Revisión

Revista Actualidades Biológicas

Actual. Biol. 47(122): e4703, 2025 | Enero-Junio | Medellin | DOI:10.17533/udea.acbi/v47n122a03

Estado del arte de la ecomorfología de la familia Plethodontidae (Amphibia: Caudata) en América

Ecomorphology of familiy Plethodontidae (Amphibia: Caudata) in America: the state of art

Paola Andrea Mendoza-Medina[1], Nicolas Arias-Bermúdez[1], Nelsy R. Pinto-Sánchez[1]*

Resumen

Los estudios ecomorfológicos son importantes para comprender cómo una especie puede desempeñarse en un entorno de acuerdo con sus características morfológicas, permitiendo a futuro entender patrones de adaptación y diversificación evolutiva. Las salamandras en la familia Plethodontidae se encuentran ampliamente distribuidas en América y su especialización ecológica y filopatría las hace un grupo altamente vulnerable a cambios ambientales. En esta revisión, se buscó recopilar la información registrada sobre aspectos ecomorfológicos de la familia, para identificar patrones y vacíos de información que pueden encaminar futuras investigaciones. Por medio de una revisión sistemática de la literatura, se encontró que EEUU es el país que presenta mayor cantidad de estudios (43), seguido de Colombia (12) y Brasil (2). Una de las categorías más estudiadas es historia de vida y ecología y las menos estudiadas son biología del desarrollo, perturbación y ecofisiología. Se encontró que *Bolitoglossa* ha sido estudiada en un 29% a pesar de ser uno de los géneros más diversos. El 77% de los géneros con datos de altitud prefieren rangos altitudinales de los 800-1200 m s. n. m., temperatura entre los 15-20 °C y humedad relativa superior al 80%. Por último, salamandras de menor peso (<1 g) y SVL (>60 mm), tienden a usar una mayor altura de percha, probablemente relacionado a una mayor capacidad de escalada o un comportamiento de evasión. Se observa una oportunidad para investigar en géneros menos estudiados, puesto que esto permitirá tomar decisiones a futuro sobre su conservación.

Palabras clave: dieta, distribución, ecología, morfología, preferencia de hábitat, salamandras

Abstract

Ecomorphological studies are essential to understanding how a species perform in an environment according to its morphology, allowing for further understanding of adaptation patterns and evolutionary diversification. Salamanders in the family Plethodontidae are widely distributed in the Americas, and their ecological specialization and philopatry make them highly vulnerable to environmental change. We compiled information on the ecomorphological aspects of the family to identify information patterns and gaps in data that could guide future research. We found that the United States is the country with the most significant number of studies (43), followed by Colombia (12) and Brazil (2). One of the most studied categories is life history and ecology, and the

[1] Universidad Militar Nueva Granada, Facultad de Ciencias Básicas y Aplicadas, Programa Biología Aplicada, Semillero de Evolución y Conservación, Grupo de Ecotoxicología, Evolución, Medio Ambiente y Conservación, Campus Nueva Granada Km 2 vía Cajicá-Zipaquirá. Colombia.

* Autor de correspondencia: nelsy.pinto@unimilitar.edu.co

Recibido: abril 11, 2024; aceptado: agosto 20, 2024; publicado: diciembre 04, 2024.

least studied are developmental biology, disturbance, and ecophysiology. *Bolitoglossa* was found to be 29% studied despite being one of the most diverse genera. Seventy-seven percent of the genera with altitudinal data prefer altitudinal ranges between 800-1200 m a. s. l., temperature between 15-20 °C and relative humidity above 80%. Finally, salamanders of lower weight (<1 g) and SVL (>60 mm) tend to use a higher perch height, probably related to a higher climbing ability or avoidance behavior. There is an opportunity for research on less studied genera, allowing future conservation decisions to be made.

Keywords: diet, distribution, ecology, habitat preference, morphology, salamanders

INTRODUCCIÓN

El interés por resolver los interrogantes de la ciencia ha hecho que en los últimos 65 años surjan nuevos campos de estudio, que permitan, por ejemplo, comprender las adaptaciones de diferentes seres vivos a su entorno. Los conceptos ecología y morfología se encuentran naturalmente asociados, dado que los factores ecológicos tienen un rol clave sobre la variación de la forma de las estructuras y el desempeño de un individuo en su ambiente, por lo que el campo de estudio que analiza ambos términos en conjunto se conoce como ecomorfología (Betz, 2006; Sherratt et al., 2018). Esta disciplina incluye temas como las comparaciones de adaptaciones entre diferentes organismos, modificaciones de las características morfológicas como resultado de la competencia y estructura de comunidades ecológicas (Bock, 1994).

Como ejemplos, se tiene que la degradación de áreas protegidas puede limitar la diversidad de formas funcionales de anuros dado que existen fenotipos asociados a microhábitats específicos, por lo que es importante planificar estrategias de conservación teniendo en cuenta estos rasgos funcionales, ya que se encontró que cambios en los roles ecológicos pueden traer consecuencias al funcionamiento del ecosistema (Bolochio et al., 2020).

La evolución de características morfológicas afecta el desempeño de ciertas conductas (nado y salto) y se ha encontrado que los anuros tienen diferente masa muscular en las extremidades según su microhábitat acuático o arbóreo, por ejemplo, ranas arborícolas tienen menor masa muscular para una mayor escalabilidad, mientras que ranas con microhábitat acuático tienen una mayor masa muscular en sus extremidades (Moen, 2019). Por su parte, los renacuajos son un ejemplo de evolución convergente, la forma del cuerpo refleja el uso de nichos y estrategias locomotoras y se ha encontrado que hay una relación entre la diversidad morfológica de renacuajos y el uso de microhábitats (Sherratt et al., 2018). Estudios ecomorfológicos a futuro proporcionarán información valiosa sobre procesos de adaptación y diversificación evolutiva (López, 2019).

La familia Plethodontidae es la más diversa dentro del orden Caudata, representa el 66,1% de la riqueza mundial de salamandras (Parra-Olea et al., 2014) con un aproximado de 520 especies en 29 géneros en el mundo (Frost, 2024) las cuales se distribuyen principalmente en Norteamérica y Sudamérica (Solano-Zavaleta et al., 2009), tienen importantes funciones ecológicas dentro de las que están el flujo de materia y energía en la cadena trófica entre ambientes terrestres y acuáticos, controladores de poblaciones de invertebrados y facilitadores de la dinámica del suelo (Davic & Welsh, 2004).

Esta familia ha sido utilizada como bioindicador dado su endemismo y baja capacidad de dispersión, ya que son altamente sensibles a los cambios ambientales como inundaciones, sequías y contaminantes (Southerland et al., 2004). Lo anterior debido a sus atributos morfológicos, pues los anfibios son ectotermos dependientes de la temperatura del entorno y las características de su piel altamente permeable las hace propensas a la pérdida de agua y contaminantes (Flores et al., 2022). Adicionalmente, y debido a la filopatría que poblaciones de anfibios tienen puede ser motivo para que a futuro se encuentren amenazadas (Flores et al., 2022; Galindo et al., 2018a).

A pesar de que Centroamérica y Norteamérica ha hecho estudios sobre el grupo de salamandras, en

Suramérica existe sólo un 19% de estudios enfocados hacia la ecomorfología y ecología en los últimos 50 años (Elmer et al., 2013). Lo anterior posiblemente relacionado con la distribución fragmentada y aislada en parches de las especies (Elmer et al., 2013). Adicional a ello, la riqueza de salamandras en el neotrópico no está lo suficientemente conocida, debido a su morfología críptica. Por lo tanto, se presenta en la zona una alta diversidad inesperada con un aumento del 22-350% sobre la diversidad conocida y en salamandras hasta un 400% haciendo que la comprensión de este grupo sea superficial (Jaramillo et al., 2020).

Los estudios ecomorfológicos más recientes (Ahumada-Carrillo et al. 2020; Brown, 2020; Capshaw et al. 2019; Drukker et al. 2018; Duarte-Marín et al. 2018; Galindo et al. 2018a; Gladstone et al. 2018; Hernandez, 2018; Hernández-Pacheco et al. 2019; Mendieta et al. 2019; Roach et al. 2020; Sasso et al. 2020), que dan cuenta de sus rangos geográficos, comportamiento y las descripciones taxonómicas, permiten encaminar a futuro, estudios de ecología comparativa (Hairston, 1949). Sin embargo, se hace necesario ahondar en más investigaciones que traten aspectos ecomorfológicos. Por tal motivo, el objetivo del trabajo fue recopilar toda la información registrada sobre los aspectos ecomorfológicos de la familia Plethodontidae. De esta forma, se buscó identificar patrones de distribución en cuanto a la altitud, preferencias térmicas y de humedad, las dietas principales para especies de salamandras de la familia Plethodontidae, su preferencia de microhábitat y la correlación entre morfología (longitud rostro-cloaca (SVL) y masa) y la selección de microhábitat. Finalmente, se identificaron vacíos de información teniendo en cuenta tendencias de publicación a nivel de universidad, país y revistas, así como especies más y menos estudiadas que permitirá encaminar futuras investigaciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

Búsqueda y recopilación de los datos

En el año 2020 se realizó una revisión sistemática de la literatura disponible en las bases virtuales ScienceDirect, Scopus, Scielo, Elsevier, ResearchGate, JSTOR, BioOne, ProQuest, Wiley y repositorios universitarios, con el fin de recopilar toda la información existente sobre la ecomorfología de salamandras pertenecientes a la familia Plethodontidae en América.

Para ello se usaron las palabras claves Plethodontidae, ecomorphology, morphology y ecology en combinación con los operadores booleanos AND y OR se buscó en español e inglés (figura 1). Se incluyeron en esta revisión aquellos artículos que tuvieran datos ecológicos de salamandras pertenecientes a la familia Plethodontidae como el tipo de microhábitat, temperatura y humedad de las localidades que habitan. No se tuvieron en cuenta para la revisión los artículos morfológicos que describen especies.

Adicionalmente, con los datos recopilados de cada artículo (título, año, afiliación de autores, revista, país, distribución, datos ecológicos y datos morfológicos) se construyó una matriz en Excel, la cual puede ser consultada en el material suplementario.

Categorización de datos de temática y microhábitat

De los artículos recopilados se analizaron sus temáticas principales, de tal forma que se definen las categorías: *historia de vida* y ecología que incluye hábitat, dieta, clima-microclima, reproducción y estimadores poblacionales, *morfología* la cual contiene datos morfológicos, *distribución* que en este caso se refiere a datos altitudinales y principales ecosistemas habitados por estas especies, y *perturbación* que trata la influencia de actividades antropogénicas sobre la distribución de especies de esta familia.

También se contempló la categoría *desarrollo* refiriéndose a cómo las condiciones ambientales y el microhábitat afectan caracteres asociados a historia de vida, por ejemplo, el tamaño del cuerpo, *etología* tratándose del comportamiento que tienen las salamandras en épocas de reproducción, búsqueda de alimento, adaptaciones comportamentales y actividad estacional. Finalmente, *ecofisiología* cuyo contenido trata sobre la influencia del ambiente a las respuestas fisiológicas en salamandras, por ejemplo, las temperaturas sobre la locomoción.

El microhábitat utilizado por las salamandras de la familia se agrupó de la siguiente manera: *acuático*, que incluye arroyos, pozos, manantiales, pantanos, filtración y orillas de arroyos; *suelo*, que se refiere

a hojarasca, rocas, troncos y escombros al nivel del suelo; *subterráneo*, que son las madrigueras (hechas por otras especies) utilizadas particularmente por individuos que viven en lugares con estaciones; y las salamandras encontradas en vegetación mayor a los dos metros (>2 m) se consideraron especies con hábitos *arbóreos* y en la vegetación menor a dos metros (<2 m) se consideraron *arbustivas*.

Análisis estadístico

Por último, para evaluar si el número de publicaciones (variable de salida) está afectado por las universidades (variable de entrada) se utilizó el modelo lineal generalizado (GLM), debido a que los datos no siguen una distribución normal. Con este modelo se usó una distribución de poisson, debido a que la variable número de publicaciones es discreta y corresponde a datos de conteo que son independientes (Quinn & Keough, 2002). Este análisis fue realizado usando el programa R (R Core Team, 2020).

Para evaluar si el número de especies por género (variable de salida) está siendo afectada por la altitud, temperatura y humedad (variables de entrada) de forma independiente se usó una prueba de Pearson chi cuadrado, debido a que no requiere supuesto de normalidad y los datos son muestreados al azar (Quinn & Keough, 2002). Este análisis se realizó usando el programa JMP® version 9.0.1 (2010).

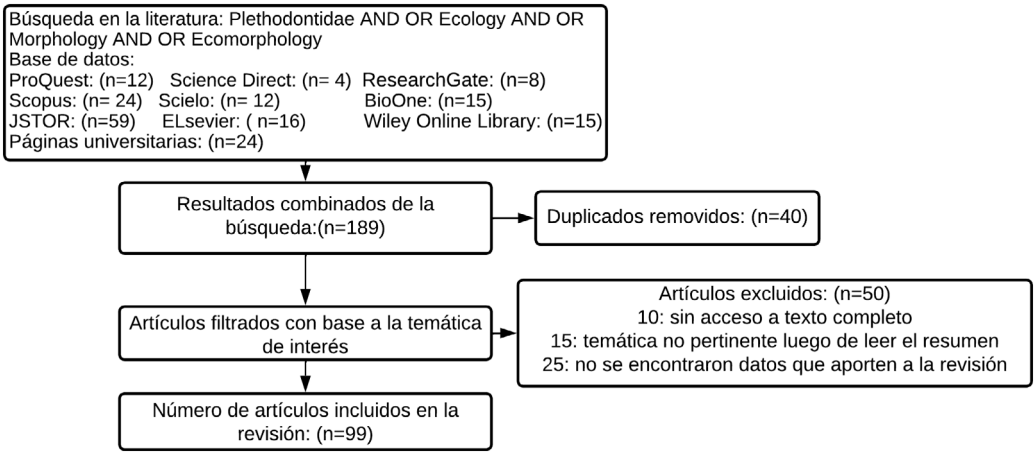

Figura 1. Metodología empleada para la búsqueda de los artículos incluidos en esta revisión.

RESULTADOS

Patrones por revista, universidad y países

Se obtuvo un total de 189 publicaciones, se excluyeron aquellos artículos duplicados, sin acceso a texto completo y con una temática no pertinente, por lo tanto, el 52% cumplió con los criterios establecidos en la metodología (figura 1, material suplementario). La revista donde se ha publicado el mayor número de artículos relacionados con ecomorfología de Plethodontidae es Journal of Herpetology con 13 publicaciones, seguido de Copeia con nueve, y Ecology y Herpetologica con seis cada una (material suplementario).

El número de publicaciones no es afectado por la filiación institucional de los autores (Centroamérica z value = -0,802, Pr(>|z|) = 0,422; Europa z value = -0,471, Pr(>|z|) = 0,637; Suramérica z value = 0,221, Pr(>|z|) = 0,825). Sin embargo, La Universidad de California fue la que presentó mayor cantidad de trabajos en la familia (ocho publicaciones) (figura 2). Cabe aclarar que solo se tuvo en cuenta el origen de las universidades con más de dos publicaciones. Se observó que universidades de Estados Unidos (EEUU), Colombia y Brasil lideraron los trabajos en la familia con 43, 12 y dos publicaciones respectivamente (figura 2).

Los países que cuentan con la mayor proporción de estudios frente al número de especies descritas en su territorio son Perú, EEUU, Brasil y Colombia, siendo EEUU el país con mayor número de especies descritas de Plethodontidae, y a su vez el que mayor cantidad de estudios ha desarrollado en cuanto a ecomorfología (tabla 1, material suplementario).

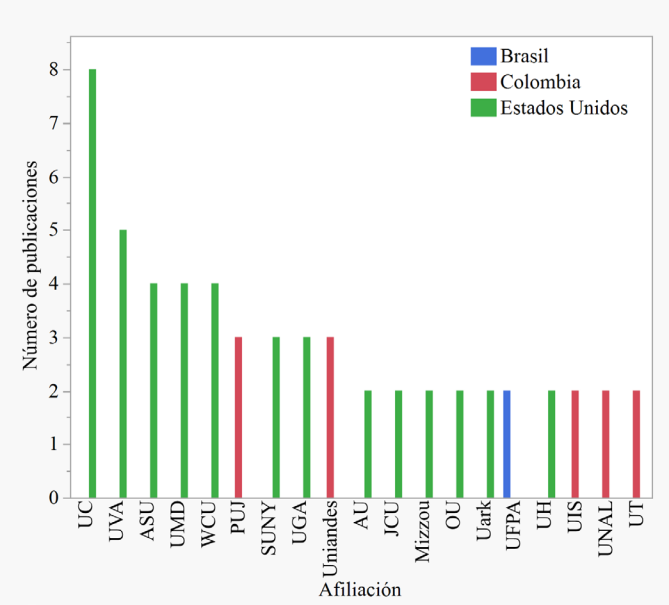

Figura 2. Número de publicaciones por afiliación de autor que tratan temas asociados a la ecomorfología de Plethodontidae en América. UC = University of California, UVA = University of Virginia, ASU = Arkansas State University, UMD = University of Maryland, WCU = Western Carolina University, PUJ = Pontificia Universidad Javeriana, SUNY = State University of New York, UGA = University of Georgia, Uniandes = Universidad de los Andes, AU = Auburn University, JCU = John Carroll University, Mizzou = University of Missouri, OU = Ohio University, UArk = University of Arkansas, UFPA = Universidade Federal do Pará, UH = University Heights, UIS = Universidad Industrial de Santander, UNAL = Universidad Nacional de Colombia, UT = Universidad del Tolima.

Tendencias en los estudios ecomorfológicos

La mayoría de trabajos de ecomorfología están asociados con historia de vida y ecología (56%), seguido de morfología (16%) y etología (14%). Las categorías menos estudiadas fueron distribución (8%), biología del desarrollo (2%), perturbación (2%) y ecofisiología (2%) (figura 3, material suplementario). Se observó una tendencia general de aumento en número de publicaciones a lo largo

Tabla 1. Porcentaje de especies estudiadas por país a nivel ecomorfológico

País	Número de especies descritas (Frost, 2020)	Número de especies estudiadas	Especies estudiadas (%)
Estados Unidos	165	103	62
Guatemala	63	15	24
Colombia	26	10	40
Panamá	35	10	29
Mexico	137	10	7
Peru	4	3	75
Ecuador	12	3	25
Costa Rica	54	3	6
Brazil	5	2	40
Venezuela	7	2	29
Nicaragua	12	2	17
Honduras	44	2	5
Canadá	10	1	10

de los años, en los años 2016 y 2018 se realizó el mayor número de publicaciones, seguido de los años 2006 y 2019 (figura 3, material suplementario).

El 27% de los géneros han abordado para sus especies el 100% a nivel ecomorfológico dentro de Plethodontidae (*Desmognathus*, *Gyrinophilus*, *Leurognathus*, *Parvimolge*, *Phaeognathus*, *Pseudotriton* y *Stereochilus*). Los géneros *Eurycea* e *Hydromantes* se han estudiado en un 79% y 67%

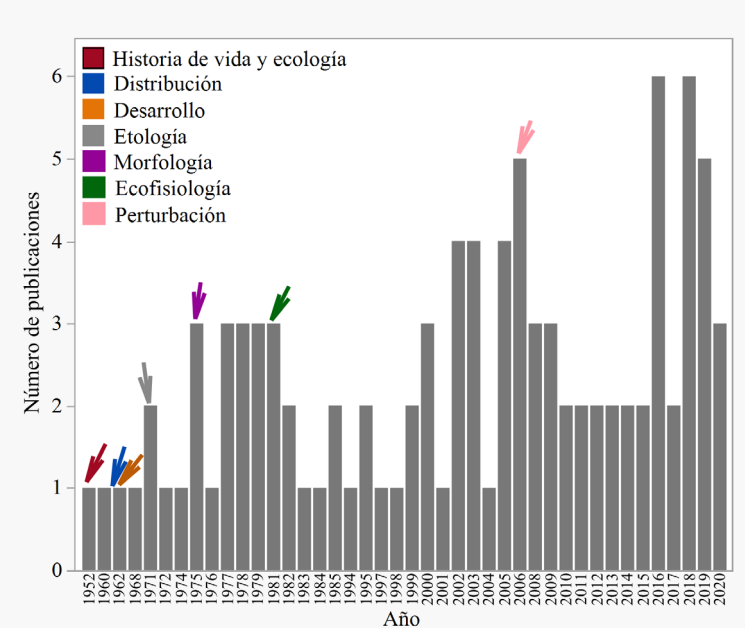

Figura 3. Número de publicaciones por año sobre ecomorfología de Plethodontidae en América. Las flechas indican la aparición de las diferentes categorías tratadas en artículos de Plethodontidae en ese año y las barras grises muestran el número de publicaciones hechas sobre ecomorfología. La revisión se realizó hasta el mes de diciembre del año 2020.

respectivamente, mientras que los otros 17 géneros han sido abordados con el 50% o menos de sus especies *Aneides* 50%, *Aquiloeurycea* 14%, *Batrachoseps* 10%, *Bolitoglossa* 29%, *Bradytriton* 33%, *Chiropterotriton* 22%, *Cryptotriton* 14%, *Dendrotriton* 13%, *Ensatina* 50%, *Hemidactylium* 50%, *Isthmura* 43%, *Nototriton* 15%, *Oedipina* 5%, *Plethodon* 50%, *Pseudoeurycea* 17%, *Rhyacotriton* 50% y *Thorius* 7% (figura 4).

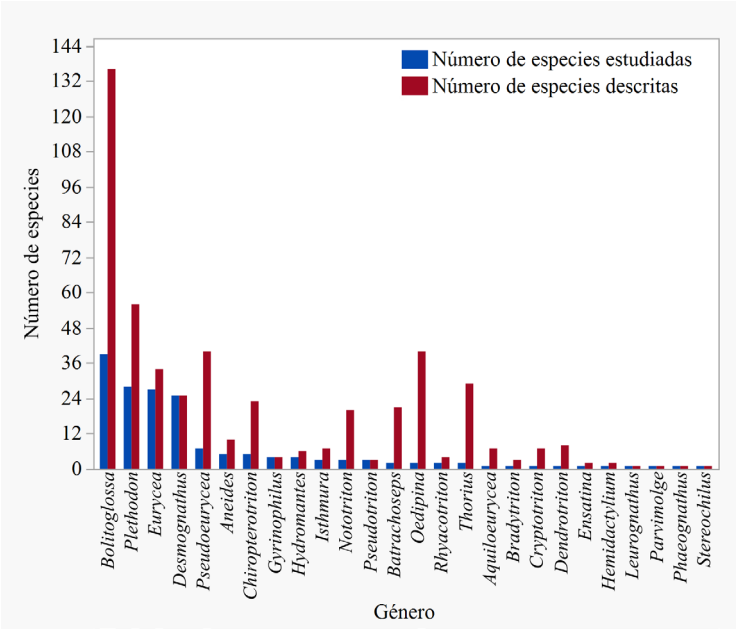

Figura 4. Número de especies descritas tomado de Frost (2020) y número de especies estudiadas por género de la familia Plethodontidae a nivel ecomorfológico en América. La gráfica se encuentra en orden descendente por el número de especies estudiadas.

De los datos registrados en los artículos recopilados se encontró información para 13 géneros (figura 4), el mayor número de especies estudiadas se ubicaron en altitudes entre los 800-1.600 metros sobre el nivel del mar (m s. n. m.) (figura 5, material suplementario) y se observó una disminución cuando la altitud estuvo por encima de los 2.000 m s. n. m. Adicionalmente, se evidenció que *Bolitoglossa* es el único género presente en todos los rangos altitudinales mientras que *Rhyacotriton* solo está presente en altitudes de 0-400 m s. n. m. y *Pseudotriton* en los 1.200-1.600 m s. n. m. Se encontró que el número de especies por género está siendo afectado por el rango altitudinal (Pearson chi cuadrado = 145,949, p = 0,0088*). El número de artículos tenido en cuenta para cada género fue *Bolitoglossa* (29), *Chiropterotriton* (1), *Dendrotriton* (1), *Desmognathus* (6), *Eurycea* (3), *Gyrinophilus* (3), *Leurognathus* (1), *Nototriton* (2), *Plethodon* (15), *Pseudoeurycea* (3), *Pseudotriton* (2), *Rhyacotriton* (1) y *Thorius* (1) (material suplementario).

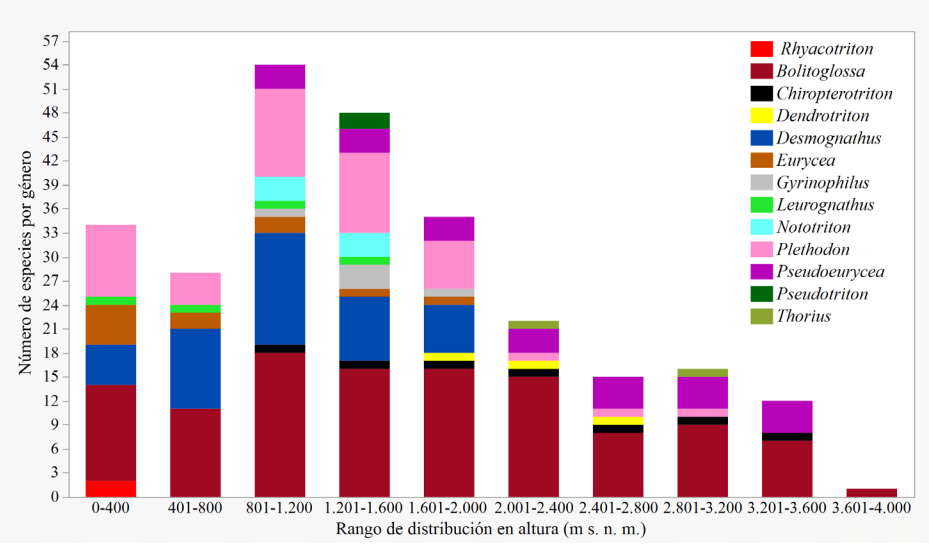

Figura 5. Distribución altitudinal de los géneros de la familia Plethodontidae en América.

La temperatura donde más especies de Plethodontidae se encontraron de acuerdo con los microhábitats usualmente utilizados varió entre los 15-20 °C, por encima de los 25 °C se encontró una disminución de especies (figura 6, material suplementario). La variación en el número de especies de Plethodontidae está siendo explicado por la temperatura del microhábitat (Pearson chi cuadrado = 99,6620, $p = 0{,}0002^*$). Cabe aclarar que no se incluyeron todos los géneros de esta familia en el análisis, ya que no todos han tenido estudios ecomorfológicos con datos de temperatura, para

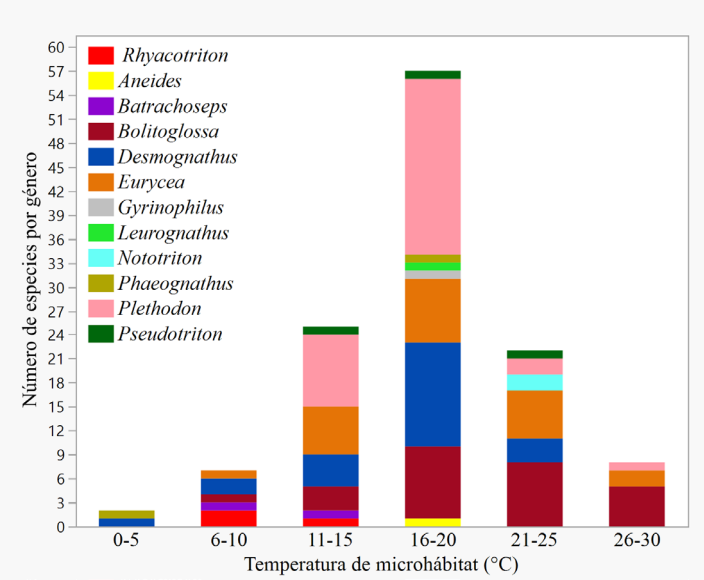

Figura 6. Temperatura de microhábitat utilizado por los géneros de la familia Plethodontidae en América.

este caso se registra información para 12 géneros. El número de artículos tenido en cuenta para cada género fue *Aneides* (1), *Batrachoseps* (1), *Bolitoglossa* (17), *Desmognathus* (9), *Eurycea* (8), *Gyrinophilus* (1), *Leurognathus* (1), *Nototriton* (2), *Phaeognathus* (2), *Plethodon* (14), *Pseudotriton* (1) y *Rhyacotriton* (3) (material suplementario).

El número de especies en los nueve géneros evaluados no está siendo afectado por la humedad relativa (Pearson chi cuadrado = 51,1030, p = 0,1122). Sin embargo, se observó que las especies prefieren la humedad relativa por encima del 80% (figura 7, material suplementario). Se observa disminución de especies cuando la humedad

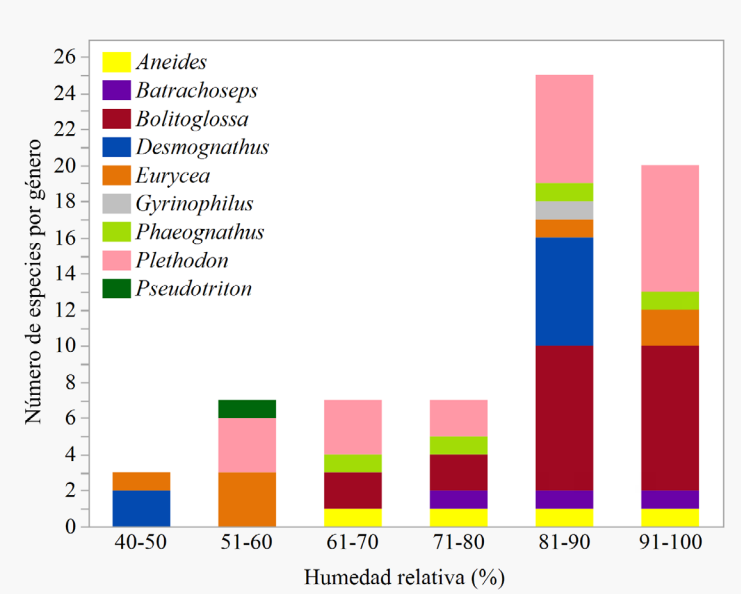

Figura 7. Humedad relativa de localidades habitadas por los géneros de la familia Plethodontidae en América.

es menor a 80%. El número de artículos tenido en cuenta para cada género fueron *Aneides* (1), *Batrachoseps* (1), *Bolitoglossa* (12), *Desmognathus* (3), *Eurycea* (4), *Gyrinophilus* (1), *Phaeognathus* (1), *Plethodon* (10) y *Pseudotriton* (1) (material suplementario).

Se evidenció una dieta variada para especies de la familia Plethodontidae pues estuvo compuesta de 18 especies distribuidas de la siguiente manera: Hexapoda (11), Chelicerata (1), Crustacea (3), Miriapoda (1), Platyhelminthes (1), Annelida (1), y Caudata (1) (material suplementario). Hexapoda es el grupo más representativo, con los siguientes órdenes como los más abundantes: Hymenoptera (16%), Coleoptera (15%), Collembola (13%), Diptera (13%) y Chelicerata representado por Araneae (12%) (material suplementario). Los demás ítems alimenticios están representados por menos del 6%. *Eurycea*, *Desmognathus*, *Aneides*, *Leurognathus*, *Plethodon*, *Bolitoglossa*, *Gyrinophilus* y *Pseudoeurycea* son los únicos géneros con estudios de dieta asociados.

Un 28% de los géneros son de hábitos acuáticos mientras que el 72% restante tiene hábitos terrestres, siendo el suelo el microhábitat más usado (figura 8). Se observó que los géneros *Desmognathus*, *Plethodon* y *Eurycea* pueden ocupar un mayor número de microhábitats diferentes, cuatro cada uno, seguido por *Bolitoglossa*, *Nototriton* y *Aneides* con tres microhábitats, mientras que *Chiropterotriton* y *Cryptotriton* son exclusivamente arbóreos (figura 8, material suplementario). Se registra información de microhábitat disponible para 18 géneros. El número de artículos tenido en cuenta para cada género fue *Bolitoglossa* (30), *Plethodon* (27), *Desmognathus* (24), *Eurycea* (12), *Nototriton* (3), *Aneides* (5), *Hydromantes* (2), *Gyrinophilus* (4), *Chiropterotriton* (2), *Batrachoseps* (2), *Pseudoeurycea* (5), *Rhyacotriton* (2), *Pseudotriton* (2), *Cryptotriton* (1) *Phaeognathus* (3), *Thorius* (1), *Dendrotriton* (2) y *Leurognathus* (1) (material suplementario).

No hubo un patrón claramente definido de elección de microhábitat asociado al tamaño en salamandras. Sin embargo, se observó que salamandras con un

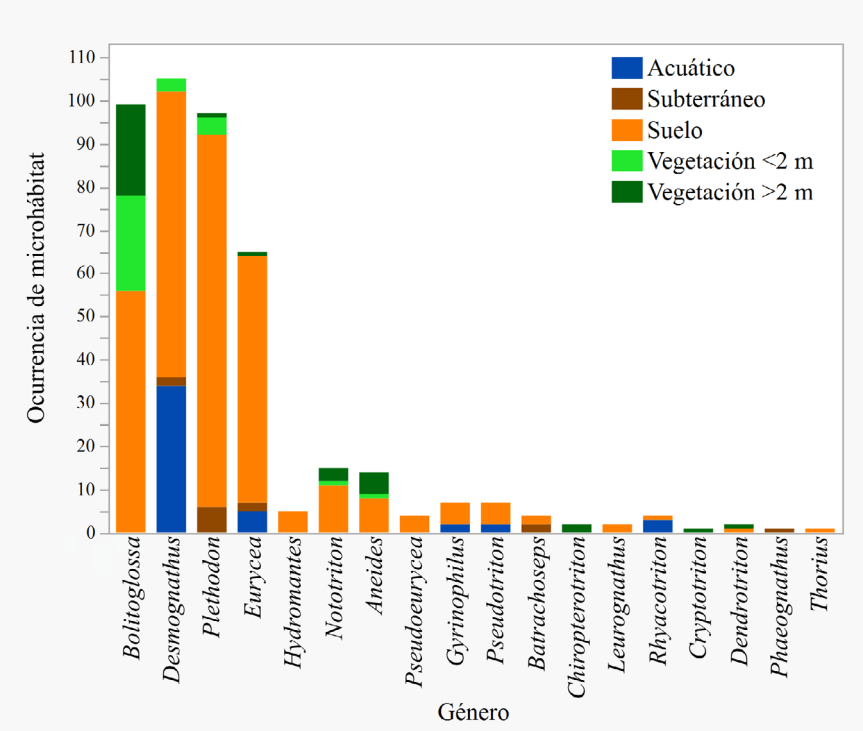

Figura 8. Microhábitats utilizados por los géneros de la familia Plethodontidae.

SVL inferior a los 90 milímetros (mm) tienden a seleccionar más el suelo (figura 9, material suplementario). En cuanto a masa corporal, en términos generales no se observó una diferenciación entre los microhábitats dado por los pesos de las especies de Plethodontidae. No obstante, las especies con un peso entre los 0,1-0,5 gramos (g) tienden a hábitos acuáticos en mayor medida con respecto a salamandras con otras masas (material suplementario).

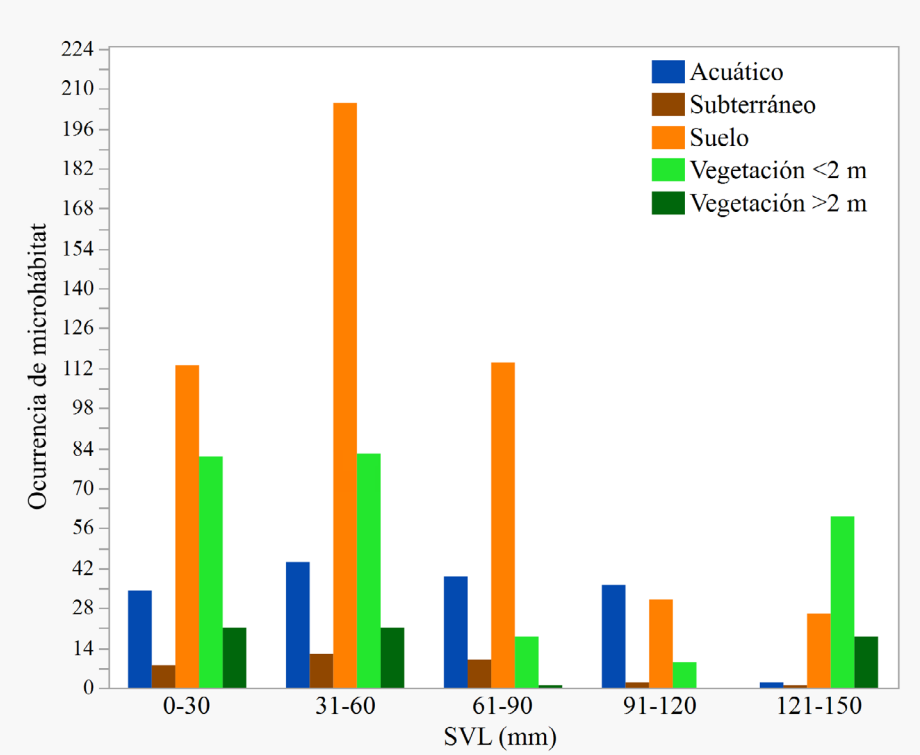

Figura 9. Microhábitats utilizados de acuerdo al SVL de salamandras de la familia Plethodontidae.

DISCUSIÓN

Patrones por revista, universidad y países

Hubo una tendencia de publicaciones en revistas norteamericanas (material suplementario) y esto se respalda con el hecho de que las universidades líderes en investigación en torno a la ecomorfología de Plethodontidae se encuentran en EEUU (material suplementario). Una posible razón por la cual las investigaciones se centran en EEUU es que existen muchas especies descritas en esta zona del continente (tabla 1, material suplementario), particularmente en el sur de los Apalaches donde se encuentran más de 50 especies de salamandras, es decir, casi un 10% de su diversidad global, posiblemente debido a las condiciones húmedas y cobertura boscosa que el lugar ofrece y la buena calidad de aire (Martof, 1962). Sin embargo, vale la pena aclarar que existe otro lugar donde puede haber una mayor diversificación de especies y es la Amazonía, debido a la composición geográfica que posee (cadena montañosa más larga y la segunda más alta, y los ríos más grandes del mundo). Las tierras bajas de esta zona aún son inexploradas, por ende, la diversidad de salamandras está altamente subestimada, y con estudios pueden aparecer más especies de las esperadas (Jaramillo et al., 2020).

Se ha encontrado que la extensión, población y producto interno bruto de cada país influye sobre el número de investigaciones, destacándose nuevamente a EEUU como líder (Ibañez, 2017). Por otra parte, de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), EEUU es uno de los mayores inversores en ciencia, teniendo en cuenta que posee más fondos con respecto a otros países latinoamericanos, permitiendo incentivar la investigación y que cada universidad pueda contar con un grupo de investigadores en cada área (Lemarchand, 2018).

Por otro lado, una de las limitantes de la ciencia en Latinoamérica es la percepción que tienen los autores con respecto a la calidad de las revistas regionales y el idioma en el que se publica, pues el 81% de la producción científica se publica en inglés, por ende, las revistas en esta lengua tienen un público objetivo más amplio, haciendo que las instituciones promuevan divulgar las investigaciones en revistas de Norteamérica y Europa para generar un mayor impacto (Ronda-Pupo, 2021).

En cuanto a los países que han estudiado menos del 40% de sus especies, estos en su mayoría son latinoamericanos, para empezar, allí se ha destinado muy poco financiamiento y el crecimiento en cuanto a la innovación y ciencia se ha dado en años recientes con respecto a otros países del mundo; se calcula que los investigadores latinoamericanos representan el 3,9% del total mundial, por lo que hay menos investigación en esta parte del continente dado que no hay suficientes recursos (Paz-Enrique et al., 2022).

Tendencias en los estudios ecomorfológicos

Se observó que desde el principio de los años en que comenzaron a realizarse publicaciones (1952-1972) se abarcaron la mayoría de las categorías, siendo historia de vida y ecología (57%) las más abordada (figura 3, material suplementario) y se evidenció que temas como perturbación (2%) y ecofisiología (2%) que son los menos tratados, aparecieron en años relativamente recientes con respecto a los demás. Esto probablemente debido a que en la década de 1980 e inicio de 1990 la comunidad científica empezó a recopilar información acerca de los declives poblacionales de anfibios, encontrando cifras alarmantes donde poblaciones completas habían desaparecido, y desde entonces se han duplicado los esfuerzos para hacer seguimiento a especies amenazadas (Tejedo, 2003).

Hay un particular interés por el estudio del género *Desmognathus* ya que todas sus especies (25) cuentan con estudios asociados a su ecomorfología (figura 4). Esto se debe a que el género se encuentra distribuido en EEUU y el sur de Canadá (Vitt & Caldwell, 2014) y como se mencionó anteriormente, esta zona tiene un mayor potencial de publicación dado que hay mayor inversión, las revistas tienen un público objetivo más amplio y una mayor extensión, población y producto interno bruto, posibilitando el abarcar más especies de este género norteamericano (Ibañez, 2017; Lemarchand, 2018; Ronda-Pupo, 2021). Una razón probable por la que algunos géneros tienen el 100% de sus especies con algún estudio ecomorfológico, es que poseen pocas si se comparan con aquellos géneros que poseen más de 100 especies (figura 4).

Por otro lado, el género *Bolitoglossa* con 136 especies, es uno de los géneros más diversos de la familia, sin embargo, solo un pequeño porcentaje ha sido estudiado a nivel ecomorfológico, esto debido a que son de naturaleza fractal, es decir, se distribuyen en parches por áreas poco exploradas del Amazonas, su pequeño tamaño y la ausencia de datos de distribución hace compleja su búsqueda y estudio y adicional a ello, que pocos se interesen por ellas (Elmer et al., 2013). La mayor cantidad de especies de *Bolitoglossa* se encuentran distribuidas en Centroamérica (Frost, 2024) y en vista de que se realizan menos estudios en estos países por factores como falta de recursos y financiación existe una mayor incertidumbre con estas especies (Lemarchand, 2018).

Aunque para esta revisión no se tuvo en cuenta datos de latitud, vale la pena mencionar que esta variable influye en la distribución y riqueza de especies y puede estar afectando variables climáticas. Por ejemplo, en regiones templadas existe una variación de temperatura extrema, haciendo que las tasas de extinción sean mayores con respecto a zonas tropicales donde hay condiciones climáticas más estables (Wiens, 2007). Particularmente, los individuos experimentan temperaturas más bajas en latitudes altas, restringiendo su actividad y a su vez afectando sus temporadas de reproducción (menos puestas o crías en temporada) haciéndolas más vulnerables a procesos de extinción (Morrison & Hero, 2003), sin embargo, especies de zonas tropicales son menos capaces de someterse a la aclimatación térmica ya que experimentan menos variabilidad térmica en sus entornos (Feder & Lynch, 1982).

Especies de latitudes más altas pasan por periodos de crecimiento y desarrollo más cortos, por lo cual tardan en alcanzar el tamaño mínimo requerido para la madurez sexual con respecto a especies tropicales. Por lo tanto, individuos de zonas templadas al crecer más lentamente, tienden a ser más grandes cuando alcanzan su edad reproductiva (Morrison & Hero, 2003).

La inclusión de la variable de latitud no contradice los patrones presentados, y podría darle más soporte. Por ejemplo, el género *Phaeognathus*, el cual es endémico de EEUU, presenta especies con rango de temperatura de 0-5 °C. Según los datos recopilados para esta revisión (material suplementario), *Phaeognathus* presenta uno de los tamaños corporales más grandes (268 mm), después del género *Isthmura* (327 mm) endémico de México, que coincide con los grandes tamaños corporales reportados para especies de altas latitudes según Morrison y Hero (2003). Especies de zonas tropicales, por ejemplo, *Bolitoglossa* presenta tamaños que no superan los 60 mm a excepción de *Bolitoglossa dofleini* a quien se le ha reportado tamaños de hasta 203 mm, sin embargo, este tamaño sigue siendo inferior a las salamandras de Norteamérica mencionadas anteriormente.

En cuanto a la ecología, las especies de Plethodontidae posiblemente tienen preferencia por altitudes bajas y medias (figura 5, material suplementario). Esta altitud coincide con la ubicación de algunos hábitats frecuentados por salamandras de la familia Plethodontidae, dentro de los que se encuentra en zonas tropicales el bosque húmedo premontano (1.000-2.000 m s. n. m.) y bosque húmedo tropical (0-1.000 m s. n. m.) (Gutiérrez, 2002), en cuanto a zonas templadas, los hábitats frecuentados son bosque caducifolio (152 m s. n. m.) (Quinn & Graves, 1999; Rissler et al., 2000) y bosque templado (45 m s. n. m.) (Hernández-Pacheco et al., 2019).

Adicionalmente, se ha encontrado que especies de los géneros *Nototriton*, *Bolitoglossa*, *Chiropterotriton* y *Pseudoeurycea*, tienen preferencias por altitudes medias (1.000-2.000 m s. n. m.); debido a que zonas con esta altitud en Norteamérica fueron colonizadas más pronto (históricamente) con respecto a altitudes altas o bajas, por ende, ha habido mayor acumulación de especies y una mayor diversidad (Wiens et al., 2007). Por otra parte, especies de Suramérica tienen preferencia por tierras bajas, explicado por las condiciones geográficas que se ofrecen en la Amazonía que es un lugar con gran diversificación de anfibios (Jaramillo et al., 2020).

Se evidenció que el género *Bolitoglossa* se encuentra en casi todos los rangos altitudinales registrados hasta el momento y esto se debe a que cuenta con muchas especies distribuidas extensamente, por lo tanto, su distribución altitudinal oscila entre los 0-2.054 m s. n. m., pudiendo habitar bosques deforestados, plantaciones de café, bosque premontano y bosques tropicales (Frost, 2024), esto puede ser posible siempre y cuando en estas altitudes se pueda encontrar una alta humedad relativa, por lo general, en los artículos consultados

las salamandras siempre se encontraban cercanas a microhábitats húmedos, ya que para ellas es más importante la hidroregulación que la termorregulación (Galindo, et al., 2018b).

Sin embargo, dentro de la familia Plethodontidae el género *Rhyacotriton* y *Pseudotriton*, son los únicos géneros que se encuentran restringidos a un rango altitudinal, explícitamente distribuidos de los 0-400 m s. n. m. y 1201-1600 m s. n. m. respectivamente en EEUU, lo anterior debido a que las especies presentan baja dispersión, reportándose que los adultos pueden registrar movimientos de 2,2 metros al año (Evelyn & Sweet, 2018).

En cuanto a temperatura, hay una preferencia por rangos de los 10-25 °C (figura 6, material suplementario). Esto sucede porque las salamandras tienen baja actividad cuando hay temperaturas extremas. Las especies distribuidas en países con estaciones buscan refugios y vuelven a salir cuando las condiciones son un poco más favorables con temperaturas aproximadas de 19 °C (Anthony et al., 2008; Bakkegard, 2002; Davis, 2002; Herbeck & Semlitsch, 2000). Cuando las temperaturas están por debajo de 10 °C, los individuos muestran reacciones como por ejemplo la pérdida de locomoción (Feder & Pough, 1975), mientras que otros pierden la cola como respuesta al estrés (Maiorana, 1977).

Las especies distribuidas en el trópico, procuran estar en lugares protegidos para evitar condiciones secas, puesto que tienen preferencia por temperaturas entre 10 y 16 °C, la inestabilidad de las condiciones ambientales puede llegar a ser crítica para las salamandras a nivel ecológico (Vial, 1967).

La humedad relativa del entorno en el que habitan las salamandras debe ser superior al 80% (figura 7, material suplementario), puesto que las salamandras son altamente dependientes de la humedad. Estas buscan refugios para ralentizar al máximo la pérdida de agua, ya que con una pérdida del 8-12% se pierde su capacidad de forrajeo y locomoción, y la disminución de agua del 18-26% pueden ser letal (Marcum & Sievert, 2001). Cualquier movimiento fuera de su refugio húmedo significa la pérdida de agua de una u otra forma (Marcum & Sievert, 2001). Por lo tanto, puede existir un riesgo de desecación en cualquier microhábitat cuya humedad relativa sea inferior al 80-100% (Camp et al., 2013). No obstante, en algunos estudios se han reportado salamandras en entornos con una humedad relativa de 40-50%, pero estas en la mayoría de los casos se encontraban bajo objetos de cobertura o en hábitats subterráneos.

En zonas tropicales, las salamandras tienen preferencia por altas humedades relativas, ya que cuando esta se encuentra por debajo del 95% se disminuye su actividad, pues hay un menor rendimiento locomotor, por ello prefieren protegerse de la pérdida de humedad (Galindo, et al., 2023). Se ha hallado que las temperaturas corporales de salamandras tropicales son similares a las del ambiente, mientras que la temperatura corporal de salamandras de zonas templadas tiende a ser mayor debido a sus adaptaciones, por lo que este factor tiene relación con la latitud (Feder & Lynch, 1982).

Para especies neotropicales en este caso *Bolitoglossa*, la temperatura varía de acuerdo al piso térmico y es por ello que esta se puede encontrar en rangos amplios de humedad y temperatura, por lo cual se hace un grupo interesante de estudiar a nivel de sus cambios fisiológicos, y de morfología asociados con estas variables ambientales.

La dieta no tiene un patrón marcado puesto que se considera variada, dado que se está evaluando a nivel de familia. Además, se debe tener en cuenta que la riqueza y abundancia de presas varía con la época del año y la disponibilidad que estas tienen en los diferentes microhábitats utilizados por las salamandras como es el caso de *Aneides flavipunctatus* (Lynch, 1985).

Por último, en cuanto a la elección de microhábitat teniendo en cuenta características morfológicas, se observa que salamandras de menor tamaño tienden a ser arbóreas con respecto a las que tienen un mayor tamaño (SVL) (figura 9), posiblemente debido a que a menor tamaño hay una mayor probabilidad de la escalada (Correa & Chagas, 2017; Mezebish et al., 2018). Además, se puede ver que los objetos de cobertura como lo son rocas, troncos y escombros (figura 8, material suplementario), son el microhábitat principal de muchas especies, ya que estos refugios le permiten evitar la desecación y la depredación (Marcum & Sievert, 2001; Pierce et al., 2010).

Perspectivas a futuro

A partir de los resultados obtenidos en la revisión, se observa una necesidad de fortalecer la investigación en Centroamérica y Suramérica (Ibañez, 2017; Jaramillo et al., 2020; Lemarchand, 2018; Ronda-Pupo, 2021). Primero porque es allí donde se encuentran grandes grupos de salamandras como es el ejemplo del género *Bolitoglossa* distribuido ampliamente en Centroamérica. Por otro lado, en la Amazonía la diversidad de especies está altamente subestimada puesto que hay muchas áreas inexploradas, por lo que vale la pena incentivar la investigación en esta zona del continente y para ello se requiere de gestionar recursos para la investigación y publicación en revistas regionales. Se observa una falencia en cuanto a la investigación de muchas especies de salamandras en América, el 85% de los países ha investigado menos del 50% de las especies totales descritas, generando vacíos de información en un tema tan relevante como lo es la ecomorfología.

Investigar las especies descritas de cada país permitirá conocer sus rangos de distribución y datos ecológicos, por lo que se podrán priorizar zonas habitadas según sus ecomorfos específicos y evitar un declive poblacional. Especies de zonas templadas que se encuentran más vulnerables a procesos de extinción deberían ser ampliamente estudiadas para poder tomar decisiones sobre su conservación y microhábitats con altos niveles de humedad deberán ser protegidos ya que se encontró que las salamandras tienen preferencias por humedades >80%. Especies tropicales como las que se encuentran en la Amazonía que aún no han sido descritas, deberían ser un foco de estudio no solo a nivel nacional si no mundial.

Se recomienda abarcar más los géneros *Oedipina*, *Thorius* y *Batrachoseps*, ya que estos tienen menos del 10% de sus especies estudiadas y su desconocimiento puede dificultar su conservación a futuro, ya que el conocer la biodiversidad y su distribución permitirá crear planes de manejo y conservación y evaluación de categorías de amenaza. Por otra parte, se resalta que es importante abarcar más el género *Bolitoglossa* puesto que es uno de los más diversos teniendo solo el 29% de sus especies estudiadas, y su desconocimiento puede hacer que se fragmenten hábitats claves para ellas.

Se considera necesario darle más visibilidad a este grupo poco conocido (salamandras) no solo en la comunidad científica, puesto que los anuros suele ser el grupo más popular, y vale la pena empezar a difundir más información sobre salamandras en medios de comunicación y escuelas; asimismo unir esfuerzos entre universidades, es decir, crear una red de autores para mantener actualizada la información existente y que las investigaciones en las mismas especies no se repitan e ir abarcando los estudios para nuevas especies.

Se sugiere encaminar investigaciones a temas como distribución, biología del desarrollo, perturbación y ecofisiología, que fueron las categorías menos trabajadas dado que son relativamente recientes, y se consideran de suma importancia. Para futuros estudios es importante tener en cuenta los artículos de descripción de especies, pues allí se pueden encontrar datos de amenaza que aportan a las estrategias de conservación. Por otro lado, es relevante incluir datos latitudinales puesto que la latitud influye fuertemente sobre variables ambientales como temperatura y humedad.

Existen muy pocos artículos que se centran en solo dieta, dado que esta solo se menciona a grandes rasgos en artículos de ecología, por lo que valdría la pena investigar en este aspecto. Cabe aclarar que hay muy pocos estudios que relacionen la morfología y elección de microhábitat, lo cual se considera pertinente de investigar para que a futuro estos microhábitats puedan ser protegidos en mayor medida.

Por último, cabe destacar que los resultados de tendencia de temperatura y humedad dan cuenta de lo fundamental que resulta unas condiciones óptimas para que esta familia de salamandras pueda sobrevivir a futuro, por lo cual, prestar atención especial a los hábitats de los cuales dependen estas especies pueden asegurar su conservación a largo plazo, asimismo tener en cuenta los microhábitats utilizados por las salamandras para así evitar a futuro su fragmentación y disminuir con el paso del tiempo las poblaciones.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Universidad Militar Nueva Granada, al semillero de evolución y conservación (SEC) por la retroalimentación dada durante la elaboración del mismo. El documento escrito fue mejorado gracias a los comentarios de Nicolás Co-

rredor, José Agreda, Lina Ramírez Medina y dos evaluadores anónimos. Producto derivado del proyecto (INV-CIAS-3128) financiado por la vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad Militar Nueva Granada –Vigencia (2020).

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

PAMM recopilación de datos, tabulación, elaboración de gráficas y escritura del documento, NAB asesoría para tabulación, elaboración de gráficas y escritura del documento y NRPS planeación de la investigación, y escritura del documento.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

MATERIAL SUPLEMENTARIO

Disponible en: Material Suplementario

REFERENCIAS

Anthony, D., Venesky, M. & Hickerson, C. (2008). Ecological separation in a polymorphic terrestrial salamander. *Journal of Animal Ecology, 77*(4), 646-653. https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2008.01398.x

Ahumada-Carrillo, I., Grünwald, C., Jones, J., Ramírez-Chaparro, R., Morales-Flores, K., Montaño, C. & Franz-Chávez, H. (2020). Redescubrimiento y extensión del rango de distribución de la cuilisa, *Bolitoglossa hermosa papenfuss*, Wake, and Adler 1984 (Caudata: Plethodontidae) en el estado de Guerrero, México. *Revista Latinoamericana de Herpetología, 3*(1), 118-120. https://doi.org/10.22201/fc.25942158e.2020.1.132

Bakkegard, K. (2002). Activity patterns of Red Hills salamanders (*Phaeognathus hubrichti*) at their burrow entrances. *Copeia, 2002*(3), 851-856. https://doi.org/10.1643/0045-8511(2002)002[0851:APORHS]2.0.CO;2

Betz, O. (2006). Ecomorphology: integration of form, function, and ecology in the analysis of morphological structures. *Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für Allgemeine und Angewandte Entomologie, 15*, 409-416.

Bock, W. (1994). Concepts and methods in ecomorphology. *Journal of Biosciences, 19*(4), 403-113. Doi: 10.1007/BF02703177

Bolochio, B., Lescano, J., Cordier, J., Loyola, R. & Nori, J. (2020). A functional perspective for global amphibian conservation. *Biological Conservation, 245*(108572), 1-9. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108572

Brown, T. (2020). Salamander using its prehensile tail - *Bolitoglossa* cf. *nympha* (Plethodontidae; sub-genus *Nanotriton*), Honduras. *British Herpetological Society Bulletin, 152*, 36-37. https://doi.org/10.33256/152.3637

Camp, C., Wooten, J., Jensen, J. & Bartek, D. (2013). Role of temperature in determining relative abundance in cave twilight zones by two species of lungless salamander (family Plethodontidae). *Canadian Journal of Zoology, 92*, 119-127. https://doi.org/10.1139/cjz-2013-0178

Capshaw, G., Soares, D. & Carr, C. (2019). Bony labyrinth morphometry reveals hidden diversity in lungless salamanders (Family Plethodontidae): structural correlates of ecology, development, and vision in the inner ear. *Evolution, 73*(10), 2135-2150. Doi: 10.1111/evo.13837

Correa, F. & Chagas, L. (2017). On the distribution of Neotropical climbing salamanders (*Bolitoglossa paraensis*) in a forest fragment of the eastern Amazon. *Salamandra, 53*(3), 445-450.

Davic, R. & Welsh, H. (2004). On the ecological roles of salamanders. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 35*, 405-434. https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.35.112202.130116

Davis, T. (2002). Microhabitat use and movements of the wandering salamander, *Aneides vagrans*, on Vancouver Island, British Columbia, Canada. *Journal of Herpetology, 36*(4), 699-703. https://doi.org/10.2307/1565945

Drukker, S., Cecala, K., Gould, F., McKenzie B. & Van, C. (2018). The ecology and natural history of the Cumberland Dusky Salamander (*Desmognathus abditus*): distribution and demographics. *Herpetological Conservation and Biology, 13*(1), 33-46.

Duarte-Marín, S., González-Acosta, C. & Vargas-Salinas, F. (2018). Estructura y composición de ensamblajes de anfibios en tres tipos de hábitat en el Parque Nacional Natural Selva de Florencia, Cordillera Central de Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 42*(163), 227-236. https://doi.org/10.18257/raccefyn.631

Elmer, R., Bonett, M., Wake, D. & Lougheed, S. (2013). Early Miocene origin and cryptic diversification of South American salamanders. *BMC Evolutionary Biology, 13*(4), 1-16. Doi: 10.1186/1471-2148-13-59

Evelyn, C. & Sweet, S. (2018). *Southern torrent salamander (Rhyacotriton variegatus)* [Archivo PDF]. https://www.researchgate.net/publication/328346417_Southern_Torrent_Salamander_Rhyacotriton_variegatus_Species_Account_for_US_Forest_Service_Region_5_Pre-public_Review_draft_August_2018. Doi: 10.13140/RG.2.2.10351.48806

Feder, M. & Lynch, J. (1982). Effects of latitude, season,

elevation, and microhabitat on field body temperatures of neotropical and temperate zone salamanders. *Ecology, 63*(6), 1657-1664. https://doi.org/10.2307/1940107

Feder, M. & Pough, H. (1975). Temperature selection by the red-backed salamander, *Plethodon c. cinereus* (green) (caudata: plethodontidae). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A, 50*(1), 91-98. Doi: 10.1016/S0010-406X (75)80207-6

Flores, B., Verdezota, M., Simbaña, J. & Domínguez-Gaibor, I. (2022). Posibles efectos del cambio climático en los anfibios de la Amazonía Ecuatoriana. *Green World Journal, 5*(1/006), 1-25. Doi: 10.53313/gwj51006

Frost, D. (2020). *Amphibian Species of the World: An Online Reference.* https://amphibiansoftheworld.amnh.org/index.php

Frost, D. (2024). *Amphibian Species of the World: An Online Reference.* https://amphibiansoftheworld.amnh.org/index.php

Galindo, C., Cruz, E. & Bernal, M. (2018a). Evaluation of the combined temperature and relative humidity preferences of the Colombian terrestrial salamander. *Canadian Journal of Zoology, 96*(11), 1-31.

Galindo, C., Cruz, E. & Bernal, M. (2018b). Evaluation of the combined temperature and relative humidity preferences of the Colombian terrestrial salamander *Bolitoglossa ramosi* (Amphibia: Plethodontidae). *Canadian Journal of Zoology, 96*(21), 1230-1235. Doi: 10.1139/cjz-2017-0330

Galindo, C., Gutiérrez, K., Calvache, L. & Bernal, M. (2023). Effect of hydration state on locomotor performance and water searching behavior of the terrestrial lungless salamander *Bolitoglossa ramosi. Journal of Zoology, 322*(1), 35-41. https://doi.org/10.1111/jzo.13121

Gladstone, N., Carter, E., Kendall, K., Hayter, L. & Niemiller, M. (2018). A new maximum body size record for the Berry Cave Salamander (*Gyrinophilus gulolineatus*) and genus *Gyrinophilus* (Caudata, Plethodontidae) with a comment on body size in plethodontid salamanders. *Subterranean Biology, 28*, 29-38. https://doi.org/10.3897/subtbiol.28.30506

Gutiérrez, H. (2002). Aproximación a un modelo para la evaluación de la vulnerabilidad de las coberturas vegetales de Colombia ante un posible cambio climático utilizando sistemas de información geográfica SIG con énfasis en la vulnerabilidad de las coberturas nival y de páramo de Colombia. En C. Castaño (Ed.), *Páramos y ecosistemas alto andinos de Colombia en condición hotspot y global climatic tensor* (pp. 335-3770). IDEAM.

Hairston, N. (1949). The local distribution and ecology of the Plethodontid salamanders of the Southern Appalachians. *Ecological Monographs, 19*(1), 47-73. https://doi.org/10.2307/1943584

Herbeck, L. & Semlitsch, R. (2000). Life history and ecology of the Southern Redback Salamander, *Plethodon serratus*, in Missouri. *Journal of Herpetology, 34*(3), 341-347. https://doi.org/10.2307/1565354

Hernandez, A. (2018). On the distribution of Bolitoglossa altamazonica and *B. peruviana* (Caudata: Plethodontidae) in the Peruvian Amazon with observations on their ecology and conservation. *Nature Conservation Research, 3*, 131-135. Doi: 10.24189/ncr.2018.030

Hernández-Pacheco, R., Sutherland, C., Thompson, L. M. & Grayson, K. L. (2019). Unexpected spatial population ecology of a widespread terrestrial salamander near its southern range Edge. *The Royal Society, 6*(6), 1-10. https://doi.org/10.1098/rsos.182192

Ibañez, J. (2017). La ciencia latinoamericana: tendencias y patrones. *Revista de la facultad de ciencias, 7*(1), 23-39. https://doi.org/10.15446/rev.fac.cienc.v7n1.69409

Jaramillo, A., De La Riva, I., Guayasamin, J., Chaparro, J., Gagliardi-Urrutia, G., Gutiérrez, R., Brcko, I., Vilá, C. & Castroviejo-Fisher, S. (2020). Vastly underestimated species richness of Amazonian salamanders (Plethodontidae: *Bolitoglossa*) and implications about plethodontid diversification. *Molecular Phylogenetics and Evolution, 149* (106841), 1-23. https://doi.org/10.1016/j.ympev.2020.106841

JMP®, Version 9.0.1. SAS Institute Inc., Cary, NC, 1989–2023.

Lemarchand, G. (2018). América Latina. En UNESCO (Ed.), *Informe de la UNESCO sobre ciencia* (pp.127). Ediciones UNESCO.

López, J. (2019). *Ecomorfología de salamandras Neotropicales* [Tesis de maestría, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional]. https://repositorio.cinvestav.mx/bitstream/handle/cinvestav/1630/SSIT0016056.pdf?sequence=1

Lynch, J. (1985). The feeding ecology of *Aneides flavipunctatus* and sympatric Plethodontid salamanders in Northwestern California. *Journal of Herpetology, 19*(3), 328-352. https://doi.org/10.2307/1564262

Maiorana, V. (1977). Observations of salamanders (Amphibia, Urodela, Plethodontidae) dying in the field. *Journal of Herpetology,11*(1), 1-5. https://doi.org/10.2307/1563284

Marcum, C. & Sievert, L. (2001). Temperature-mediated characteristics of the dusky salamander (*Desmognathus fuscus*) of southern Appalachia. *Journal of Thermal Biology, 26*, 547-554. https://doi.org/10.1016/S0306-4565(00)00052-8

Martof, B. (1962). Some aspects of the life history and ecology of the salamander *Leurognathus. The American Midland Naturalist, 67*(1), 1-37. https://doi.org/10.2307/2422814

Mendieta, R., Zolotoff, J., Suk, J., Cobos, M., De Los Santos, M., Jun, J., Sandino, R., Ketelhohn, E. & Casco-Robles, M. (2019). Constricted spatiotemporal foraging of the

regenerating salamander, *Bolitoglossa mombachoensis. Ecosphere, 10*(10), 2-6. https://doi.org/10.1002/ecs2.2897

Mezebish, T., Blackman, A. & Novarro, A. (2018). Salamander climbing behavior varies among species and is correlated with community composition. *Behavioral Ecology, 29*(3), 686-692. https://doi.org/10.1093/beheco/ary022

Moen, D. (2019). What determines the distinct morphology of species with a particular ecology? The roles of many-to-one mapping and trade-offs in the evolution of frog ecomorphology and performance. *The American Naturalist, 194*(4), 1-89. Doi: 10.1086/704736

Morrison, C. & Hero, J. (2003). Geographic variation in life-history characteristics of amphibians: a review. *Journal of Animal Ecology, 72*(2), 270-279. https://doi.org/10.1046/j.1365-2656.2003.00696.x

Parra-Olea, G., Flores-Villela, O. & Mendoza-Almeralla, C. (2014). Biodiversidad de anfibios en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad, 85*(SUPPL.), 460–466. https://doi.org/10.7550/rmb.32027

Paz-Enrique, L., Núñez-Jover, J. & Hernández-Alfonso, E. (2022). Pensamiento latinoamericano en ciencia, tecnología e innovación: políticas, determinantes y prácticas. *Desde el Sur, 14*(1), 1-36.

Pierce, B., Christiansen, J., Ritzer, A. & Jones, T. (2010). Ecology of Georgetown salamanders (*Eurycea naufragia*) within the flow of a spring. *Southwestern Association of Naturalists, 55*(2), 291-297. http://dx.doi.org/10.21142/des-1401-2022-0008

Quinn, G. P. & Keough, M. J. (2002). *Experimental design and data analysis for biologists.* Cambridge university press.

Quinn, V. & Graves, B. (1999). Space use in response to conspecifics by the Red-backed Salamander (*Plethodon cinereus*, Plethodontidae, Caudata). *Ethology, 105*(11), 993-1002. https://doi.org/10.1046/j.1439-0310.1999.00486.x

R Core Team. (2020). *The R Project for statistical computing.* http://www.r-project.org/index.html

Rissler, L., Barber, A. & Wilbur, H. (2000). Spatial and behavioral interactions between a native and introduced salamander species. *Behavioral Ecology and Sociobiology, 48*, 61-68. Doi: 10.1007/s002650000207

Roach, N., Urbina-Cardona, N. & Lacher, T. (2020). Land cover drives amphibian diversity across steep elevational gradients in an isolated neotropical mountain range: implications for community conservation. *Global Ecology and Conservation, 22*, 1-14. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e00968

Ronda-Pupo, G. (2021). Producción científica e impacto del sistema de ciencia de Latinoamérica y el Caribe en revistas de la región. *Investigación bibliotecológica, 35*(88), 45-62. https://doi.org/10.22201/iibi.24488321xe.2021.88.58358

Sasso, T., Cox, C. & Gilroy, D. (2020). Social behavior in Nototriton brodiei in the cloud forest of Cusuco National Park, Honduras. *South American Journal of Herpetology, 17*(1), 29-32. Doi: 10.2994/SAJH-D-18-00015.1

Sherratt, E., Anstis, M. & Scott, J. (2018). Ecomorphological diversity of Australian tadpoles. *Ecology and Evolution, 8*(24), 12929-12939. https://doi.org/10.1002/ece3.4733

Solano-Zavaleta, I., García-Vázquez, U. O. & Mendoza-Hernández, A. (2009). Notas sobre la distribución geográfica de las salamandras *Pseudoeurycea gadovii* y *Pseudoeurycea melanomolga* (Caudata: Plethodontidae). *Revista Mexicana de Biodiversidad, 80*(1985), 575–577.

Southerland, M., Jung, R., Mercurio, G., Chellman, I., Baxter, D. & Vølstad, J. (2004). Stream salamanders as indicators of stream quality in Maryland, USA. *Applied Herpetology, 2*, 23-46. https://doi.org/10.1163/1570754041231596

Tejedo, M. (2003). El declive de los anfibios. La dificultad de separar las variaciones naturales del cambio global. *Munibe, 16*, 20-43.

Vial, J. (1967). The ecology of the tropical salamander, *Bolitoglossa subpalmata*, in Costa Rica. *Revista de Biología Tropical, 15*(1), 13-115. https://doi.org/10.15517/rev.biol.trop.1967.28476

Vitt, L. & Caldwell, J. (2014). Chapter 16 – Salamanders. En L. Vitt & J. Caldwell (Ed.), *Herpetology: An Introductory Biology of Amphibians and Reptiles* (pp. 457-469). Academic Press.

Wiens, J. (2007). Global patterns of diversification and species richness in amphibians. *The American Naturalist, 170*(S2), 86-106. Doi: 10.1086/519396

Wiens, J., Parra-Olea, G., García-París, M. & Wake, D. (2007). Phylogenetic history underlies elevational biodiversity patterns in tropical salamanders. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 274*(1612), 919-928. Doi: 10.1098/rspb.2006.0301