., 2021; Bland & McLaren, 2023). Si la anoftalmia constituye una amenaza para los anuros, se debería considerar su importancia en la formulación de futuros planes o estrategias de conservación.

Agradecimientos.—Agradecemos al Museo de Historia Natural de la Universidad de Caldas (MHN-UCa) por permitirnos depositar tan importante registro en su colección de anfibios.

LITERATURA CITADA

- Agostini, M.G., F. Kacoliris, P. Demetrio, G.S. Natale, C. Bonetto & A.E. Ronco. 2013. Abnormalities in amphibian populations inhabiting agroecosystems in northeastern Buenos Aires Province, Argentina. *Diseases of Aquatic Organisms* 104:163-171.
- Aguirre-León, G. 2011. Métodos de estimación, captura y contención de anfibios y reptiles. Pp. 63-84. En S. Gallina & C. López-González (Eds.), *Manual de técnicas para el estudio de la fauna*. Universidad Autónoma de Querétaro, Instituto de Ecología, A.C. Querétaro, México.
- Aréchaga Ocampo, S. & M.F. Roa Mata. 2022. *Smilisca baudinii* (Mexican Treefrog). Anophthalmia. *Herpetological Review* 53:111.
- Ascoli Morrete, T., E. Signor, M. Santos Pereira & N. Zanella. 2019. Morphological abnormalities in anurans from southern Brazil. *Austral Ecology* 44:1025-1029.
- Bacon, J.P., D.W. Linzey, R.L. Rogers & D.J. Fort. 2006. Deformities in cane toad (*Bufo marinus*) populations in Bermuda: Part I. Frequencies and distribution of abnormalities. *Applied Herpetology* 3:39-65.
- Bacon, J.P., C.E. Fort, B. Todhunter, M. Mathis & D.J. Fort. 2013. Effects of multiple chemical, physical, and biological stressors on the incidence and types of abnormalities observed in Bermuda's cane toads (*Rhinella marina*). *Journal of Experimental Zoology Part B: Molecular and Developmental Evolution* 320:218-237.
- Bland, A.W. & E.J. McLaren. 2023. Unilateral anophthalmia in a recently metamorphosed blue-sided leaf frog *Agalychnis annae* in Costa Rica. *The Herpetological Bulletin* 164:41-42.
- Blaustein, A.R. & P.T. Johnson. 2003. The complexity of deformed amphibians. *Frontiers in Ecology and the Environment* 1:87-94.
- Blaustein, A.R., B. Edmond, J.M. Kiesecker, J.J. Beatty & D.G. Hokit. 1995. Ambient ultraviolet radiation causes mortality in salamander eggs. *Ecological Applications* 5:740-743.
- Borges, R.E., L.R. de Souza Santos, R.A. Assis, M. Benvindo-Souza, L. Franco-Belussi & C. de Oliveira. 2019. Monitoring the morphological integrity of neotropical anurans. *Environmental Science and Pollution Research* 26:2623-2634.
- Brassaloti, R.A. & J. Bertoluci. 2018. A case of bilateral anophthalmia in an adult *Boana faber* (Anura: Hylidae) from southeastern Brazil. *Phyllomedusa* 17:285-288.
- Brito, L., F. Aguiar & P. Cascon. 2011. *Odontophrynus carvalhoi* (Carvalho's escuerzo): Malformation. *Herpetological Bulletin* 118:38-40.
- Burton, E.C., D.L. Miller, E.L. Styer & M.J. Gray. 2008. Amphibian ocular malformation associated with frog virus 3. *The Veterinary Journal* 177:442-444.
- Caballero, A., B. Villanueva & T. Druet. 2021. On the estimation of inbreeding depression using different measures of inbreeding from molecular markers. *Evolutionary Applications* 14:416-428.
- Cannata, S.M., E. Arresta, S. Bernardini, C. Gargioli & S. Filoni. 2003. Tissue interactions and lens forming competence in the outer cornea of larval *Xenopus laevis*. *Journal of Experimental Zoology Part A: Comparative Experimental Biology* 299:161-171.
- Carezzano, F.J., K. Dorfinger & S.P. Urquiza Bardone. 2016. Anoftalmia en *Leptodactylus latrans* (Steffen, 1815) (Anura: Leptodactylidae) de un agroecosistema de Argentina. *Revista Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 3:101-103.
- Carvalho, V.T., S.M. Novelle, L.P. Lopes, R.C. Vogt, R. Arruda & M.E. Oliveira. 2008. *Sphaenorhynchus dorisae* (Spotted Hatchet-faced Treefrog). Ocular anomaly. *Herpetological Review* 39:211-212.
- Castro-Torreblanca, M. & E. Blancas-Calva. 2021. Anophthalmia in a Juvenile Pine Toad, *Incilius occidentalis* (Anura: Bufonidae), from Laguna de Tixtla, Guerrero, Mexico. *Reptiles & Amphibians* 28:22-23.
- Cheong, S.W., A. Fukui, M. Asashima & C.J. Pfeiffer. 2000. Spontaneous thyroid-containing teratoma associated with impaired development in the African clawed frog, *Xenopus laevis*. *Journal of Comparative Pathology* 123:110-118.



- Chow, R.L., C.R. Altmann, R.A. Lang & A. Hemmati-Brivanlou. 1999. *Pax6* induces ectopic eyes in a vertebrate. *Development* 126:4213-4222.
- Christiansen, D.G., K. Fog, B.V. Pedersen & J.J. Boomsma. 2005. Reproduction and hybrid load in all-hybrid populations of *Rana esculenta* water frogs in Denmark. *Evolution* 59:1348-1361.
- Cortés-Suárez, J.E. 2018. Anoftalmia en *Dendropsophus luddeckei* (Anura: Hylidae) en un agroecosistema pastoril de Villa de Leyva, Colombia. *Revista Latinoamericana de Herpetología* 1:53-54.
- De Azevedo, T.M. & P.T. Leivas. 2021. *Itapotihyla langsdorffii* (Ocellated Treefrog). *Anophthalmia*. *Herpetological Review* 52:372.
- de Souza, F.C., A.L.F. da Silva, C.S. Dos Anjos, T.F. Estevinho, M. de Oliveira Lisboa & M. Menin. 2021. New anomaly records in anurans, with a review for Brazil. *Herpetology Notes* 14:31-41.
- Dias, P.D.S. & A.M.P. Carvalho-e-Silva. 2012. Records of abnormalities in *Proceratophrys appendiculata* (Günther, 1873) (Anura; Cycloramphidae; Alsodinae). *Herpetology Notes* 5:97-199.
- FAO. 2022. Pesticides Use, Pesticides Trade and Pesticides Indicators – Global, Regional and Country Trends, 1990–2020. FAOSTAT. <https://www.fao.org/3/cc0918en/cc0918en.pdf> [Consultado en septiembre 2022].
- Filoni, S. 2009. Retina and lens regeneration in anuran amphibians. *Seminars in Cell & Developmental Biology* 20:528-534.
- Fish, M.B., T. Nakayama, M. Fisher, N. Hirsch, A. Cox, R. Reeder & R.M. Grainger. 2014. *Xenopus* mutant reveals necessity of *rax* for specifying the eye field which otherwise forms tissue with telencephalic and diencephalic character. *Developmental Biology* 395:317-330.
- Fite, K.V., A. Blaustein, L. Bengston & H.E. Hewitt. 1998. Evidence of retinal light damage in *Rana cascadae*: a declining amphibian species. *Copeia* 4:906-914.
- Flyaks, N.L. & L.J. Borkin. 2004. Morphological abnormalities and heavy metal concentrations in anurans of contaminated areas, eastern Ukraine. *Applied Herpetology* 1:229-264.
- Forster, P.M., C. Smith, T. Walsh, W.F. Lamb, R. Lamboll, B. Hall, M. Hauser, A. Ribes, D. Rosen, N.P. Gillett, M.D. Palmer, J. Rogelj, K. von Schuckmann, B. Trewin, M. Allen, R. Andrew, R.A. Betts, A. Borger, T. Boyer, J.A. Broersma, C. Buontempo, S. Burgess, C. Cagnazzo, L. Cheng, P. Friedlingstein, A. Gettelman, J. Gütschow, M. Ishii, S. Jenkins, X. Lan, C. Morice, J. Mühle, C. Kadow, J. Kennedy, R.E. Killick, P.B. Krumme, J.C. Minx, G. Myhre, V. Naik, G.P. Peters, A. Pirani, J. Pongratz, C. Schleussner, S.I. Seneviratne, S. Szopa, P. Thorne, M.V.M. Kovilakam, E. Majamäki, J. Jalkanen, M. van Marle, R.M. Hoesly, R. Rohde, D. Schumacher, G. van der Werf, R. Vose, K. Zickfeld, X. Zhang, V. Masson-Delmotte & P. Zhai. 2024. Indicators of Global Climate Change 2023: annual update of key indicators of the state of the climate system and human influence. *Earth System Science Data* 16:2625-2658.
- Frost, D.R. 2024. Amphibian Species of the World: an Online Reference. Version 6.2. Electronic Database accessible at <https://amphibiansoftheworld.amnh.org/index.php>. American Museum of Natural History, New York, USA. [Consultado en mayo 2024]
- Ganesh, S.R. & M. Arumugam. 2015. Natural history and distribution notes on the Sreeni's golden frog (*Indosylvirana sreeni*) in the southern eastern Ghats, peninsular India. *Alytes* 32:59-65.
- Glaser, T., L. Jepeal, J.G. Edwards, S.R. Young, J. Favor & R.L. Maas. 1994. *PAX6* gene dosage effect in a family with congenital cataracts, aniridia, anophthalmia and central nervous system defects. *Nature Genetics* 7:463-471.
- González-Parias, C.H., J.A. Londoño-Arias & W.A. Giraldo-Mejía. 2022. Evolución de la producción científica en América Latina indexada en Scopus 2010-2021. *Bibliotecas. Anales de Investigacion* 18:1-14.
- Gobel, N., G. Laufer, N. Kacevas, M. Carabio, R. Merni, A. Rosano, F. Mendieta, G. Pineda & F. Bergós. 2022. Morphological abnormalities in amphibians in and adjacent to Esteros de Farrapos e Islas del Río Uruguay National Park, Uruguay. *Herpetological Conservation and Biology* 17:573-581.
- Graw, J. 1996. Genetic aspects of embryonic eye development in vertebrates. *Developmental genetics* 18:181-197.
- Guerra, C. & E. Aráoz. 2016. Amphibian malformations and body condition across an agricultural landscape of northwest Argentina. *Diseases of Aquatic Organisms* 121:105-116.
- Guevara-Molina, S.C., E.L. Benitez-Cubillos & C.A. Londoño-Guarnizo. 2017. *Colostethus fraterdanieli* Silverstone, 1971. *Catálogo de Anfibios y Reptiles de Colombia* 3:14-19.

- Gupta Vakil, S., S. Biswas, D. Snow & J. Wu-Smart. 2022. Targeted Method for Quantifying Air-Borne Pesticide Residues from Conventional Seed Coat Treatments to Better Assess Exposure Risk During Maize Planting. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 109:1051-1058.
- Gurushankara, H.P., S.V. Krishnamurthy & V. Vasudev. 2007. Morphological abnormalities in natural populations of common frogs inhabiting agroecosystems of central Western Ghats. *Applied Herpetology* 4:39-45.
- Henle, K., A. Dubois & V. Vershinin. 2017. Studies on anomalies in natural populations of amphibians. *Mertensiella* 25:57-164.
- Henry, C.R., M. Shah, M.R. Barakat, P. Dayani, R.C. Wang, R.N. Khurana & T. Ciulla. 2022. Suprachoroidal CLS-TA for non-infectious uveitis: an open-label, safety trial (AZALEA). *British Journal of Ophthalmology* 106:802-806.
- Hernández-Jaúregui, M. & F. Chacón-Juárez. 2021. *Smilisca baudinii* (Mexican Treefrog). Anophthalmia. *Herpetological Review* 52:839.
- Hernández-Vázquez, M.E., M.A. García-Jiménez & R. Montejó-Hernández. 2023. Anomalies in three species of anurans in Chiapas, Mexico. *Reptiles & Amphibians* 30:e20113.
- Hever, A.M., K.A. Williamson & V. Van Heyningen. 2006. Developmental malformations of the eye: the role of PAX6, SOX2 and OTX2. *Clinical Genetics* 69:459-470.
- Ingle, D. 1976. Spatial vision in anurans. Pp. 119-140. En K.V. Fite (Eds.), *The amphibian visual system: a multidisciplinary approach*. New York Academic Press, Inc, USA.
- Johnson, P.T., K.B. Lunde, E.M. Thurman, E.G., Ritchie, S.N. Wray, D.R. Sutherland & A.R. Blaustein. 2002. Parasite (*Ribeiroia ondatrae*) infection linked to amphibian malformations in the western United States. *Ecological Monographs* 72:151-168.
- Keller L.F. & D.M. Waller. 2002. Inbreeding effects in wild populations. *Trends in Ecology & Evolution* 17:230-241.
- Lannoo, M. 2008. *Malformed frogs: The collapse of aquatic ecosystems*. University of California Press, Berkeley, USA.
- Mable, B.K. & L.A. Rye. 1992. Developmental abnormalities in triploid hybrids between tetraploid and diploid tree frogs (genus *Hyla*). *Canadian Journal of Zoology* 70:2072-2076.
- Mantecca, P., M. Gualtieri, M. Andrioletti, R. Bacchetta, C. Vismara, G. Vailati & M. Camatini. 2007. Tire debris organic extract affects *Xenopus* development. *Environment International* 33:642-648.
- Mathers, P.H. & M. Jamrich. 2000. Regulation of eye formation by the *Rx* and *pax6* homeobox genes. *Cellular and Molecular Life Sciences CMLS* 57:186-194.
- Matías-Pérez, D., I.A. García-Montalvo & J.C. Zenteno. 2017. Genes related to inherited microphthalmia and anophthalmia. *Gaceta Médica de México* 153:746-751.
- Medina-Martinez, O., I. Brownell, F. Amaya-Manzanares, Q. Hu., R.R. Behringer & M. Jamrich. 2005. Severe defects in proliferation and differentiation of lens cells in *Foxe3* null mice. *Molecular and cellular biology* 25:8854-8863.
- Meteyer, C.U. 2000. *Field guide to malformation of frogs and toads with radiographic interpretations*. Biological Science Report USGS/BRD/BSR-2000-0005, USA.
- Middleton, E.M., J.R. Herman, E.A. Celarier, J.W. Wilkinson, C. Carey & R.J. Rusin. 2001. Evaluating ultraviolet radiation exposure with satellite data at sites of amphibian declines in Central and South America. *Conservation Biology* 15:914-929.
- Mitchell, J.C. & C.T. Georgel. 2005. Anophthalmia in an upland chorus frog (*Pseudacris feriarum feriarum*) from southeastern Virginia. *Banisteria* 25:53-54.
- Mizuno, N., M. Mochii, T.S. Yamamoto, T.C. Takahashi, G. Eguchi & T.S. Okada. 1999. *Pax-6* and *Prox 1* expression during lens regeneration from *Cynops* iris and *Xenopus* cornea: evidence for a genetic program common to embryonic lens development. *Differentiation* 65:141-149.
- Morales-Flores, R.A., K. Muñoz-Arosemena, R.X. Pérez & J.L. Medina-Madrid. 2021. Primer reporte de anoftalmia en *Isthmohyla graceae* (Myers & Duellman, 1982) (Anura: Hylidae) en la Serranía de Tabasará, Comarca Ngäbe-Buglé, Panamá. *Revista Latinoamericana de Herpetología* 4:165-172.
- Nakayama, T., M. Fisher, K. Nakajima, A.O. Odeleye, K.B. Zimmerman, M.B. Fish & R.M. Grainger. 2015. *Xenopus pax6* mutants affect eye development and other organ systems, and have phenotypic similarities to human aniridia patients. *Developmental Biology* 408:328-344.
- Olivera, L.A., J. Julio-Dávila, M. de Luna, O. Peña-Contreras & J. Alvis. 2024. First report of anophthalmia in Rivero's toad, *Rhinella*



- humboldti* (Gallardo 1965) (Anura: Bufonidae), in Colombia. *Reptiles & Amphibians* 31:e21348.
- Pedroso-Santos, F., P.R. Sanches, J.C. Sousa & C.E. Costa-Campos. 2020. Anomalies in amphibians from the eastern Amazon region. *Herpetological Bulletin* 153:22-25.
- Pedroso-Santos, F., I.L. Kaefer & C.E. Costa-Campos. 2024. Anomalies in three frog species from eastern Amazonia. *Acta Biológica Colombiana* 29:146-148.
- Ramalho, W.P., F. Maffei, V. Guerra, D.P. da Silva, L.R. de Matos & L.J. Vieira. 2017. Anophthalmia in adults of two Amazonian treefrogs (Anura: Hylidae). *The Herpetological Bulletin* 139:43-44.
- Rengel, D., A. Pisanó & D. Alonso. 1994. Anomalías oculares en híbridos *Bufo paracnemis* x *Bufo arenarum* (Anura: Bufonidae). *Cuadernos de Herpetología* 8:215-223.
- Roberts, C.D. & T.E. Dickinson. 2012. *Ribeiroia ondatrae* causes limb abnormalities in a Canadian amphibian community. *Canadian Journal of Zoology* 90:808-814.
- Rueda-Isaza, X., J.C. Carrillo-Restrepo, S. Saavedra-Porras, J.M. Martínez-Cerón & J.F. Diaz Nieto. 2024. DNA barcodes and diversity of amphibians and reptiles in agroecosystems of the Colombian Andes. *Revista Latinoamericana de Herpetología* 7:24-47.
- Rudek, Z. & M. Rozek. 1992. Induction of micronuclei in tadpoles of *Rana temporaria* and *Xenopus laevis* by the pyrethroid Fastac 10 EC. *Mutation Research* 298:25-29.
- Sánchez-Domene, D., A. Navarro-Lozano, R. Acayaba, K. Picheli, C. Montagner, D. de Cerqueira Rossa-Feres & E.A. de Almeida. 2018. Eye malformation baseline in *Scinax fuscovarius* larvae populations that inhabit agroecosystem ponds in southern Brazil. *Amphibia-Reptilia* 39:325-334.
- Sierra-Serrano, O., J.D. Jiménez-Bolaño, J.A. Zúñiga-Baos & H.D. Granda-Rodríguez. 2023. Anophthalmia in *Lithobates vaillanti* (Brocchi 1877) (Anura: Ranidae) in Colombia. *Reptiles & Amphibians* 30:e20097.
- Simoniello, P., F. Trinchella, S. Filosa, R. Scudiero, D. Magnani, T. Theil & C.M. Motta. 2014. Cadmium contaminated soil affects retinogenesis in lizard embryos. *Journal of Experimental Zoology* 321A:207-219.
- Sousa, J.C. & C.E. Costa-Campos. 2017. Records of ocular anomaly in two species of anurans in the eastern Amazon region. *Herpetology Notes* 10:413-415.
- Toledo, L.F. & R.S. Ribeiro. 2009. The Archipelago of Fernando de Noronha: An intriguing malformed toad hotspot in South America. *EcoHealth* 6:351-357.
- Toledo, L.F., O.G. Araújo, L.D. Guimarães, R. Lingnau & C.F. Haddad. 2007. Visual and acoustic signaling in three species of Brazilian nocturnal tree frogs (Anura, Hylidae). *Phyllomedusa* 6:61-68.
- Tolledo, J. & L.F. Toledo. 2015. Blind toads in paradise: the cascading effect of vision loss on a tropical archipelago. *Journal of Zoology* 296:167-176.
- IUCN. 2024. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2024-1. <https://www.iucnredlist.org>. [Consultado en septiembre 2024].
- Vera Candioti, J., G.S. Natale, S. Soloneski, A.E. Ronco & M.L. Larramendy. 2010. Sublethal and lethal effects on *Rhinella arenarum* (Anura, Bufonidae) tadpoles exerted by the pirimicarb-containing technical formulation insecticide Aficida®. *Chemosphere* 78:249-255.
- Verma, A.S. & D.R. FitzPatrick. 2007. Anophthalmia and microphthalmia. *Orphanet Journal of Rare Diseases* 2:47.
- Voronina, V.A., E.A. Kozhemyakina, C.M. O'Kernick, N.D. Kahn, S.L. Wenger, J.V. Linberg & P.H. Mathers. 2004. Mutations in the human RAX homeobox gene in a patient with anophthalmia and sclerocornea. *Human Molecular Genetics* 13:315-322.
- Wagner, N., H. Müller & B. Viertel. 2017. Effects of a commonly used glyphosate-based herbicide formulation on early developmental stages of two anuran species. *Environmental Science and Pollution Research* 24:1495-1508.
- Weis, J.S. & P. Weis. 1977. Effects of heavy metals on development of the killifish, *Fundulus heteroclitus*. *Journal of Fish Biology* 11:49-54.
- Williams, R.N., D.H. Bos, D. Gopurenko & A. De Woody. 2008. Amphibian malformations and inbreeding. *Biology Letters* 4:549-552.



APÉNDICE

Apéndice 1. Especies de anuros con anoftalmia reportados en Latinoamérica. N = número de individuos. *=Documentos sin registro del número total de individuos con anoftalmia. Etapa: A = adultos; J = juveniles/ranas metamórficas; T = renacuajos. Tipo: u = unilateral; b = bilateral. Nombre de las especies siguiendo a Frost (2024). Categoría de amenaza (IUCN 2024): LC= Preocupación Menor; VU= Vulnerable; CR= Peligro Crítico. Documentos: 1= Rengel et al. (1994); 2= Carvalho et al. (2008); 3= Toledo & Ribeiro (2009); 4= Brito et al. (2011); 5= Dias & Carvalho-e-Silva (2012); 6= Carezzano et al. (2016); 7= Guerra & Araújo (2016); 8= Ramalho et al. (2017); 9= Sousa & Costa-Campos (2017); 10= Brassaloti & Bertoluci (2018); 11= Cortés-Suárez (2018); 12= Sánchez-Domene et al. (2018); 13= Ascoli-Morrete et al. (2019); 14= Borges et al. (2019); 15= Pedroso-Santos et al. (2020); 16= Castro-Torreblanca & Blancas-Calva (2021); 17= de Souza et al. (2021); 18= De Azevedo & Leivas (2021); 19= Hernández-Jaúregui & Chacón-Juárez (2021); 20= Morales-Flores et al. (2021); 21= Aréchaga Ocampo & Roa Mata (2022); 22= Hernández-Vázquez et al. (2023); 23= Bland & McLaren (2023); 24= Sierra-Serrano et al. (2023); 25= Pedroso-Santos et al. (2024); 26= Olivera et al. (2024); 27= Rueda-Isaza et al. (2024); 28 = Este estudio.

Appendix 1. Anuran species with anophthalmia reported in Latin America. N = number of individuals. *=Documents without record of the total number of individuals with anophthalmia. Stage: A = adults; J = juveniles/metamorphic frogs; T = tadpoles. Type: u = unilateral; b = bilateral. Species names following Frost (2024). Threat category (IUCN 2024): LC= Least Concern; VU= Vulnerable; CR= Critically Endangered. Documents: 1= Rengel et al. (1994); 2= Carvalho et al. (2008); 3= Toledo & Ribeiro (2009); 4= Brito et al. (2011); 5= Dias & Carvalho-e-Silva (2012); 6= Carezzano et al. (2016); 7= Guerra & Araújo (2016); 8= Ramalho et al. (2017); 9= Sousa & Costa-Campos (2017); 10= Brassaloti & Bertoluci (2018); 11= Cortés-Suárez (2018); 12= Sánchez-Domene et al. (2018); 13= Ascoli-Morrete et al. (2019); 14= Borges et al. (2019); 15= Pedroso-Santos et al. (2020); 16= Castro-Torreblanca & Blancas-Calva (2021); 17= de Souza et al. (2021); 18= De Azevedo & Leivas (2021); 19= Hernández-Jaúregui & Chacón-Juárez (2021); 20= Morales-Flores et al. (2021); 21= Aréchaga Ocampo & Roa Mata (2022); 22= Hernández-Vázquez et al. (2023); 23= Bland & McLaren (2023); 24= Sierra-Serrano et al. (2023); 25= Pedroso-Santos et al. (2024); 26= Olivera et al. (2024); 27= Rueda-Isaza et al. (2024); 28= This study.

Familia/Especies	N (Etapa)	Tipo	Ojo afectado	Causa determinada	Causa Potencial	País	Tipo de documento	IUCN	Documento
Bufonidae									
<i>Incilius occidentalis</i> (Camerano, 1879)	1 (J)	u	Derecho	Desconocida	Agroquímicos	México	Nota	LC	16
<i>Rhinella arenarum</i> (Hensel, 1867)	2		No especificado	Agroquímicos		Argentina	Artículo	LC	7
<i>Rhinella diptycha</i> (Cope, 1862)	5 (A)	u	Izquierdo	Desconocida	Desconocida	Brasil	Nota	LC	3
<i>Rhinella diptycha</i>	1 (J)	u	Derecho	Desconocida	Desconocida	Brasil	Nota	LC	3
<i>Rhinella diptycha</i>	3 (A)	u	Derecho	Desconocida	Desconocida	Brasil	Nota	LC	3
<i>Rhinella diptycha</i>	4 (A)	b		Desconocida	Desconocida	Brasil	Nota	LC	3
<i>Rhinella diptycha</i> ♂ x <i>Rhinella arenarum</i> ♀	30 (T)		No especificado	Hibridación		Argentina	Artículo	LC	1
<i>Rhinella humboldti</i> (Gallardo, 1965)	1 (A)	u	Izquierdo	Desconocida	Desconocida	Colombia	Nota	LC	26
<i>Rhinella proboscidea</i> (Spix, 1824)	1 (T)	u	Izquierdo	Desconocida	Desconocida	Brasil	Nota	LC	17
Dendrobatidae									
<i>Leucostethus</i> aff. <i>fraterdanieli</i>	1 (A)	u	Izquierdo	Desconocida	Agroquímicos	Colombia	Artículo		28
Hylidae									
<i>Agalychnis annae</i> (Duellman, 1963)	1 (J)	u	Derecho	Desconocida	Desconocida	Costa Rica	Nota	VU	23

Familia/Especies	N (Etapa)	Tipo	Ojo afectado	Causa determinada	Causa Potencial	País	Tipo de documento	IUCN	Documento
<i>Boana faber</i> (Wied-Neuwied, 1821)	1 (A)	b		Desconocida	Agroquímicos	Brasil	Nota	LC	10
<i>Boana fasciata</i> (Günther, 1858)	2 (A)	b		Desconocida	Congénita	Brasil	Nota	LC	8
<i>Boana punctata</i> (Schneider, 1799)	1 (J)	u	Izquierdo	Desconocida	Desconocida	Brasil	Nota	LC	18
<i>Dendropsophus malitor</i> (Schmidt, 1857)	1 (A)	u	Izquierdo	Desconocida	Desconocida	Colombia	Nota	LC	11
<i>Isthmohyla graceae</i> (Myers and Duellman, 1982)	1 (A)	u	Izquierdo	Desconocida	Endogamia	Panamá	Nota	CR	20
<i>Itapotihyla langsdorffii</i> (Duméril and Bibron, 1841)	1 (J)	u	Derecho	Desconocida	Endogamia	Brasil	Nota	LC	18
<i>Lysapsus bolivianus</i> Gallardo, 1961	1 (A)	u	Derecho	Desconocida	Agroquímicos	Brasil	Nota	LC	9
<i>Osteocephalus ieprieurii</i> (Duméril and Bibron, 1841)	1 (A)	b		Desconocida	Congénita	Brasil	Nota	LC	8
<i>Scinax fuscovarius</i> (Lutz, 1925)	13 (T)	u	No especificado	Desconocida	Mutaciones naturales	Brasil	Artículo	LC	12
<i>Smilisca baudinii</i> (Duméril and Bibron, 1841)	1 (J)	u	Derecho	Desconocida	Agroquímicos/ Radiación ultravioleta	México	Nota	LC	19
<i>Smilisca baudinii</i>	1 (A)	u	Izquierdo	Desconocida	Agroquímicos/ Minería	México	Nota	LC	21
<i>Smilisca baudinii</i>	1 (A)	u	Derecho	Desconocida	Agroquímicos/ Actividades antropogénicas	México	Nota	LC	22
<i>Sphaenorhynchus dorisae</i> (Goin, 1957)	1 (A)	b		Desconocida	Desconocida	Brasil	Nota	LC	2
Leptodactylidae									
<i>Leptodactylus fuscus</i> (Schneider, 1799)	1 (T)	u	Izquierdo	Desconocida	Agroquímicos	Brasil	Artículo	LC	14
<i>Leptodactylus latinasus</i> Jiménez de la Espada, 1875	1		No especificado	Agroquímicos		Argentina	Artículo	LC	7
<i>Leptodactylus luctator</i> (Hudson, 1892)	1 (J)	u	Izquierdo	Desconocida	Agroquímicos	Argentina	Nota	LC	6
<i>Leptodactylus mystaceus</i> (Spix, 1824)	1 (A)	u	Izquierdo	Desconocida	Desconocida	Brasil	Nota	LC	15
<i>Physalaemus aff. gracilis</i>			No especificado	Desconocida	Agroquímicos	Brasil	Nota	LC	13*
<i>Pleurodema borellii</i> (Peracca, 1895)	1		No especificado	Agroquímicos		Argentina	Artículo	LC	7

Familia/Especies	N (Etapa)	Tipo	Ojo afectado	Causa determinada	Causa Potencial	País	Tipo de documento	IUCN	Documento
Odontophrynidae									
<i>Odontophrynus americanus</i> (Duméril and Bibron, 1841)			No especificado	Desconocida	Agroquímicos	Brasil	Nota	LC	13*
<i>Odontophrynus carvalhoi</i> (Savage and Cei, 1965)	1	u	Izquierdo	Desconocida	Mutaciones naturales	Brasil	Nota	LC	4
<i>Proceratophrys appendiculata</i> (Günther, 1873)	1(T)	u	Derecho	Desconocida	Desconocida	Brasil	Nota	LC	5
<i>Proceratophrys boiei</i> (Wied-Neuwied, 1824)	1(A)	u	Izquierdo	Desconocida	Desconocida	Brasil	Nota	LC	17
Ranidae									
<i>Lithobates vaillanti</i> (Brocchi, 1877)	1(A)	u	Izquierdo	Desconocida	Agroquímicos	Colombia	Nota	LC	24
Strabomantidae									
<i>Pristimantis achatinus</i> (Boulenger, 1898)	1(A)	u	Derecho	Desconocida	Agroquímicos	Colombia	Artículo	LC	27
<i>Pristimantis chiastonotus</i> (Lynch and Hoogmoed, 1977)	1(A)		Izquierdo	Desconocida	Genética e imperfecciones del desarrollo	Brasil	Nota	LC	25
<i>Pristimantis gutturalis</i> (Hoogmoed, Lynch, and Lescure, 1977)	1(A)		Derecho	Desconocida	Genética e imperfecciones del desarrollo	Brasil	Nota	LC	25