



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE CIENCIAS**

Conservación desde el enfoque  
de la ecología funcional, el caso particular de los  
anfibios

**SEMINARIO DE TITULACIÓN**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**BIÓLOGA**

**P R E S E N T A:**

**Anahí Camarena Hernández**



**TUTORA:  
Dra. Leticia Margarita Ochoa Ochoa**

**2018**

## HOJA DE DATOS DEL JURADO

### 1. Datos del alumno

Apellido paterno	Camarena
Apellido materno	Hernández
Nombre	Anahí
Teléfono	55-19-16-27-72
Universidad Nacional Autónoma de México	Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad	Facultad de Ciencias
Carrera	Biología
Número de cuenta	309125482

### 2. Datos del tutor

Grado	Doctora
Nombre(s)	Leticia Margarita
Apellido paterno	Ochoa
Apellido materno	Ochoa

### 3. Datos del sinodal 1

Grado	Doctor
Nombre(s)	Oscar Alberto
Apellido paterno	Flores
Apellido materno	Villela

### 4. Datos del sinodal 2

Grado	Doctor
Nombre(s)	José Jaime
Apellido paterno	Zúñiga
Apellido materno	Vega

### 5. Datos del sinodal 3

Grado	Doctor
Nombre(s)	Pedro Eloy
Apellido paterno	Mendoza
Apellido materno	Hernández

### 6. Datos del sinodal 3

Grado	Doctor
Nombre(s)	Hibrahim Adán
Apellido paterno	Pérez
Apellido materno	Mendoza

### 7. Datos del trabajo

Título: Conservación desde el enfoque de la ecología funcional, el caso particular de los anfibios  
No de páginas: 45  
Año: 2018

## **Agradecimientos**

A la Universidad Nacional Autónoma de México, mi segunda casa

A la Dra. Leticia Margarita Ochoa Ochoa por aceptarme, por su confianza, paciencia y asesoría a lo largo del desarrollo de este trabajo

Al Biól. Luis Meza Arcos, por el apoyo, los ánimos y permisos otorgados los cuales me permitieron culminar mi trabajo

A mis compañeros y amigos del UNIVERSUM que me apoyaron y me dieron ánimos cuando más lo necesitaba

A mis amigos y familia por el amor y la paciencia que me brindaron

A Israel Hernández por sus comentarios y sugerencias, así como por su compañía e incansable apoyo y cariño a lo largo de esta aventura

# Índice

Resumen .....	5
Introducción.....	6
Justificación.....	7
Antecedentes .....	8
1. Cambios globales .....	8
1.1. Orígenes de los cambios globales .....	9
1.2. Consecuencias de los cambios globales en las especies.....	11
2. Declinación de las poblaciones de anfibios.....	12
3. Ecología funcional.....	16
3.1. Rasgos funcionales.....	17
3.2. Diversidad funcional.....	18
Objetivo.....	19
Objetivos particulares .....	19
1. Rasgos funcionales y anfibios: revisión de trabajos .....	20
1.1. Australia .....	20
1.2. América Latina .....	23
2. Rasgos funcionales utilizados en los estudios y resultados más relevantes.....	24
3. Compilación de rasgos funcionales.....	27
4. Problemas del uso de rasgos funcionales .....	29
5. Importancia del uso de rasgos funcionales en la conservación.....	32
Conclusiones .....	33
Literatura citada .....	35
Apéndice .....	43

## Resumen

Los cambios de origen antropogénico que ocurren actualmente a nivel global ocasionan una respuesta negativa por parte de la biodiversidad, particularmente en el grupo de los anfibios debido a que generan alteraciones en sus aspectos ecológicos. Por tanto, la conservación de los anfibios posee un papel primordial ante dicho escenario, así como la necesidad de utilizar información ecológica para mejorar este trabajo de conservación. Para ello el uso de *características o rasgos ecológicos (traits)*, los cuales refieren a rasgos que poseen los individuos vistos en su contexto ecológico, en trabajos de conservación o relacionados al declive de las poblaciones de anfibios debe ser fundamental.

Sin embargo, el uso del término *característica (trait)* es escaso en la literatura y los trabajos desarrollados al respecto se concentran únicamente en dos áreas: Australia y América Central. No existe un consenso claro respecto a que *características* son de mayor relevancia para los anfibios, sin embargo, la revisión realizada permite identificar a *una etapa acuática a lo largo de su historia de vida, un rango de distribución geográfico pequeño y un tamaño de puesta pequeño*, como aspectos asociados a la sensibilidad de las especies al declive. Es necesario aumentar los trabajos que consideren estos *rasgos* en los análisis, así como las áreas donde se realizan.

Por otro lado, se compiló la información publicada disponible acerca de los *rasgos* para 819 especies de anfibios de los países de Brasil y Colombia, particularmente 13 *rasgos* relacionados a la historia de vida de los anfibios logrando una completitud del 73.47% de la base de datos. Destaca el trabajo de concentración, depuración, organización y actualización de la información disponible que resulta en una herramienta poderosa que abre la posibilidad de encaminar y priorizar acciones de conservación para el grupo de anfibios.

## **Introducción**

En la actualidad, la biodiversidad a nivel global se encuentra amenazada por múltiples factores los cuales provocan la pérdida de especies, este proceso de extinción se diferencia de otros periodos ocurridos con anterioridad debido a la velocidad con la cual ocurre, caracterizada por ser una época de cambios globales acelerados. La extinción de un linaje es parte del ciclo evolutivo, sin embargo la presencia de la especie humana coincide con la desaparición de mayor número de especies, en un periodo evolutivo y geológico sumamente corto (Dirzo and Raven 2003). En el caso de los anfibios, y debido a sus particularidades ecológicas, esta desaparición parece estar ocurriendo con mayor velocidad (Stuart et al. 2004). Debido a lo anterior, es preciso recurrir a medidas de conservación para este grupo taxonómico, las cuales además cumplan con la condición de ser efectivas y adecuadas para mantener la funcionalidad de los ecosistemas donde habitan. Por ello, se presenta la oportunidad de considerar la ecología funcional como un enfoque adecuado para lograr la conservación de los anfibios, particularmente al considerar la situación actual global, donde las modificaciones y cambios globales generan un impacto importante en las especies.

## **Justificación**

Las estrategias de conservación tradicionales en los anfibios se enfocan en proteger al mayor número de individuos, sin embargo, recientemente la visión ha cambiado considerando además las características ecológicas de los organismos por medio de la ecología funcional. Esta visión reconoce a los anfibios dentro de su contexto ecológico, y otorga también importancia de conservación a las interacciones que estos tienen dentro del ecosistema.

Esta visión funcional en la conservación se puede lograr por medio del uso de rasgos funcionales en las investigaciones, así como al considerar los cambios globales que afectan los ecosistemas de los individuos. Los anfibios representan un grupo donde la declinación de poblaciones a nivel global está bien documentada y reconocida, y por lo tanto resulta en un buen sistema de estudio para analizar e identificar la información disponible respecto a los rasgos funcionales y el uso dado a esta información, con la finalidad de generar acciones de conservación.

La compilación de información permite además reconocer el panorama actual respecto al tema de los rasgos funcionales en acciones de conservación para los anfibios, así como la disponibilidad de información útil para futuras investigaciones.

## Antecedentes

### 1. Cambios globales

En fechas recientes es común encontrar los términos cambio climático global (global climatic change), cambio climático (climatic change), cambio ambiental global (global environmental change) o cambio global (global change) dentro de los reportes y estudios desarrollados en torno a la situación ambiental actual del planeta, y en varias ocasiones se utilizan como si fueran conceptos sinónimos. Sin embargo, cada uno posee acepciones diferentes, por ello es importante identificar los alcances de cada término para utilizarlo correctamente dentro de la literatura científica.

La expresión *cambio climático global* o *cambio climático* refiere únicamente a las alteraciones en el clima (comprendido como las características atmosféricas de un lugar) de un área o de los patrones globales identificados a lo largo de la historia de la tierra. En las últimas décadas, las alteraciones climáticas poseen una tendencia clara y se asocian en su mayoría a causas antropogénicas (Lorente et al. 2004).

El término *cambio global* refiere a cambios en escala planetaria que ocurren en los sistemas terrestres, identificando estos sistemas como los océanos, la tierra, la atmósfera, los polos, la vida en general, así como los ciclos naturales del planeta. Actualmente los sistemas terrestres incluyen a la sociedad humana, y por tanto a los cambios que ocurren en ella (IGBP, adaptación)<sup>1</sup>. Sin embargo, *cambio global* se encuentra en la literatura relacionado a cambios en los sistemas terrestres que se asocian directamente o indirectamente a las actividades humanas. Estas modificaciones se identifican a nivel local y regional, y sus consecuencias a un nivel local pudiendo integrarse en un cuadro global (D'Antoni 2012).

Es importante diferenciar entre *cambio climático global* y *cambio global*, debido a que el segundo término encierra al primero. Aunque los cambios en los sistemas terrestres frecuentemente ocasionan un cambio en el clima, algunos pueden ocasionar consecuencias significativas sin influir en él. Por otro lado cuando se utiliza el término *cambio ambiental global*, su uso parece asociarse a la definición de *cambio global*, ya

---

<sup>1</sup>International Geosphere-Biosphere Programme - IGBP

que incluye modificaciones sistémicas que ocurren globalmente en los mayores sistemas de la geósfera y la biósfera, y los cambios acumulados que representan el conjunto de cambios localizados (Turner et al. 1990). Los cambios a escala global generalmente son considerados como producto de la actividad humana, puesto que son acumulativos, es decir, son resultado de pequeñas modificaciones locales que afectan un sistema global.

Identificar el término que se maneja en los artículos y el significado que se le da resulta fundamental al analizar la información disponible al respecto. Para fines de este ensayo, se utilizará el término *cambio global* o cambios globales, ya que hace referencia a cambios a nivel planetario en los sistemas terrestres y al mismo tiempo asocia las modificaciones a fuentes antropogénicas.

### **1.1. Orígenes de los cambios globales**

Las fuentes que originan los cambios globales se pueden clasificar en dos tipos, de origen natural o de origen antropogénico; las primeras se asocian a fuerzas externas como las variaciones en la radiación solar o cambios inherentes en el sistema, mientras que las segundas tienen orígenes antropogénicos (Muccione and Schaepman 2014). Para el análisis que se realizará, solo será necesario restringirse a las causas de origen antropogénico.

Algunos de los factores humanos asociados a los cambios globales son el aumento en los niveles atmosféricos de CO<sub>2</sub>, cambios en los ciclos biogeoquímicos, la pérdida y fragmentación del hábitat, así como la sobreexplotación de especies y/o ecosistemas, la introducción de especies exóticas, el cambio del uso de suelo, la polución, la eutrofización de las aguas, el calentamiento global, entre otros (Brook, Sodhi, and Bradshaw 2008; Kerr, Kharouba, and Currie 2007; Tylianakis et al. 2008; Vitousek 1994).

El calentamiento global de origen antropogénico, reconocido con un aumento de alrededor de 0,5 °C durante el siglo pasado (Crutzen 2006) es uno de los principales eventos generador de cambios globales. El aumento en la temperatura es consecuencia de un incremento en el efecto invernadero resultado a su vez de una acentuación en las emisiones humanas de gases de efecto invernadero a la atmósfera. El dióxido de carbono es el mayor responsable del calentamiento desde la revolución industrial (Steffen et al.

2011), sin embargo otros gases como el metano, segundo en importancia para el efecto invernadero y originado por la actividad agrícola y ganadera; el ozono, producido principalmente por automóviles; y los clorofluorocarbonos (CFC), usados como refrigerantes; también son relevantes (D'Antoni 2012).

El cambio en los niveles de CO<sub>2</sub> en la atmósfera es el evento que se menciona con mayor frecuencia en la literatura debido a que existe un consenso general respecto al origen antropogénico del aumento e incluso se reconoce como la alteración humana mejor documentada (Vitousek 1994; Vitousek et al. 1997).

Otro factor relevante que ocasiona modificaciones en los sistemas terrestres es el cambio de la cobertura del suelo, que se puede definir como la alteración de la naturaleza física o biótica de un sitio, y la conversión del suelo siempre va asociada a un cambio en el uso del suelo. También es uno de los cambios globales bien documentados, ya que se ha transformado de un tercio a la mitad de la superficie terrestre libre de hielo (Vitousek 1994). Existe un consenso que reconoce al cambio del uso del suelo como la causa más importante del cambio global que afecta los sistemas ecológicos, ya que modifica los ciclos biogeoquímicos y añade o remueve especies y/o poblaciones en la mayoría de los ecosistemas terrestres. Las modificaciones realizadas para producir bienes y servicios resultan en la alteración de los ecosistemas, afectando la interacción con otros sistemas terrestres, cómo la atmósfera y la hidrósfera, e incluso con la tierra circundante (Vitousek et al. 1997).

Además, cuando se reúnen los dos procesos mencionados anteriormente, el cambio del uso del suelo y los aumentos en los niveles de CO<sub>2</sub> atmosférico, se alteran los ciclos biogeoquímicos de la tierra. Los que resultan más afectados por la actividad humana son el ciclo de nitrógeno, del carbono y del azufre (Crutzen 2006; D'Antoni 2012; Vitousek 1994; Vitousek et al. 1997).

Existen más eventos que generan cambios globales en el planeta como la pesca intensiva, que daña los hábitats marinos y puede alterar las redes tróficas, el adelgazamiento de la capa de ozono resultado del uso de CFC o el traslado de especies invasoras y exóticas por el ser humano (Pecl et al. 2017).

Los cambios ocasionados por el ser humano a la dinámica planetaria son tan grandes que la Tierra ha entrado en una nueva época geológica, ya que de acuerdo con Steffen *et*

*al.*, 2011, la humanidad misma se ha convertido en una fuerza geofísica global, similar a algunas de las "grandes fuerzas de la Naturaleza" en términos de funcionamiento del Sistema Tierra, debido a lo cual esta nueva época recibe el nombre de "Antropoceno". Este término que comienza a aplicarse en la literatura (Crutzen 2006) es una muestra de la relevancia de los cambios globales que puede ocasionar la humanidad.

## **1.2. Consecuencias de los cambios globales en las especies**

La respuesta de las especies a los cambios globales es variada, aunque pueden existir especies que momentáneamente se vean favorecidas por las nuevas condiciones ambientales, por ejemplo plantas que aumentan su crecimiento con mayores niveles de CO<sub>2</sub> atmosférico o crecimientos explosivos de algas, a la larga estos cambios parecen ser negativos para la dinámica ecológica de la vida en la tierra (D'Antoni 2012).

Diversos autores coinciden al reconocer tres factores principales asociados a la presencia del humano que inducen u ocasionan la amenaza y la extinción de las especies. El factor que parece ser predominante es la pérdida de hábitat, resultado de actividades asociadas al cambio del uso del suelo, como la agricultura o la ganadería, actividades de extracción y actividades de desarrollo e infraestructura (Bellard et al. 2014; Dirzo and Raven 2003; Young et al. 2004). Los otros dos factores con mayor relevancia es la explotación directa de las especies, ya sea por comercio, caza o colecta, y la invasión de especies no-nativas, resultado del transporte y mal manejo realizado por el hombre (Bellard et al. 2014; Brook et al. 2008; Dirzo and Raven 2003)

Por otro lado, la respuesta de las especies actuales y del pasado a los cambios ambientales muestra la posibilidad de que el cambio climático de origen antropogénico sea la mayor causa de extinciones en el futuro próximo e igualmente una amenaza a la biodiversidad global (Thomas et al. 2004; Vitousek et al. 1997). Sin embargo, la pérdida de la diversidad biológica finalmente será resultado de las interacciones entre los diversos factores que ocasionan cambios globales, ya que no actúan de forma individual y forman mecanismos de auto-refuerzo que aceleran su efecto y por tanto la dinámica de extinción (Brook et al. 2008; Thomas et al. 2004). Las interacciones sinérgicas entre la caza, la pérdida del hábitat, la presencia de especies invasoras y cambio climático están revelando una tendencia creciente (Brook et al. 2008).

Para el caso particular de los anfibios, grupo taxonómico en el cual se centrará el presente ensayo, muchos factores de los mencionados y explicados anteriormente amenazan la supervivencia del grupo. Los cambios globales afectan directamente a sus poblaciones, así como los eventos que originan estos cambios globales, además para este grupo las interacciones sinérgicas de factores, mucho más difíciles de comprender y estudiar, parecen ser el factor principal que genera una disminución en las poblaciones (Stuart et al. 2004; Whittaker et al. 2013).

## **2. Declinación de las poblaciones de anfibios**

A partir de la década de 1980 varios herpetólogos comenzaron a documentar disminuciones en las poblaciones de anfibios por medio de estudios llevados a cabo principalmente en el Neotrópico (Young et al. 2001), los cuales fueron presentados durante el Primer Congreso Mundial de Herpetología realizado en 1989. Posteriormente, en 1990, se abordó con preocupación la posibilidad de enfrentarse ante un patrón global de declinación de anfibios dentro de un taller financiado por el *National Research Council*, donde los participantes presentaron las tendencias de disminución de las poblaciones y de las distribuciones geográficas (Collins and Storfer 2003; Molina and Péfaur 2010), lo cual llevó a identificar el fenómeno que se conoce como “declive global de los anfibios”, y hace referencia a la declinación severa de sus poblaciones alrededor del mundo. En la actualidad se estima que casi un tercio de las especies de anfibios se encuentran en riesgo de extinción y el 43% experimentan pérdidas de población (Whittaker et al. 2013).

Muchas causas potenciales de este declive han sido estudiadas (Blaustein et al. 2011; Collins and Storfer 2003; Whittaker et al. 2013), y varias de ellas se asocian directamente con los factores responsables de los cambios globales que están ocurriendo (Corn 2005; Pounds et al. 2007).

Varios estudios reconocen a los anfibios como organismos sensibles a las perturbaciones ambientales, debido a sus características de historia de vida que incluyen su presencia en ambientes acuáticos y terrestres, el hábitat de cría y su posición en la cadena alimenticia (Allentoft and O'Brien 2010; Whittaker et al. 2013). Esto debido, por ejemplo, a la estrecha relación que tienen los anfibios con el agua, ya que ésta debe estar

presente durante el ciclo de vida, sobre todo durante la reproducción (ya sea en forma de cuerpos de agua o en forma de humedad), o por las particulares fisiológicas de la piel que permiten un intercambio gaseoso (Vitt & Caldwell, 2014). Otro ejemplo de cómo se ven afectados por las perturbaciones se identifica cuando ocurren alteraciones en el micro hábitat, del cual dependerá gran parte de su termorregulación (Wells 2010).

Los factores responsables del declive de las poblaciones son diversos, como se mencionó anteriormente, y parecen cambiar de acuerdo a la región o a la población, incluso van a variar dependiendo de qué etapa del ciclo de vida de los anfibios estén afectando (Blaustein et al. 2011; Blaustein and Kiesecker 2002). El factor más significativo que genera descenso en las poblaciones es la destrucción o alteración del hábitat, aspecto donde se puede incluir la degradación, la fragmentación y la desconexión del mismo (Becker et al. 2007; Blaustein et al. 2011; Blaustein and Kiesecker 2002; Whittaker et al. 2013). Una muestra de ello es un estudio realizado en los Andes, donde varias especies del género *Pristimantis* experimentaron disminuciones significativas en la abundancia, supervivencia y tasa de crecimiento debido a la alteración de los bosques (Cole et al. 2014). Otro factor de suma importancia es la introducción de especies exóticas, debido a que dichas especies pueden actuar como competidores y/o depredadores de las especies nativas, además de que pueden introducir nuevas enfermedades a las poblaciones (Blaustein and Kiesecker 2002; Kats and Ferrer 2003). El caso de la rana toro (*Lithobates catesbeianus*) es un ejemplo claro, pues en América del Sur se han establecido poblaciones silvestres después de ser introducidas en áreas donde las poblaciones nativas se han colapsado (Whittaker et al. 2013).

Otro factor relevante es el cambio climático, así como otros procesos asociados con la atmósfera, como lo son el incremento en la radiación UV-B debido a la desaparición del ozono estratosférico o los cambios en los patrones meteorológicos (Blaustein and Kiesecker 2002; Whittaker et al. 2013).

Un caso de especial importancia es el del sapo dorado, *Incilius (Bufo) periglenes*, ejemplo icónico asociado al cambio climático. Fue descubierto por primera vez en 1964 en Costa Rica y apenas en un periodo de 25 años, para el año de 1989, se registró su último avistamiento. Las causas de su desaparición varían en la literatura, aunque inicialmente se relacionó con la pérdida de hábitat, posteriormente se relacionó con

aspectos como la presencia de patógenos y particularmente con el cambio climático, debido al aumento de temperaturas, presencia de lluvia ácida y duración del fenómeno de “El Niño” (Ochoa-Ochoa, Whittaker, and Ladle 2013).

Los cambios en la temperatura y precipitación pueden estar asociados con cambios en la fenología de la reproducción (Corn 2005), mientras que el aumento en la radiación UV se asocia con la disminución de la habilidad de los huevos para reparar daños, así como en menor éxito de eclosión de éstos; también con afectaciones en el desarrollo y con la aparición de deformaciones (Blaustein et al. 1994, 1997). Además, la interacción entre los contaminantes presentes y la radiación UV parece aumentar los efectos contaminantes de ambos factores, causando incluso la muerte de los anfibios (Romansic et al. 2009).

Las enfermedades también se han asociado con el colapso de las poblaciones, especialmente las causadas por tres patógenos. El primero son los hongos del género *Batrachochytrium*: *B. dendrobatidis* (*Bd*) y *B. salamandrivorans* (*Bsal*), que ocasionan la enfermedad denominada quitridiomycosis, la cual ataca el *estrato corneum* de la piel impidiendo la regulación del agua y causa disminuciones catastróficas y rápidas de los anfibios (Catenazzi 2015). En el caso de México, Mendoza-Almeralla (2015) indica que el declive en los registros de caudados en el monitoreo de poblaciones que se mantiene en El Chico, Hidalgo, coincide con la detección del patógeno *Bd* en el lugar. Otro hongo patógeno de relevancia es *Saprolegnia ferax* que se identifica como responsable de la muerte en larvas de anfibios (Romansic et al. 2009). Finalmente el último patógeno refiere a todo el género *Ranavirus*, un grupo de virus emergentes capaces de infectar peces, reptiles y anfibios, y que en estos últimos genera hemorragias así como necrosis en los órganos (Miller, Gray, and Storfer 2011). Un caso es el del virus *Ambystoma tigrinum* (ATV) que ha sido relacionado con infecciones en larvas en el suroeste de Estados Unidos (Brunner, Schock, and Collins 2007). Sin embargo otros agentes como bacterias, parásitos tremátodos o protozoarios también se asocian a varios niveles de mortalidad (Blaustein and Kiesecker 2002; Whittaker et al. 2013).

La contaminación es un factor más que afecta las poblaciones de los anfibios, lo que contempla el uso de pesticidas, fungicidas, herbicidas, fertilizantes y muchos otros contaminantes que, liberados al medio, afectan el crecimiento o comportamiento de los

organismos (Blaustein and Kiesecker 2002; Young et al. 2004). Debido a la alta permeabilidad de la piel de los anfibios, muchos de éstos contaminantes llegan al ambiente disueltos en el agua y entran fácilmente al cuerpo de los organismos, donde pueden acumularse y causar la muerte rápidamente (Young et al. 2004). Un estudio realizado por Brühl *et al.* (2013) demostró que para *Rana temporaria* la presencia de siete pesticidas diferentes acumulados en sus tejidos podía generar una mortalidad del 40% hasta el 100% en los individuos, lo cual iba a depender del tiempo pasado a partir de la exposición. Al mismo tiempo, estos pesticidas generaron deformaciones en los estadios larvales. Otro ejemplo interesante es el caso de la rana leopardo (*Rana pipiens*), una especie que tiende a la feminización ante la presencia de Atrazine, un herbicida usado en varias partes del mundo. En presencia de este herbicida, la proporción de sexos se ve alterada, ocasionando un aumento en el número de hembras y la consecuente disminución en el número de machos. Hayes *et al.* (2002), encontró una relación entre las altas concentraciones de Atrazine en el agua y los machos, ya que la exposición ocasionó desmascunilización de los machos disminuyendo los niveles de testosterona y aumentando el hermafroditismo.

Por último, la sobreexplotación debido a los hábitos de consumo ya sea para alimento, como ocurre en ciertas partes del planeta como Asia (Stuart et al. 2004), o para mascotas es un gran riesgo para las poblaciones. Los animales explotados provienen de áreas tropicales, y generalmente son especies protegidas, por ejemplo en Nueva Guinea se encontró que 44% de las especies recolectadas para comercio de mascotas (el estudio incluyó anfibios y reptiles) se encontraban protegidas o se vendían de forma ilegal (Natusch and Lyons 2012). Un ejemplo cercano es el caso del género *Ambystoma*, que ha sido utilizado ampliamente en laboratorios de investigación y como mascota exótica, además de los usos tradicionales que se dan del mismo, como medicina o incluso como alimento (Mendoza 2012; Zapata Gutiérrez and Solís Juárez 2013)

Los factores que afectan las poblaciones no actúan de forma independiente y es común encontrarlos operando de forma sinérgica sobre los anfibios, debido a que hay interacciones a nivel local, regional y global (Blaustein and Kiesecker 2002), además un factor puede exacerbar los efectos de otro, por ejemplo, se ha descubierto que el cambio climático puede tener efectos indirectos en la cría y éxito reproductivo de los anfibios, además de ocasionar un aumento en la virulencia del hongo que causa la

quitridiomycosis y un incremento en la sensibilidad a otras enfermedades infecciosas (Allentoft and O'Brien 2010; Carey and Alexander 2003). Sin embargo, la relación entre la presencia de la quitridiomycosis y los cambios climáticos es una dinámica entre el clima y la enfermedad que aún no está bien comprendida (Blaustein et al. 2011; Blaustein and Dobson 2006; Pounds et al. 2006).

Debido a lo anterior, muchas disminuciones de poblaciones son probablemente resultado de interacciones complejas entre los factores, y la conjunción de todos termina por actuar como la gran causa en la disminución en las poblaciones (Blaustein and Kiesecker 2002; Stuart et al. 2004; Whittaker et al. 2013). Como resultado, el grupo de los anfibios debe ser tratado con sumo cuidado cuando se realizan programas de conservación, representando un desafío para los esfuerzos por conservar las poblaciones o incluso recuperarlas (Carey and Alexander 2003).

### **3. Ecología funcional**

El término de ecología funcional ha sido utilizado tradicionalmente en la ecología de plantas, y su aplicación dentro de la ecología animal resulta todo un reto (Blaum et al. 2011). Sin embargo, se puede entender como una aproximación que se hace de los procesos biológicos que ocurren en los ecosistemas, donde se busca relacionar las características de la comunidad con los servicios y funciones del ecosistema; en otras palabras, busca explorar los rasgos o características funcionales (*trait* en la literatura en inglés) que posee la comunidad y determinar la relación de estos con el ambiente (Keddy 1992; Pla, Casanoves, and Di Rienzo 2012). Recientemente también se ha considerado que la ecología funcional busca comprender el ensamblaje de las comunidades biológicas así como la evaluación de la vulnerabilidad de las mismas frente al cambio global (Salgado Negret 2015).

La base de esta visión funcional radica en los rasgos que se pretenden observar, los cuales deben tener un papel dentro del ecosistema, y por tanto se deben considerar en un contexto ecológico, y no sólo como una propiedad (Calow 1987). La diversidad funcional ha sido propuesta como la clave para entender la relación entre la diversidad, la estructura de las comunidades y el funcionamiento de los ecosistemas (Córdova-Tapia and Zambrano 2015).

### 3.1. Rasgos funcionales

Una clave para entender el enfoque de la ecología funcional es comprender el término de rasgo o característica funcional, término que en la actualidad posee un alto grado de confusión tanto en el uso como en la definición del mismo (Violle et al. 2007).

Uno de los intentos iniciales por definir un rasgo funcional de forma más general proviene de Calow, (1987), donde el significado básico es el de una característica morfológica o fisiológica, utilizando prácticamente como sinónimos la palabra “funcional” y las palabras “resultado de la adaptación”. De acuerdo con Pla, *et al.*, (2012) una característica funcional hace referencia a una propiedad de los organismos que se puede medir a nivel individual y comparativamente entre las especies, y además influye en el desempeño de los organismos en la comunidad, aunque no profundiza en qué tipo de propiedades pueden considerarse rasgos funcionales. Esta última característica también es mencionada por Córdova-Tapia y Zambrano (2015), anexando además que debe ser un rasgo biológico que puede estar relacionado con los procesos ecosistémicos, la estabilidad ecosistémica, las interacciones biológicas y/o la modificación del hábitat; mientras que para Salgado Negret (2015), un rasgo funcional es una característica morfológica, fisiológica o fenológica medida a nivel individual, sin referencia al ambiente, que impacta en el éxito biológico del organismo, a través de la influencia de dicha característica con el crecimiento y mortalidad del individuo.

Por otro lado, una de las definiciones más formales que se puede encontrar del término proviene de de Bello *et al.* (2010), que indica como rasgo funcional a aquella característica del organismo que se vincula con las funciones del mismo, en otras palabras indica que un rasgo funcional va a determinar la respuesta del organismo ante las presiones del ecosistema así como los efectos que tendrá el organismo en los servicios del ecosistema. También recalca que para los animales estas características pueden incluir rasgos de historia de vida, comportamiento y hábitos alimenticios.

Se concluye por lo anterior, que rasgo o característica funcional es un concepto que puede resultar difícil de manejar, pero comprende básicamente dos aspectos íntimamente relacionados: 1) hace referencia a rasgos morfológicos, fisiológicos, fenológicos, de historia de vida, así como conductuales en el caso de la fauna (de Bello et al. 2010; Pla

et al. 2012; Salgado Negret 2015), y 2) estos rasgos deben ser vistos ecológicamente, es decir, desde la influencia que tienen en el desempeño y ciclo de vida del organismo, así como en los procesos del ecosistema.

Finalmente se puede concluir que un rasgo funcional es toda aquella característica de los individuos que interactúa con el ambiente, que puede ser medida ya sea de forma cualitativa o cuantitativa, la cual puede ser sujeta a presiones de selección y que tiene un efecto directo en la adecuación del organismo (crecimiento, reproducción y supervivencia) (Cadotte, Carscadden, and Mirotnick 2011) .

Para el caso de los anfibios, los estudios de rasgos funcionales pueden incluir aspectos de uso de hábitat, morfológicos, de historia de vida (por ejemplo modos de reproducción), fisiológicos, conductuales (por ejemplo estrategias de forrajeo), entre otros, debido a que todos estas características tendrán un papel en la respuesta de las especies a la variabilidad ambiental y a los procesos de los ecosistemas (Salgado Negret 2015), además de que cumplen el requisito de influir en la adecuación de los organismos debido a sus particularidades fisiológicas.

### **3.2. Diversidad funcional**

Otro término importante que se debe comprender es la diversidad funcional y la perspectiva que generó un cambio en el concepto de biodiversidad. Tradicionalmente, el concepto de diversidad se asocia a la riqueza de especies, es decir a las entidades taxonómicas, sin embargo la diversidad funcional refiere a la especie como un identidad funcional, donde cada especie poseerá diferentes rasgos, visión más completa del papel de una especie dentro del ecosistema eliminando la idea de que todas las especies son iguales en el ecosistema (Córdova-Tapia and Zambrano 2015).

La diversidad funcional será por tanto, la medida de la diversidad de rasgos funcionales o del grado de diferencias entre los rasgos presentes en una comunidad dentro y entre las especies, con respecto a su presencia y/o abundancia (Córdova-Tapia and Zambrano 2015; Salgado Negret 2015). La medida de la diversidad o grado de diferencias se logra utilizando valores, rangos, distribuciones y abundancia de las características funcionales de los organismos presentes en la comunidad de interés (Pla et al. 2012).

## **Objetivo**

Mostrar la necesidad de utilizar el enfoque de la ecología funcional para la realización de trabajos de conservación en el grupo de los anfibios dentro del contexto de los cambios globales actuales.

## **Objetivos particulares**

- Analizar la importancia de la ecología funcional al realizar la conservación de las especies
- Identificar los rasgos funcionales de historia de vida utilizados en los estudios en anfibios
- Analizar los resultados de los trabajos realizados para el grupo de los anfibios dentro del contexto de los cambios globales actuales
- Recopilar información sobre los rasgos funcionales de los anfibios de Brasil y Colombia

## **1. Rasgos funcionales y anfibios: revisión de trabajos**

Se han realizado varios estudios que relacionan o buscan relacionar directamente ciertos rasgos funcionales de los anfibios, especialmente los relacionados con la historia de vida de los mismos, con el declive de las poblaciones. Es interesante observar que prácticamente todos estos estudios se han realizado en el área de Australia (Hamer and Mahony 2007; Heard, Scroggie, and Malone 2011; Hero, Williams, and Magnusson 2005; Murray et al. 2011; Murray and Hose 2005; Williams and Hero 1998) y que muy pocos se han llevado a cabo en otras partes del mundo, como América Central (Lips, Reeve, and Witters 2003; Loyola et al. 2008) o Brasil (C. G. Becker, Loyola, et al. 2010).

Uno de los posibles motivos que genera esta situación es la falta de información ecológica a lo largo del planeta para varias especies de anfibios, particularmente en las áreas donde se concentra la mayor diversidad como lo es el área del Neotrópico (Lips et al. 2003). En Australia, por otro lado, existen solamente 245 especies de anfibios (AmphibiaWeb, 2018) y los estudios se han centrado en al área sureste, zona donde se encuentra la mayor diversidad de especies.

### **1.1. Australia**

En uno de los primeros estudios acerca de los rasgos funcionales, se clasificó a los anuros en gremios ecológicos basados en las características de reproducción, uso del hábitat, actividad temporal, microhábitat y tamaño corporal. Estos rasgos funcionales se relacionaron con las especies que habían disminuido o desaparecido, encontrando que la baja fecundidad, un alto grado de especialización en el hábitat y la reproducción llevada a cabo en el agua (arroyo) era característica común de las especies (Williams and Hero 1998).

Posteriormente, dos estudios similares se realizaron en la misma zona geográfica. El primero analizó nueve características (modo reproductivo, modo de desarrollo, hábitat larval, tamaño de puesta, microhábitat, periodo de actividad, tamaño corporal, rango geográfico, distribución altitudinal) de 60 especies de anfibios, incluyendo además el estado de conservación de la especie (amenazadas y no amenazadas), tratando de correlacionar estos rasgos específicos con el declive de las poblaciones. Así mismo, se

buscó identificar qué características podrían utilizarse con fines de prevención para predecir la disminución poblaciones en otras áreas del planeta. Se encontraron dos rasgos que parecen aumentar la susceptibilidad de las especies a la disminución en sus poblaciones: un tamaño de puesta pequeño y un reducido rango de distribución geográfico, además se identificó la importancia de una etapa acuática en la historia de vida como un aspecto asociado fuertemente al declive (Hero et al. 2005).

El segundo trabajo buscó correlacionar cuatro características funcionales de historia de vida (tamaño corporal, tamaño de puesta, tamaño de ovario y tamaño de testículo) con el proceso de declive y extinción de los anfibios, además de incluir en el análisis otras características ecológicas (rango geográfico, presencia de especies exóticas, presencia de cerdos ferales y áreas con estrés en el paisaje). Se encontró que las especies con rangos geográficos menores eran más vulnerable al declive, así mismo que las fuentes asociadas a los cambios globales, particularmente la presencia de especies exóticas y situaciones de estrés en el paisaje (cambio de uso de suelo) también se encontraba correlacionadas al declive (Murray and Hose 2005).

En ambos estudios se analizaron rasgos similares, sin embargo, los resultados no coinciden en su totalidad. Analizando las fuentes de información utilizadas por cada uno de los autores se pueden identificar diferencias en la literatura manejada para obtener la información acerca de los rasgos, así como en el número de especies comparadas (60 vs 148) y el tipo de análisis realizado. En el caso de Hero, (2005), es importante resaltar que además se incluyeron las relaciones filogenéticas en su análisis, considerando los rasgos funcionales como resultado de la historia filogenética de las especies.

La obtención de resultados que no muestran coincidencia, ni son concluyentes, parece ocurrir en diversas ocasiones mientras se van comparando los resultados de otros análisis. Un ejemplo de ello es un estudio realizado en *Litoria aurea*, una especie de anuro de la misma zona, por Hamer y Mahony, (2007), en el que se presenta una nueva argumentación respecto a las características funcionales de la historia de vida que pueden influir en el proceso de declive. Se considera que los vertebrados con una historia de vida caracterizada por baja fecundidad, largo tiempo hasta la madurez y especialización del hábitat son propensos al declive, sin embargo, al analizar el caso particular de *Litoria aurea*, una especie en rápido declive, se encuentran características

de vida diferentes: tiempo corto de maduración, una alta fecundidad y un rápido crecimiento, lo cual muestra una situación contraria a la planteada inicialmente (Hamer and Mahony 2007).

Esta situación es revisada años después por Heard, *et al.* (2011) donde se concluyen dos aspectos relevantes. En primer lugar, se señala que la visión centrada en las características funcionales de la historia de vida como un indicador de la capacidad de las especies de soportar cambios ambientales, es anticuada y ha sido desacreditada (Heard et al. 2011). En segundo lugar y después de realizar una metodología similar para *L. raniformis*, se señala que estas características de historia de vida parecen adaptarse a la dinámica de la metapoblación, señalando éste como aspecto de mayor importancia, relacionando el declive a la dinámica de la metapoblación en lugar de relacionarlo con la historia de vida de los organismos.

Estas últimas aseveraciones parecen ser demasiado ambiciosas, considerando que Heard, *et al.* (2011) sólo analiza otra especie de anuros y en ambas observa historia de vida similares que asocia con la metapoblación. Aunado a ello recientemente en el estudio realizado en 2017 por Allen *et al.*, reivindica la importancia de los rasgos funcionales para comprender el potencial de las especies de afrontar el declive. En su estudio señala que especies con rasgos funcionales de historia de vida rápida, es decir rasgos como un tamaño de puesta grande, alta fecundidad y rápida maduración, muestran un potencial de crecimiento mayor, reduciendo el periodo en que la especie se encuentra en peligro después de un evento azaroso que ponga en riesgo su población (Allen, Street, and Capellini 2017).

Finalmente, Murray, *et al.* (2011), buscó integrar los patrones espaciales de las amenazas para los anfibios, las fuentes de los cambios globales y las amenazas extrínsecas a las características ecológicas de las especies, junto con los rasgos funcionales que pudieran resultar relevantes para predecir el declive de las especies. Resultado de dicho estudio Murray, *et al.* (2011), coincide con estudios previos identificando los siguientes rasgos como relevantes para las especies en declive: rango geográfico estrecho, presencia de una etapa acuática en la historia de vida, tamaño de puesta pequeño y tamaño corporal pequeño.

## 1.2. América Latina

Los estudios en otras áreas del globo son limitados, sin embargo, el realizado por Lips, *et al.* (2003), busca englobar la situación de América Central. El objetivo general es identificar las características funcionales que puedan ayudar a reconocer o diagnosticar las causas potenciales del declive y de esta forma generar medidas de conservación.

Bajo la hipótesis de que la capacidad de supervivencia de una población depende de la combinación de las características ambientales del sitio y los rasgos funcionales que presente la especie, se busca identificar aquellos rasgos que hacen más vulnerables a las especies ante las amenazas de los cambios globales. En el análisis se buscó utilizar características geográficas, demográficas y de historia de vida, sin embargo, éstas últimas se eliminaron ante la falta de información. Los resultados más relevantes incluyen la identificación de una etapa acuática en la historia de vida, un rango altitudinal restringido y un tamaño corporal grande como características funcionales relevantes para las poblaciones propensas al declive (Lips *et al.* 2003).

Otro estudio realizado en Brasil evaluó diferentes escenarios de conservación al considerar dos características relevantes para los anfibios: el hábitat de los adultos y el hábitat de reproducción. Se encontró que el modo/tipo de desarrollo era el factor más relevante que determinaba como las especies responden ante patrones de cambio de uso de suelo, además de que al considerar distintos rasgos funcionales se pueden obtener diferentes resultados ante los patrones de conservación. Por ejemplo, para las especies completamente terrestres la deforestación tendrá distintos efectos que los que tendría para una especie con una etapa de vida acuática, si no se considerara dicha característica en los análisis se podría considerar que la respuesta de todas las especies a la deforestación es la misma (C. G. Becker, Loyola, *et al.* 2010).

En el área del Neotrópico se realizó un esfuerzo similar donde se identificaron las ecorregiones relevantes para la conservación de anfibios utilizando rasgos funcionales de la historia de vida de los organismos, particularmente el hábitat de desarrollo para los renacuajos, ya que se consideró que éste es el factor que más afecta la respuesta de los organismos ante cambios externos. Se encontraron ecorregiones importantes para la conservación para ambos tipos de desarrollo considerados (renacuajos acuáticos y renacuajos terrestres), resaltando además que de no considerar dichos rasgos las

especies con etapa de vida acuática no hubieran estado bien representadas en las áreas a conservar (Loyola et al. 2008).

En el caso de los estudios realizados en América, además de considerar las características funcionales como aspectos relevantes a identificarlos en los procesos de declive de las poblaciones, se enfatiza en la importancia de considerar esta información al realizar análisis para la conservación, para lo cual muestran diferentes escenarios resultantes de considerar y de no-considerar a los rasgos funcionales (C. G. Becker, Loyola, et al. 2010; Loyola et al. 2008).

## **2. Rasgos funcionales utilizados en los estudios y resultados más relevantes**

Existe una gran diversidad entre las características funcionales utilizadas en los estudios y análisis realizados, la gran mayoría se relacionan con la historia de vida de los organismos, así como con aspectos de distribución geográfica y algunos están asociados a la morfología. Además solamente dos estudios considera aspectos conductuales, como periodo de actividad (Hero et al. 2005; Williams and Hero 1998) y dos incluyen aspectos de filogenia en el estudio (Hero et al. 2005; Murray and Hose 2005).

Entre las características funcionales encontradas como variables ecológicas relevantes o asociadas al proceso de declinación de los anfibios destacan los siguientes:

1. *Una etapa acuática en la historia de vida* (por ejemplo; Hero et al. 2005; Loyola et al. 2008)
2. *Un rango de distribución geográfico limitado o pequeño* (por ejemplo; Hero et al. 2005; Murray and Hose 2005; Murray et al. 2011).
3. *Un tamaño de puesta pequeño* (por ejemplo; Hero et al. 2005; Murray et al. 2011)

También se encontró que algunos rasgos funcionales se correlacionaban entre sí, como el tamaño de puesta pequeño con el rango geográfico restringido (Hero et al. 2005) o el rango altitudinal con el endemismo (Lips et al. 2003). No obstante, las correlaciones dependen en gran parte de la cantidad de información utilizada para el análisis, así como de las especies utilizadas, los rasgos considerados y el tipo de análisis realizado.

Una vez encontrados los resultados anteriores, surge una pregunta importante ¿Por qué esos rasgos funcionales parecen mostrar la susceptibilidad de las especies al declive?

En algunos casos los rasgos encontrados parecen corresponder a características de las especies endémicas, como lo es un rango de distribución estrecho o pequeño. Ecológicamente estas especies pueden ser más propensas al declive debido a que sus poblaciones son menores y se ven limitadas a áreas pequeñas.

En otras ocasiones se puede identificar una interacción entre los rasgos funcionales y algunos de los factores asociados a los cambios globales, por ejemplo especies con rangos de distribución pequeños se verán más afectadas ante la aparición de una especie exótica cuya distribución se sobreponga a la suya (Murray et al. 2011) y especies con una etapa acuática en su historia de vida serán más susceptibles al declive cuando ocurran modificaciones o situaciones de estrés en su hábitat que disminuyan la conexión o la presencia de cuerpos de agua (Loyola et al. 2008).

Por otro lado, para el rasgo que se encontró y refirió con mayor frecuencia, la importancia ecológica del mismo resulta clara al considerar las propias necesidades del grupo de organismos con que se trabaja. Es decir, la presencia de *una etapa acuática en la historia de vida*, ya sea durante la reproducción o desarrollo de larva, es consecuencia de las necesidades reproductivas del grupo. Sin embargo, para realizar acciones de conservación adecuadas que consideren este rasgo, es importante diferenciar las características particulares para que las especies logren completar sus ciclos y conservar el tipo de cuerpo de agua que necesiten, el cual puede variar desde un arroyo a una charca temporal, o incluso puede ser más importante mantener la conexión entre cuerpos de agua.

Los resultados encontrados también indican que cuando áreas con disponibilidad de agua son eliminadas de los hábitats, es probable que las poblaciones de las especies disminuyan o incluso desaparezcan, sobre todo si son especies cuyo modo reproductivo ocurre totalmente en el agua (amplexo, puesta de huevos y desarrollo de larva).

En lo que refiere a aspectos de morfología los estudios no parecen coincidir, un estudio asoció el tamaño corporal pequeño con el riesgo al declive (Murray et al. 2011), mientras que otro asoció el tamaño corporal grande al declive (Lips et al. 2003). Será necesario realizar mayor cantidad de estudios para identificar cual es la relación correcta entre

este rasgo o si realmente existe, aunado al hecho de que estas relaciones pueden ser válidas solo a escala local y no global, pues un estudio proviene de Australia mientras que el otro de América.

Por otro lado, la idea de que especies con historia de vida rápida son menos propensas al declive se encuentra soportada por algunos estudios, sin embargo varios de los estudios se han llevado a cabo en otros grupos de organismos como aves y mamíferos (Purvis et al. 2000), y se van identificando diferencias en los anuros, particularmente al estudiar casos particulares como *L. aurea*. Dicha especie muestra historia de vida rápida, sin embargo se ve afectada por eventos de declive (Hamer and Mahony 2007; Pickett et al. 2016).

Estos resultados muestran el cuidado que se debe tener al utilizar los resultados de los análisis en los programas de conservación, ya que aspectos que a escala local pueden ser verdaderos, como los estudios para casos particulares, pueden no ser aplicables a escala global.

Uno de los objetivos particulares de los estudios analizados fue el identificar las características funcionales que ayudaran a escala global a reconocer poblaciones propensas al declive y como resultado parece que solo tres de ellas muestran coincidencia y podrían resultar claves para las acciones de conservación. Estos resultados pueden tener implicaciones importantes para la determinación de los factores causales en la declinación global inexplicada de muchas especies de anfibios (Williams and Hero 1998).

Sin embargo, cuando se tiene más información disponible, estos rasgos no deben ser tratados como factores independientes, ya que las correlaciones entre ellos a escala local y a escala global van a diferir, generando implicaciones particulares en la conservación (por ejemplo; Cooper, Bielby, Thomas, & Purvis, 2008). Este aspecto, aunque es considerado en algunos estudios, no es desarrollado o se reconocen directamente las limitaciones y problemas que genera, lo cual es un reto más para el uso de este tipo de información.

De la misma forma, dichas características no pueden ser separadas de la interacción que tienen con las condiciones actuales, es necesario saber que amenazas pueden poner en peligro a algunas especies pero no a otras y de esta forma generar prioridades para

la conservación (Murray et al. 2011). Una amenaza generadora de cambios globales y cuya relevancia es mayor al interactuar con los rasgos de ciertas especies son los cambios en uso de suelo (C. G. Becker, Fonseca, et al. 2010; C. G. Becker, Loyola, et al. 2010) por lo que las necesidades de conservación deberán ser generadas en base a estas premisas.

Retomando las consideraciones mostradas al inicio de presente ensayo, el impacto que tienen los cambios globales en los anfibios no puede ser menospreciados (Gallant et al. 2013) y es necesario, al realizar estudios ecológicos que hagan uso de los rasgos funcionales, incluir a los cambios globales, ya sea como un elemento que interactúa con los rasgos funcionales o como un aspecto que modifica o pudo haber modificado las características funcionales. Para lo anterior es necesario contar con gran cantidad de información disponible, actualizada y que se recolecte de forma permanente, tema que se abordará más adelante.

### **3. Compilación de rasgos funcionales**

Los resultados mostrados con anterioridad permiten identificar a la falta de información ecológica como un problema relevante principalmente para los rasgos funcionales de los anfibios. Debido a ello, se realizó una búsqueda de publicaciones científicas que tuvieran información respecto a dichos rasgos para compilarse.

Previamente se señaló la falta de estudios e información en el Neotrópico, área de gran importancia en la distribución mundial de anfibios (Stuart et al. 2004), lo que señala la necesidad de realizar esta búsqueda para un rango amplio de especies, sin embargo la búsqueda se limitó únicamente a las especies de anfibios de Brasil y Colombia, países que concentran gran parte de la diversidad de anfibios del mundo, además son los dos países líderes en número de especies (AmphibiaWeb, 2018).

Para realizar la búsqueda se utilizaron bases bibliográficas y buscadores académicos como ScienceDirect, Google Académico y BioOne. Los artículos localizados con información de los rasgos funcionales de las especies se descargaron y guardaron en formato PDF. Así mismo se revisaron bases de datos y páginas especializadas y no especializadas en información herpetológica, particularmente IUCN Red List of

Threatened Species, AmphibiaWeb, Amphibian Species of the World: an Online Reference, AmphibiaWeb Ecuador, Amphibians of Panama, Lista de los Anfibios de Colombia: Referencia en línea y Lista de Anfibios de Brasil.

Finalmente se buscó en fuentes impresas como libros especializados en herpetología y guías de campo de regiones de Brasil y Colombia información relacionada a las especies. En todos los casos, la información localizada se depuró y seleccionó para identificar los rasgos funcionales de las especies, dicha información se vació para generar una *Base de datos de anfibios de Brasil y Colombia*.

Para generar dicha base se utilizó el software Microsoft Excel (2016), donde se recopiló la información taxonómica (Orden, Familia, Género, Especie) de 846 especies de anfibios pertenecientes a los países de Brasil y Colombia, esto de acuerdo con Frost, D. R., Amphibian Species of the World, 2017. Posteriormente se seleccionaron los rasgos funcionales a compilar, principalmente los relacionados con aspectos de historia de vida de los anfibios, los cuales fueron los siguientes: tamaño corporal promedio (LHC o LT), tamaño máximo para machos, tamaño máximo para hembras, categoría de tamaño (diminuto, chico, mediano, grande, gigante), hábitat primario, tipo de fertilización, ciclo de reproducción, tipo de reproducción, lugar de ovoposición, presencia/ausencia de larva, sitio de desarrollo de la larva y presencia/ausencia de cuidado parental. Dichos rasgos coinciden con los utilizados en trabajos previos centrados de forma similar en aspectos de historia de vida (C. G. Becker, Fonseca, et al. 2010; C. G. Becker, Loyola, et al. 2010; Hero et al. 2005; Loyola et al. 2008).

Adicionalmente, se seleccionaron otros rasgos relacionados a aspectos de distribución geográfica y de conducta para integrarse en la base de datos en caso de localizarse, pero que no se consideraron de manera primordial para la compilación: elevación (mínima y máxima), periodo de actividad (diurno, nocturno, crepuscular), tamaño de área de distribución y si dicha especie es nativa o introducida. La descripción de cada uno de los ellos se puede observar en la Tabla 1 (Apéndice).

Como resultado de la compilación se obtuvo información para 819 especies de anfibios pertenecientes a los países de Brasil y Colombia; únicamente para 27 especies de anfibios no se logró encontrar información relacionada con ninguno de los rasgos funcionales investigados. Se revisó un total de 1123 artículos científicos, nueve guías de campo y 13 libros especializados en herpetología. La información recopilada como

resultado de la revisión permitió lograr una completitud del 73.47 % del total de la base de datos con información de los rasgos funcionales de los anfibios específicamente de su historia de vida. Entre los aspectos de historia de vida los referentes al tipo de fertilización y hábitat de los organismos son los que se encontraron en mayor cantidad (Figura 1, Apéndice).

Es importante resaltar que para los datos principales de la compilación en todos los casos se logró completar más del 50% de la información, y para 9 de los 12 rasgos funcionales principales se logró completar el 70% o más de la información (Figura 1, Apéndice).

Por otro lado, de los rasgos funcionales relacionados a aspectos geográficos y de conducta se obtuvo muy poca información, encontrando únicamente 33.61% de la información relacionada a estos aspectos en los anfibios de Brasil y Colombia (Figura 2, Apéndice). No obstante, se logró completar en un 70% los datos referentes a la distribución altitudinal de las especies (metros sobre el nivel del mar), ya que se ha tenido cuidado de registrar este dato desde los primeros avistamientos y hasta la actualidad en los nuevos registros publicados (Figura 2, Apéndice).

Esta compilación organizó gran cantidad de información dispersa en la literatura y muestra la existencia de datos relevantes para los estudios para gran cantidad de especies, así como la persistencia del problema de falta de información.

#### **4. Problemas del uso de rasgos funcionales**

El problema mayor que se encuentra al momento de trabajar con información ecológica es la falta de información disponible para los organismos, lo que impide realizar trabajos más complejos o completos (Lips et al. 2003; Murray and Hose 2005) por ello se recalca la importancia de aumentar y continuar la investigación de aspectos ecológicos de las especies permitiendo continuar la generación de estudios similares (Heard et al. 2011). Para el grupo de los anfibios la falta de información ecológica es un problema reconocido tiempo atrás, debido a que la información es escasa e incompleta (Stuart et al. 2004) incluso se ha identificado la disminución en la producción de publicaciones relacionadas con la historia natural de los anfibios (McCallum and McCallum 2017).

Una problema similar se presenta al tratar de realizar estudios comparativos con grandes conjuntos de datos, debido a la no existencia de éstos o las limitaciones en su contenido, lo cual restringe la capacidad de obtener mayores opciones para la conservación y manejo de las especies (Murray and Hose 2005).

Actualmente se busca aumentar la cantidad de información disponible y se hacen esfuerzos para mejorar el conocimiento ecológico de las especies, muestra de ello es la recopilación realizada en el presente trabajo con la *Base de datos de anfibios de Brasil y Colombia*. Otros trabajos similares se han realizado de forma reciente, ejemplo de ello es la creación de una base de datos con los rasgos funcionales de la historia de vida de los anfibios europeos, donde se incluyó información morfológica, conductual, de preferencia de hábitat y de capacidad de movimiento para 86 especies de anfibios europeos (Trochet et al. 2014). De igual forma se puede encontrar AmphiBIO, una base de datos de rasgos de historia natural para anfibios de todo el mundo, la cual publicó información sobre 17 características relacionadas con la ecología, morfología y características de reproducción de los anfibios, no obstante esta base tiene menos del 30% de completitud (Oliveira et al. 2017).

La generación de estas compilaciones se enfrenta con algunos problemas, ya que diversas especies están pobremente descritas en la literatura en lo que se refiere a aspectos ecológicos, o bien no existen registros recientes de las mismas, contando únicamente con la descripción original. Así mismo, cuando las publicaciones cuentan con información ecológica referente a los rasgos funciones esta se encuentra incompleta o establecida como resultado de suposiciones basadas en las especies hermanas.

Especialmente en lo que refiere al conocimiento acerca de los ciclos reproductivos de los anfibios no existe información precisa, esto como resultado de la falta de muestreos a lo largo de todo el año que permitirían identificar la existencia o ausencia de periodos de reproducción (Figura 1, Apéndice). Igualmente, existen diversas especies cuya descripción original está basada en un número bajo de organismos (uno a tres individuos), y generalmente dichos ejemplares corresponden a machos, dando como consecuencia falta de información en lo que refiere a las diferencias de tamaño entre machos y hembras (Figura 1, Apéndice).

Un problema de diferente índole relacionado con el uso de los rasgos funcionales en los estudios refiere a un aspecto que no se considera en diversas investigaciones: las relaciones filogenéticas entre los organismos analizados. Este aspecto resulta relevante debido a que Murray, B. R. & Hose, (2005) indican que los resultados y correlaciones identificadas en sus estudios sólo son verdaderas para ciertos clados, pero no para toda la fauna endémica de anuros de Australia en general. Si se considera que los rasgos funcionales son resultado de la *historia filogenética* de los organismos (Hero et. al., 2005), integrar dicho aspecto a los análisis es pertinente y puede ser de gran ayuda para obtener los resultados esperados.

Sumado a lo anterior, cuando se toma en cuenta la historia filogenética de los organismos estudiados es posible reconocer resultados particulares en ciertas familias de anuros, o por el contrario identificar que no existe una relación importante entre estos factores. Indagar dichas cuestiones es válido debido a que aún no se tienen una base o antecedente mayor de este tipo de consideraciones. En caso de encontrar una asociación entre la filogenia y la respuesta de las características funcionales de los organismos ante ciertos eventos globales, sería necesario modificar los objetivos planteados en varios estudios donde se generaliza la respuesta de las especies.

Otro problema de gran extensión identificado a lo largo de la revisión de información, tanto en la búsqueda de trabajos como en la compilación de datos de rasgos funcionales, es la falta prácticamente total de datos relacionados a los rasgos funcionales de los renacuajos. En el grupo de los anfibios los anuros poseen la capacidad de presentar etapa larvaria y dicha etapa tienen funciones ecológicas totalmente diferentes a la especie en su forma adulta (Whiles et al. 2006), por lo cual identificar los rasgos de los renacuajos como organismos diferentes a los adultos debe ser una prioridad.

La información relacionada a los renacuajos se limita principalmente a aspectos de selección de hábitat, por ejemplo el sitio de desarrollo de la larva (C. G. Becker, Loyola, et al. 2010; Hero et al. 2005; Murray and Hose 2005) aunque no se profundiza en otro tipo de rasgos, por ejemplo aspectos de forrajeo de los renacuajos que tienen efectos directos en los ecosistemas (Salgado Negret 2015).

En cuestiones de conservación, identificar las necesidades de las larvas (por ejemplo, sitio de desarrollo o forrajeo) es de suma importancia y generalmente esta información

no se encuentra disponible. Sin embargo, considerando que la conservación basada en la ecología funcional busca preservar además de las especies las funciones que estas tienen en el ecosistema, identificar éstas últimas para los renacuajos y considerar dicha información es un campo que falta ampliar y desarrollar.

## **5. Importancia del uso de rasgos funcionales en la conservación**

La necesidad de mantener este tipo de enfoque que considera los rasgos funcionales de los organismos toma relevancia cuando se reconoce la importancia funcional de los organismos. Un ejemplo de lo anterior es el estudio realizado por Whiles *et al.* (2006) donde se evidencian los efectos ecológicos potenciales de las caídas poblacionales de los anfibios, centrado en las corrientes del Neotrópico.

Debido a su papel en el ecosistema, la desaparición de las poblaciones tendría efectos a gran escala y duraderos en el ecosistema, incluyendo cambios en la estructura de las comunidades de algas y en la producción primaria, alteración de la dinámica de la materia orgánica, además de modificaciones en consumidores como insectos acuáticos y depredadores ribereños. Cabe resaltar la importancia de considerar las diferencias funcionales entre renacuajos y adultos, concluyendo que la pérdida de una especie a nivel funcional se asemeja a la pérdida de dos especies (Whiles et al. 2006).

Se debe considerar, además, que los rasgos funcionales utilizados en los estudios caracterizan la diversidad funcional de las especies en los ecosistemas, por lo que usar diferentes rasgos dará como resultado respuestas diferentes de la función de los anfibios en los ecosistemas (Tsianou and Kallimanis 2015). En otras palabras, la pérdida de poblaciones de anfibios afectará en diferentes niveles funcionales a los ecosistemas, pero el lograr identificar dichos cambios dependerá de los rasgos funcionales que se utilicen en los estudios.

Es fundamental reconocer que las actividades de conservación basadas en las características funcionales buscan mantener los procesos en el ecosistema, por lo cual generar decisiones en base al papel de los anfibios en el ecosistema permite priorizar, un concepto clave en conservación (Rosenfeld 2002). Priorizar las especies a conservar o las acciones necesarias a realizarse solo puede ser posible si se cuenta con la información

adecuada, ya que la visión tradicional de conservar mayor número de especies o áreas grandes puede resultar inadecuada para mantener a los ecosistemas saludables y en funcionamiento (C. G. Becker, Fonseca, et al. 2010; Becker and Loyola 2008).

Además, reconociendo que el impacto de las actividades humanas es mayor en especies particulares debido a los rasgos funcionales que poseen, se sigue que las actividades de conservación obtendrán un mejor resultado si se consideran dichos aspectos.

## **Conclusiones**

El uso de los rasgos funcionales en las investigaciones relacionadas a la conservación de los anfibios es un enfoque relativamente reciente, caracterizado por el uso de rasgos funcionales relacionados principalmente con aspectos de la historia de vida (C. G. Becker, Loyola, et al. 2010; Pearson et al. 2014; Woodhams et al. 2008).

Comprender la importancia de la identificación de estos rasgos en la labor de conservación se facilita al reconocer la siguiente premisa: si se considera que los mismos factores han actuado en diversos sitios, como ocurre con las fuentes de los cambios globales, entonces las especies que no se han visto afectadas por dichos factores deben compartir ciertas características que las hacen menos vulnerables, por otro lado las especies que han declinado deben compartir rasgos que los hacen susceptibles al declive (Lips et al. 2003). El reto del presente trabajo fue encontrar dichas características que hacen susceptibles a las especies, identificarlas correctamente y determinar cuál de ellas es de mayor relevancia para la pérdida de las poblaciones.

Se logró identificar tres características funcionales de gran relevancia: una etapa acuática a lo largo de su historia de vida, un rango de distribución geográfico pequeño y un tamaño de puesta pequeño. Además, se reconoce que la importancia de dichas características siempre dependerá de las interacciones de los rasgos entre sí, así como con las amenazas generadoras de los cambios globales, dando como resultado un desafío para lograr la conservación.

Respecto a la búsqueda de medidas de conservación en las investigaciones, la mayoría de los factores que se consideran importantes para predecir el riesgo de extinción, incluyendo los rasgos funcionales ya se utilizan en las evaluaciones de conservación de

especies, lo que indica que el trabajo va por el camino correcto (Pearson et al. 2014), sin embargo es necesario aumentar el uso de estos elementos, sobre todo ante los cambios que se sabe afectaran al grupo de los anfibios con mayor gravedad (Thomas et al. 2004).

Finalmente, el proceso de compilación de información y revisión de estudios dio como resultado una *Base de datos de anfibios de Brasil y Colombia*, además de que permitió identificar la ausencia de grandes cantidades de información respecto a la ecología de los anfibios. Esto denota la necesidad de continuar la investigación relacionada la historia natural de los organismos y particularmente ampliar el registro de aspectos como los rasgos funcionales.

Destaca la importancia del trabajo de depuración, organización, clasificación y búsqueda de información realizado, así como el futuro ahorro de tiempo y trabajo que representa. Es pertinente, sin embargo, resaltar que el trabajo queda abierto a la posibilidad de continuarse y la base de datos debe ser actualizada y ampliada constantemente para mantener la calidad de la información compilada.

En general, es esencial la realización de más trabajos de este estilo, que muestren la información disponible, la clasifiquen y dispongan para que pueda ser utilizada fácil y rápidamente en los estudios, al mismo tiempo que ponen en evidencia en qué área es preciso mayor investigación. El uso de rasgos funcionales para la conservación de los anfibios es un campo abierto y en desarrollo, pero que solo podrá continuar si la información está disponible para ser utilizada y se mantiene el enfoque funcional en las investigaciones.

## Literatura citada

- Allen, William L., Sally E. Street, and Isabella Capellini. 2017. "Fast Life History Traits Promote Invasion Success in Amphibians and Reptiles." *Ecology Letters* 20(2):222–30.
- Allentoft, Morten E. and John O'Brien. 2010. "Global Amphibian Declines, Loss of Genetic Diversity and Fitness: A Review." *Diversity* 2(1):47–71.
- Becker, C. G., Carlos R. Fonseca, Célio F. B. Haddad, and Paulo I. Prado. 2010. "Habitat Split as a Cause of Local Population Declines of Amphibians with Aquatic Larvae: Contributed Paper." *Conservation Biology* 24(1):287–94.
- Becker, C. G., R. D. Loyola, C. F. B. Haddad, and K. R. Zamudio. 2010. "Integrating Species Life-History Traits and Patterns of Deforestation in Amphibian Conservation Planning." *Diversity and Distributions* 16(1):10–19.
- Becker, Carlos Guilherme, Carlos Roberto Fonseca, Célio Fernando Baptista Haddad, Rômulo Fernandes Batista, and Paulo Inácio Prado. 2007. "Habitat Split and the Global Decline of Amphibians." *Science (New York, N.Y.)* 318(5857):1775–77. Retrieved (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18079402>).
- Becker, Carlos Guilherme and Rafael Dias Loyola. 2008. "Extinction Risk Assessments at the Population and Species Level: Implications for Amphibian Conservation." *Biodiversity and Conservation* (17):2297–2304.
- Bellard, Céline et al. 2014. "Vulnerability of Biodiversity Hotspots to Global Change." *Global Ecology and Biogeography* 23(12):1376–86.
- de Bello, Francesco et al. 2010. "Towards an Assessment of Multiple Ecosystem Processes and Services via Functional Traits." *Biodiversity and Conservation* 19(10):2873–93.
- Blaum, Niels, Eva Mosner, Monika Schwager, and Florian Jeltsch. 2011. "How Functional Is Functional? Ecological Groupings in Terrestrial Animal Ecology: Towards an Animal Functional Type Approach." *Biodiversity and Conservation* 20(11):2333–45.

- Blaustein, Andrew R. et al. 2011. "The Complexity of Amphibian Population Declines: Understanding the Role of Cofactors in Driving Amphibian Losses." *Annals of the New York Academy of Sciences* 1223(1):108–19.
- Blaustein, Andrew R. et al. 1994. "UV Repair and Resistance to Solar UV-B in Amphibian Eggs: A Link to Population Declines?" *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 91:1791–95.
- Blaustein, Andrew R. and Andy Dobson. 2006. "Extinctions: A Message from the Frogs." *Nature* 439(7073):143–44.
- Blaustein, Andrew R. and Joseph M. Kiesecker. 2002. "Complexity in Conservation: Lessons from the Global Decline of Amphibian Populations." *Ecology Letters* 5(4):597–608.
- Blaustein, Andrew R., Joseph M. Kiesecker, Douglas P. Chivers, and Robert G. Anthony. 1997. "Ambient UV-B Radiation Causes Deformities in Amphibian Embryos." *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 94:13735–37.
- Brook, Barry W., Navjot S. Sodhi, and Corey J. A. Bradshaw. 2008. "Synergies among Extinction Drivers under Global Change." *Trends in Ecology and Evolution* 23(8):453–60.
- Brunner, J. L., D. M. Schock, and J. P. Collins. 2007. "Transmission Dynamics of the Amphibian Ranavirus *Ambystoma Tigrinum* Virus." *Diseases of Aquatic Organisms* 77:87–95.
- Cadotte, Marc W., Kelly Carscadden, and Nicholas Mirotnick. 2011. "Beyond Species: Functional Diversity and the Maintenance of Ecological Processes and Services." *Journal of Applied Ecology* 48(5):1079–87.
- Calow, P. 1987. "Towards a Definition of Functional Ecology." *Functional Ecology* 1(1):57–61. Retrieved (<http://www.jstor.org/stable/2389358>).
- Carey, Cynthia and Michael A. Alexander. 2003. "Climate Change and Amphibian Declines: Is There a Link ?" *Diversity and Distributions* 9(2):111–21. Retrieved (<http://www.blackwell-synergy.com/links/doi/10.1046/j.1472-4642.2003.00011.x>).

- Catenazzi, Alessandro. 2015. "State of the World's Amphibians." *Annual Review of Environment and Resources* 40(1):91–119.
- Cole, Esther M., Martín R. Bustamante, Diego Almeida-Reinoso, and W.Chris Funk. 2014. "Spatial and Temporal Variation in Population Dynamics of Andean Frogs: Effects of Forest Disturbance and Evidence for Declines." *Global Ecology and Conservation* 1(xxxx):60–70. Retrieved (<http://dx.doi.org/10.1016/j.gecco.2014.06.002>).
- Collins, James P. and Andrew Storfer. 2003. "Global Amphibian Declines: Sorting the Hypotheses." *Diversity and Distributions* 9(2):89–98.
- Cooper, Natalie, Jon Bielby, Gavin H. Thomas, and Andy Purvis. 2008. "Macroecology and Extinction Risk Correlates of Frogs." *Global Ecology and Biogeography* (17):211–21.
- Córdova-Tapia, Fernando and Luis Zambrano. 2015. "La Diversidad Funcional En La Ecología de Comunidades." *Revista Ecosistemas* 24(3):78–87.
- Corn, P. S. 2005. "Climate Change and Amphibians." *Animal Biodiversity and Conservation* 28.1:59–67.
- Crutzen, Paul J. 2006. "The Anthropocene." Pp. 13–18 in *Earth System Science in the Anthropocene*.
- D'Antoni, Hector L. 2012. "El Cambio Global. Procesos Naturales E Intervención Humana." *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana* 3(11–76):143.
- Dirzo, Rodolfo and Peter H. Raven. 2003. "Global State of Biodiversity and Loss." *Annual Review of Environment and Resources* 28(1):137–67. Retrieved (<http://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev.energy.28.050302.105532>).
- Gallant, Alisa L. et al. 2013. "Global Rates of Habitat Loss and Implications for Amphibian Conservation Published by: American Society of Ichthyologists and Herpetologists ( ASIH ) Stable URL : <http://www.jstor.org/stable/25140713> . Your Use of the JSTOR Archive Indicates Your Accepta." 2007(4):967–79.
- Hamer, Andrew J. and Michael J. Mahony. 2007. "Life History of an Endangered Amphibian Challenges the Declining Species Paradigm." *Australian Journal of*

*Zoology* (55):79–88.

Heard, Geoffrey W., Michael P. Scroggie, and Brian S. Malone. 2011. “The Life History and Decline of the Threatened Australian Frog, *Litoria Raniformis*.” *Austral Ecology* 1–9.

Hero, Jean-Marc, Stephen E. Williams, and William E. Magnusson. 2005. “Ecological Traits of Declining Amphibians in Upland Areas of Eastern Australia.” *Journal of Zoology* (267):221–32.

Kats, Lee B. and Ryan P. Ferrer. 2003. “Alien Predators and Amphibian Declines: Review of Two Decades of Science and the Transition to Conservation.” *Diversity and Distributions* 9(2):99–110.

Keddy, P. A. 1992. “A Pragmatic Approach to Functional Ecology.” *Functional Ecology* 621678(6):621–26. Retrieved (<http://www.jstor.org/stable/2389954>)  
(<http://www.jstor.org/page/info/about/policies/terms.jsp>)  
(<http://www.jstor.org>).

Kerr, Jeremy T., Heather M. Kharouba, and David J. Currie. 2007. “The Macroecological Contribution to Global Change Solutions.” *Science* 316(5831):1581–84.

Lips, Karen R., John D. Reeve, and Lani R. Witters. 2003. “Ecological Traits Predicting Amphibian Population Declines in Central America.” *Conservation Biology* 17(4):1078–88. Retrieved (<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1523-1739.2003.01623.x/full>).

Lorente, I. et al. 2004. “Los Efectos Biológicos Del Cambio Climático.” *Ecosistemas* 13(1):103–10.

Loyola, Rafael Dias et al. 2008. “Hung out to Dry: Choice of Priority Ecoregions for Conserving Threatened Neotropical Anurans Depends on Life-History Traits.” *PLoS ONE* 3(5):10–13.

McCallum, Malcolm L. and Jaime L. McCallum. 2017. “Publication Trends of Natural History and Field Studies in Herpetology.” *Herpetological Conservation and Biology* 1(1):62–67.

Mendoza, Tzintia Velarde. 2012. “IMPORTANCIA ECOLÓGICA Y CULTURAL DE

UNA ESPECIE ENDÉMICA DE AJOLOTE (*Ambystoma Dumerilii*) DEL LAGO DE PÁTZCUARO, MICHOACAN.” *Etnobiología* 10(2):40–49.

- Miller, Debra, Matthew Gray, and Andrew Storfer. 2011. “Ecopathology of Ranaviruses Infecting Amphibians.” *Viruses* 3:2351–73.
- Molina, César R. and Jaime E. Péfaur. 2010. “Declinación de Poblaciones de Anfibios: Una Revisión Bibliográfica Comentada (1960-2000).” *Revista de Ecología Latino-Americana* 15(3):31–46.
- Muccione, V. and M. Schaepman. 2014. “Global Change.” *Terminology Brief Series* 1–3.
- Murray, Brad R. and Grant C. Hose. 2005. “Life-History and Ecological Correlates of Decline and Extinction in the Endemic Australian Frog Fauna.” *Austral Ecology* (30):564–71.
- Murray, Kris A., Dan Rosauer, Hamish Mccallum, and Lee F. Skerratt. 2011. “Integrating Species Traits with Extrinsic Threats: Closing the Gap between Predicting and Preventing Species Declines.” *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 278(October 2010):1515–23.
- Natusch, Daniel J. D. and Jessica A. Lyons. 2012. “Exploited for Pets: The Harvest and Trade of Amphibians and Reptiles from Indonesian New Guinea.” *Biodiversity and Conservation* 21(11):2899–2911.
- Ochoa-Ochoa, Leticia M., Robert J. Whittaker, and Richard J. Ladle. 2013. “The Demise of the Golden Toad and the Creation of a Climate Change Icon Species.” *Conservation and Society* 11(3):291–319.
- Oliveira, Brunno Freire, Vinícius Avelar São-Pedro, Georgina Santos-Barrera, Caterina Penone, and Gabriel C. Costa. 2017. “AmphiBIO, a Global Database for Amphibian Ecological Traits.” *Scientific Data* 4:1–7. Retrieved (<http://dx.doi.org/10.1038/sdata.2017.123>).
- Pearson, Richard G. et al. 2014. “Life History and Spatial Traits Predict Extinction Risk due to Climate Change.” *Nature Climate Change* 4:217–21.
- Pecl, Gretta T. et al. 2017. “Biodiversity Redistribution under Climate Change: Impacts on Ecosystems and Human Well-Being.” *Science* 355(6332).

- Pickett, Evan J., Michelle P. Stockwell, John Clulow, and Michael J. Mahony. 2016. "Modelling the Population Viability of a Threatened Amphibian with a Fast Life-History." *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* (29):9–19.
- Pla, Laura, Fernando Casanoves, and Jul Di Rienzo. 2012. *Quantifying Functional Biodiversity*.
- Pounds, J.Alan et al. 2007. "Global Warming and Amphibian Losses; The Proximate Cause of Frog Declines? (Reply)." *Nature* 447(7144):E5–6.
- Pounds, J.Alan et al. 2006. "Widespread Amphibian Extinctions from Epidemic Disease Driven by Global Warming." *Nature* 439(7073):161–67. Retrieved (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16407945>).
- Purvis, Andy, John L. Gittleman, Guy Cowlshaw, and Georgina M. Mace. 2000. "Predicting Extinction Risk in Declining Species." *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* (267):1947–52.
- Romansic, John M., Kristin A. Diez, Elise M. Higashi, James E. Johnson, and Andrew R. Blaustein. 2009. "Effects of the Pathogenic Water Mold *Saprolegnia Ferax* on Survival of Amphibian Larvae." *Diseases of Aquatic Organisms* 83(3):187–93.
- Rosenfeld, Jordan S. 2002. "Functional Redundancy in Ecology and Conservation." *Oikos* 98(1):156–62.
- Salgado Negret, Beatriz. 2015. *La Ecología Funcional Como Aproximación Al Estudio, Manejo Y Conservación de La Biodiversidad: Protocolos Y Aplicaciones*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos, Alexander von Humboldt.
- Steffen, Will et al. 2011. "The Anthropocene: From Global Change to Planetary Stewardship." *Ambio* 40(7):739–61.
- Stuart, Simon N. et al. 2004. "Status and Trends of Amphibian Declines and Extinctions Worldwide." *Science (New York, N.Y.)* 306(december):1783–86.
- Thomas, Chris D. et al. 2004. "Extinction Risk from Climate Change." *Nature* 427(6970):145–48. Retrieved (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18653892>).
- Trochet, Audrey et al. 2014. "A Database of Life-History Traits of European

- Amphibians.” *Biodiversity Data Journal* (2).
- Tsianou, Mariana A. and Athanasios S. Kallimanis. 2015. “Different Species Traits Produce Diverse Spatial Functional Diversity Patterns of Amphibians.” *Biodiversity and Conservation* 25(1):117–32.
- Turner, B. L. et al. 1990. “Two Types of Global Environmental Change. Definitional and Spatial-Scale Issues in Their Human Dimensions.” *Global Environmental Change* 1(1):14–22.
- Tylianakis, Jason M., Raphael K. Didham, Jordi Bascompte, and David A. Wardle. 2008. “Global Change and Species Interactions in Terrestrial Ecosystems.” *Ecology Letters* 11:1351–63.
- Violle, Cyrille et al. 2007. “Let the Concept of Trait Be Functional!” *Oikos* 116:882–92.
- Vitousek, Peter M. 1994. “Beyond Global Warming: Ecology and Global Change.” *Ecology* 75(7):1861–76.
- Vitousek, Peter M., Harold A. Mooney, Jane Lubchenco, and Jerry M. Melillo. 1997. “Human Domination of Earth’ S Ecosystems.” *Science* 277:494–99.
- Vitt, Laurie J. and Janalee P. Caldwell. 2009. *Herpetology*. 3rd ed. edited by Elsevier.
- Wells, Kentwood David. 2010. “Water Relations.” in *Ecology and Behavior of Amphibians*. Chicago: University of Chicago Press.
- Whiles, Matt R. et al. 2006. “The Effects of Amphibian Population Declines on the Structure and Function of Neotropical Stream Ecosystems Alexander D . Huryn , Chad Montgomery and Scot Peterson Source : Frontiers in Ecology and the Environment , Vol . 4 , No . 1 ( Feb . , 2006 ), Pp .” *Frontiers in Ecology and the Environment* 4(1):27–34.
- Whittaker, Kellie, Michelle S. Koo, David B. Wake, and Vance T. Vredenburg. 2013. “Global Declines of Amphibians.” *Encyclopedia of Biodiversity* 3:691–99.
- Williams, Stephen E. and Jean-marc Hero. 1998. “Rainforest Frogs of the Australian Wet Tropics: Guild Classification and the Ecological Similarity of Declining Species.” *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* (265):597–602.

- Woodhams, Douglas C., Ross A. Alford, Cheryl J. Briggs, Megan Johnson, and Louise A. Rollins-Smith. 2008. "Life-History Trade-Offs Influence Disease in Changing Climates: Strategies of an Amphibian Pathogen." *Ecology* 89(6):1627–39.
- Young, Bruce E. et al. 2001. "Population Declines and Priorities for Amphibian Conservation in Latin America." *Conservation Biology* 15(5):1213–23.
- Young, Bruce E., Simon N. Stuart, Janice S. Chanson, Neil A. Cox, and Timothy M. Boucher. 2004. *Joyas Que Están Desapareciendo: El Estado de Los Anfibios En El Nuevo Mundo*. Virginia: NatureServer.
- Zapata Gutiérrez, María Celia and Luis Guillermo Solís Juárez. 2013. "Axolotl: El Auténtico Monstruo Del Lago de Xochimilco." *Kuxulkab'* (36):41–46.

## Apéndice

**Tabla 1.** Definición de los 16 rasgos funcionales, así como de los valores que se pueden obtener, compilados en la *Base de datos de anfibios de Brasil y Colombia*. Para todos los rasgos funcionales el valor registrado como NA (data not available), significa que los valores no están disponibles en la literatura consultada.

Rasgo funcional	Descripción	Valores que pueden tomar					
Tamaño corporal promedio	Medida estándar de la longitud-hocico-cloaca para los Anuros, y medida de longitud total para Caudata y Cecilias.	Valores discretos (mm) basados en las descripciones originales, avistamientos y registros de la especie					
Tamaño máximo del macho							
Tamaño máximo de la hembra							
Categoría de tamaño	Asignación de una categoría de tamaño de acuerdo con el tamaño y orden al que pertenece la especie.	Orden	Diminuto (mm)	Pequeño (mm)	Mediano (mm)	Largo (mm)	Gigante (mm)
		Anura	<20	21–50	51–100	101–200	>200
		Caudata	<80	81–150	151–220	221–350	>350
		Cecilia	<100	101–150	151–250	251–350	>350
Tipo de hábitat primario	Describe el tipo de hábitat principal en el cual se localiza la especie	1 = Acuático					
		2 = Arbóreo					
		3 = Terrestre					
		4 = Acuático y terrestre					
Tipo de fertilización	Designa el tipo de fecundación que presenta la especie.	1 = Interna					
		2 = Externa					
Ciclo de reproducción	Describe el periodo del año durante el cual ocurre la reproducción de la especie.	1 = Estacional					
		2 = No estacional					
Tipo de reproducción	Indica el tipo de reproducción que posee la especie.	1 = Ovíparo					
		2 = Vivíparo y ovovivíparo					
		3 = Desarrollo directo					
Sitio de ovoposición	Señala el sitio donde se depositan los huevos para su desarrollo.	0 = Acuático y terrestre					
		1 = Arbóreo/Fitotelmata					
		2 = Terrestre					
		3 = Padres					
		4 = Acuático					

Presencia/ausencia de larva	Indica la existencia o ausencia de etapa larval en el ciclo de vida del organismo.	0 = Ausente
		1 = Presente
Sitio de desarrollo de la larva	Señala el sitio donde la larva lleva a cabo su proceso de desarrollo y crecimiento.	0 = Larva ausente
		1 = Arbóreo/Fitotelmata
		2 = Terrestre
		3 = Padres
Presencia/ausencia de cuidado parental	Se refiere a la presencia de cualquier tipo de cuidado hacia las larvas por parte de los padres.	0 = Ausente
		1 = Presente
Elevación	Datos del rango de elevación donde se distribuye la especie.	Valores discretos (msnm) basados en el sitio web Global Amphibian Assessment o en la IUCN
Periodo de actividad diaria	Indica el periodo de actividad de la especie en un ciclo de 24 hrs.	1 = diurno
		2 = nocturno
		3 = diurnos y nocturno, crepuscular
Tamaño de área de distribución	Información general de la distribución geográfica de la especie	Valores discretos (km <sup>2</sup> ) basados en el sitio web Global Amphibian Assessment o en la UICN
Especie nativa o introducida	Característica de una especie de localizarse geográficamente en su rango de distribución original (nativa) o fuera (introducida).	0 = no introducida
		1 = introducida de otros países

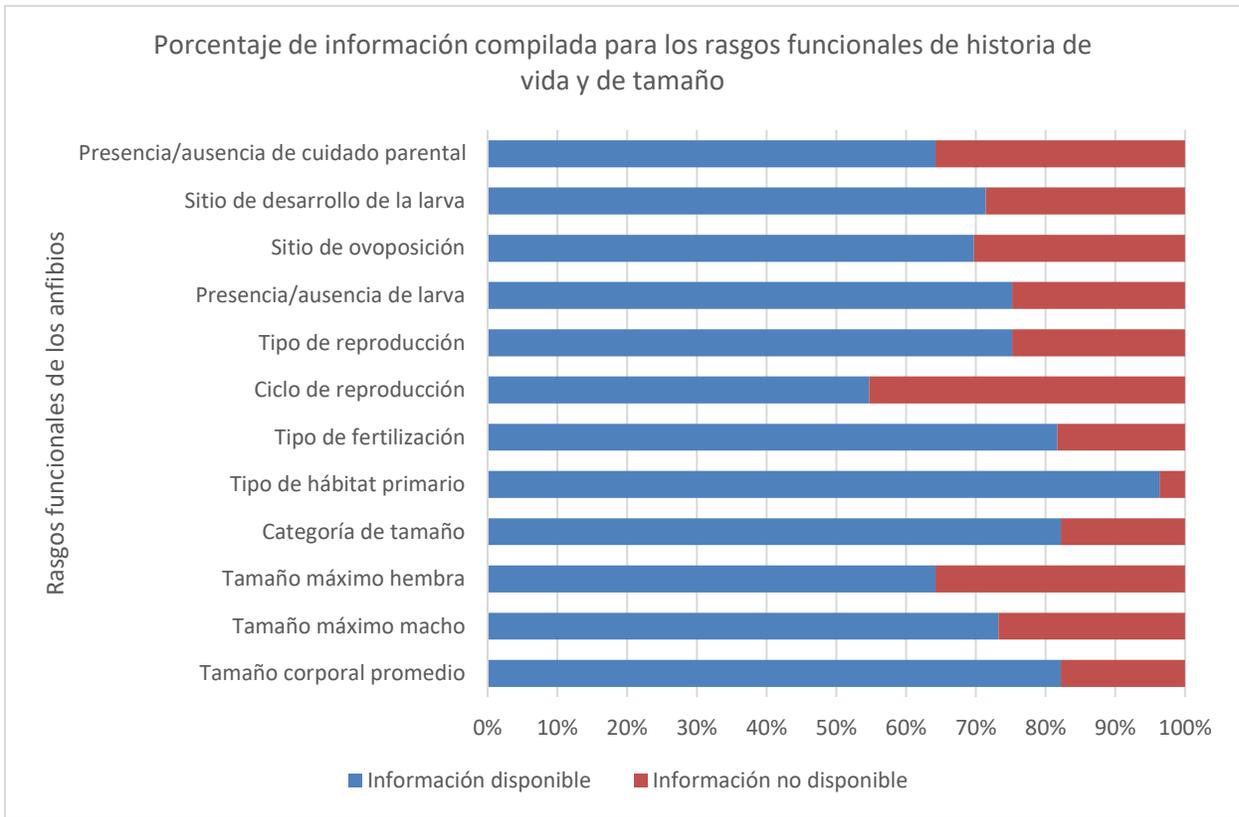


Figura 1. Comparación de la información disponible acerca de los rasgos de historia de vida y de tamaño para 846 especies de anfibios de Brasil y Colombia. Resalta la falta de información referente al ciclo de reproducción de los anfibios y el tamaño máximo de la hembra.

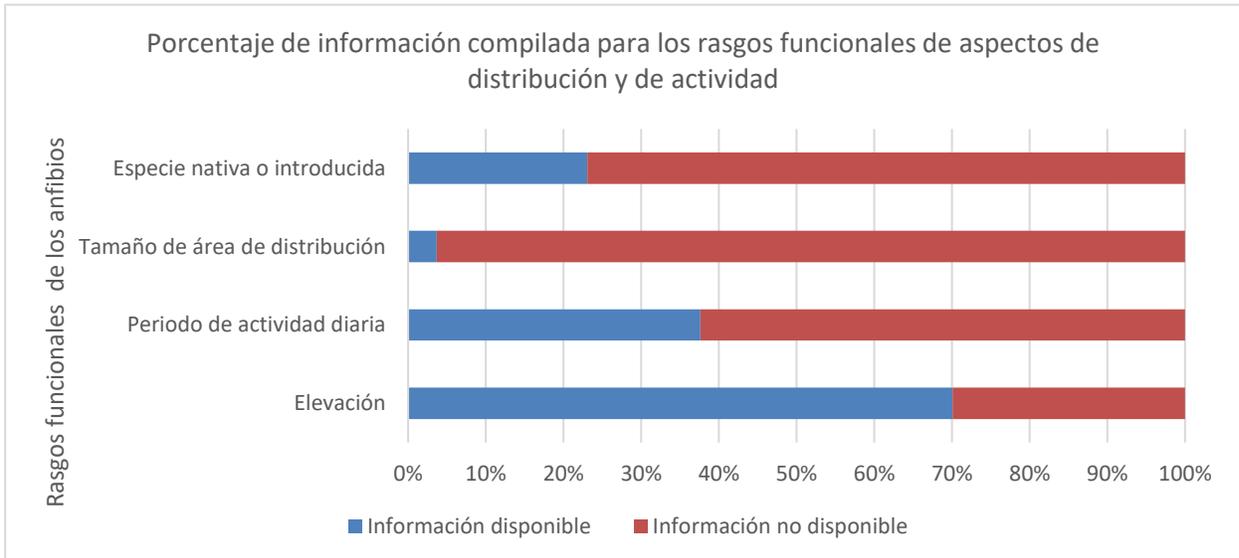


Figura 2. Comparación de la información disponible acerca de los rasgos funcionales de distribución y de actividad para 846 especies de anfibios de Brasil y Colombia. Se observa un gran porcentaje de información no-disponible para estos rasgos, particularmente el rango de distribución.