



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

Malformaciones en anfibios de Latinoamérica: una revisión  
bibliográfica

**TESIS PROFESIONAL**  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
**B I Ó L O G O**  
**P R E S E N T A:**

Sandra Vianey Beltrán Alvarez

**DIRECTOR DE TESIS**

**Dr. Norman Mercado Silva**

**CUERNAVACA, MORELOS**

**Marzo, 2023**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS



FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

Licenciatura en Biología

Programa Educativo de Calidad *Acreditado* por el CACEB 2018-2023

Cuernavaca, Morelos a 7 de febrero de 2023

**DRA. DULCE MARÍA ARIAS ATAIDE**  
**DIRECTORA GENERAL DE SERVICIOS ESCOLARES**  
**P R E S E N T E.**

Por este conducto, los catedráticos suscritos comunicamos a Usted, que hemos revisado el documento que presenta el Pasante de Biólogo: **SANDRA VIANEY BELTRÁN ÁLVAREZ**, con el título del trabajo: **Malformaciones en anfibios de Latinoamérica: una revisión bibliográfica.**

En calidad de miembros de la comisión revisora, consideramos que el trabajo reúne los requisitos para optar por la Modalidad de Titulación por Tesis como lo marca el artículo 6º del Reglamento de Titulación Profesional vigente de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

**A T E N T A M E N T E**  
*Por una humanidad culta*

**JURADO REVISOR**

**FIRMA**

PRESIDENTE: BIÓL. CARLOS ALBERTO MONTALBÁN HUIDOBRO

\_\_\_\_\_

SECRETARIO: DR. JUAN MANUEL URIOSTEGUI VELARDE

\_\_\_\_\_

VOCAL: DR. NORMAN MERCADO SILVA

\_\_\_\_\_

SUPLENTE: MBIBYC. JÉSICA GABRIELA GUERRERO DE LA PAZ

\_\_\_\_\_

SUPLENTE: BIOL. SAMUEL ARÉCHAGA OCAMPO

\_\_\_\_\_



Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

**Sello electrónico**

**SAMUEL ARECHAGA OCAMPO** | Fecha:2023-02-08 16:13:58 | Firmante  
cUgfhYV9AFV9L50S7eokVWH0lx3mtA/5matyMi4R8ZU+c+T48mV2DvRvQm0Vh/sW4Htc8mlnFXwhqCetli79bo22bNT8+TaJtOBvh8Zs29jrrRRB47OQkMzgs2yjl5DbbGIMYiFB  
AToxcWS7q84nOOPxz71yJsa7zSjOfxAZzkO5BeqaD53qliOfB4Q0NpmnjyZhmFjd3fG3nVYLS3avpjdZ96F9EePbxOxkJ8akX2yZmP5Px0sqgvGQF+Pq79orhPgl6WRPJvdeYE  
+BT7YVwfO4KckfsbebFn05fevmYpuxFLXwl/ChegTjZrbbMZFTW/bmKsJE+4ow7s9Z33Wg==

**NORMAN MERCADO SILVA** | Fecha:2023-03-07 14:29:48 | Firmante  
fz++KFmlDnlvQobA8aJQ8CjOyUSsu/zpQyBq/tj/usKJqJpKUixr7Nbl1K6ERInTsiH9Kc+B1mfqpdUUBKfimXUkJD/2/HPu/eTcaTBb949RHRIJbra4e4MmGTEPmpukOlzBKul+Ozm4  
FFuguQmzk3L3ukFEWQGNWRRMiACHqMPVmd6fJOEnhwy4ygvqyh3KUoYQcL7221QH+hF8wrvzdtUu/rxlfqbxscPAFeVZifub44eAx19FUytrPCbh0YUbB0kYWw+vGZ9X3F8e4  
ep8hdraH9X5e1+PJoNpwYAXOsQC+nHvWqR8it3ZYZZ95bGM38OvrXB2aXLP0b3S64A==

**CARLOS ALBERTO MONTALBAN HUIDOBRO** | Fecha:2023-03-07 16:13:33 | Firmante  
InK5ZzL3Gc3D+1M6pz3F/4H+uoyD4gBK7E9saQZrQgv+TWNbgAV3EVZMilocP+r5ExN+9kKqJ3sNvr/MGEDwt9k7K3d8zHdvVKOb3pYVW5P+xaFLaSQWTR5j0TNyrNag0zLx399  
GU/zVwZDbhiS4C7MuVw7BjvMytkFx0JewmG8t1bvMPaVyk1ZpzeOzyEgw+TTmR5xXQMa8ce340t5nuyiWfU7WDDoc/vrZLBbobVMnXj+igwPYsRRoqtlgwU0ve4PGUT8JrSDdS  
znleobSU5SNrT/Q09dpmthFM+y4leuTLIjshZ6mQlm/0imgzCfMZsHJqxAOG4fS2jfn51az5IA==

**JUAN MANUEL URIOSTEGUI VELARDE** | Fecha:2023-03-14 23:33:08 | Firmante  
YBZDrdUO2pBJCGKLDm4e0P9wQmJkBJPrq6S/alsSP0CvRtBMA4geWGQcuukKsDxlvQVglwtp2po3CLwcbJn7H+7kaB8SyLzE/XUVVwvsfk7DluNWdOYf9XrqfepKd8+GpzeJl  
Wj6x/EbsG+GNQitBba3iF9SQY77LAy0VTwL4NALJ4FIPU9f+NyggPDZXGtjXPDHM5ser15sCKIQSHBxOADApGZcKPAhtQHpd7J/7x8jd0GNUMopuLubuCpc1RSPJDZu1qvdYTFk  
nPKeGOjXIH2QUvEyLAauF9zVn5JFGmYUVRhqn+oxFe174TTXCxos7ZInKu0CFQ1x7Pkz29yg==



## AGRADECIMIENTOS

A mi director de tesis el Dr. Norman Mercado Silva, por su paciencia, comprensión y su gran apoyo incondicional, sin usted este trabajo no lo hubiese logrado. Muchas gracias por sus múltiples palabras de aliento.

A los integrantes del comité de sinodales: Biól. Samuel Aréchaga Ocampo, MBIByC. Jéssica Gabriela Guerrero de la Paz y Biól. Carlos Alberto Montalbán Huidobro, por todo el apoyo e interés que brindaron en este proyecto, gracias por todos sus comentarios y sugerencias que cada uno apporto para complementar este trabajo.

Al Dr. Juan Manuel Urióstegui Velarde, por la disponibilidad de enseñarme a utilizar nuevos métodos para mejorar este proyecto. Gracias por compartir sus conocimientos.

A la Dra. Rosa Gabriela Beltrán López, por transmitirme su amor por la biología. Gracias por tu apoyo incondicional de principio a fin durante mi carrera universitaria.

Al Biól. Israel López, por transmitirme sus conocimientos y su amor por el campo.

A mis amigos, Alex Lemus y Brian Reyes, por acompañarme en diversas aventuras durante nuestra carrera universitaria, sin ustedes no habría sido tan agradable. Gracias por siempre estar.

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicar este trabajo con todo mi amor y cariño a mis padres: Sandra Alvarez y Alejandro Beltrán, no existen palabras que puedan expresar mi agradecimiento por darme la vida, pero sobre todo por siempre creer en mí. Gracias por ser el motor que impulsa mis sueños y esperanzas, gracias por estar a mi lado en los días difíciles. Siempre han sido mis mejores guías de vida impulsándome a ser una mejor persona y mejor ser humano, los amo y doy gracias a Dios de tenerlos a ustedes como padres.

### **Gracias por ser quienes son**

A mis hermanos Alejandro y Sebastián, por el simple hecho de ser mis hermanos, gracias por el amor que me dan y felicidad que brindan a mi vida, los amo.

A mis abuelos, por el amor incondicional que me dan y por sus sabios consejos.

**¡Gracias, gracias, gracias!**

## Contenido

<b>Resumen</b> .....	1
<b>1. Introducción</b> .....	2
<b>2. Marco teórico</b> .....	5
2.1. Anfibios: generalidades.....	5
2.2. Enfermedades en anfibios.....	6
2.3. Malformaciones en anfibios.....	6
2.4. Antecedentes de estudios bibliográficos de malformaciones en anfibios.....	8
<b>3. Justificación</b> .....	10
<b>4. Objetivos</b> .....	11
4.1. Objetivo general.....	11
4.2. Objetivos específicos.....	11
<b>5. Materiales y métodos</b> .....	12
5.1. Análisis de la información.....	15
5.2. Relación entre las variables.....	17
<b>6. Resultados</b> .....	20
6.1. Relación entre las variables.....	25
<b>7. Discusión</b> .....	30
<b>8. Conclusión</b> .....	35
<b>9. Bibliografía</b> .....	37

## Índice de figuras

Figura 1. Número de artículos publicados de 2004 a junio 2020.....	20
Figura 2. Número de artículos relacionados con malformaciones en anfibios.....	21
Figura 3. Gráfica de la representación del número de veces que se repiten las malformaciones.....	22
Figura 4. Representación gráfica de porcentajes de taxa que presentaron malformaciones.....	22
Figura 5. Frecuencias de las posibles causas por las cuales se presentan malformaciones.....	23
Figura 6. Número de artículos sobre malformaciones encontrados para América Latina.....	24
Figura 7. Porcentaje de las diferentes etapas de desarrollo en anfibios que presentaron malformaciones.....	24

## Índice de cuadros

Cuadro 1. Terminología utilizada para la descripción de malformaciones.....	7
Cuadro 2. Criterios para la búsqueda de la bibliografía.....	14
Cuadro 3. Valores de interpretación para el coeficiente (V) de Cramer.....	18

## Índice de tablas

Tabla 1. Tabla de contingencia de los diferentes países en Latinoamérica y las posibles causas de malformaciones.....	25
Tabla 2. Tabla de contingencia de los diferentes órdenes de anfibios y las posibles causas de malformaciones.....	26
Tabla 3. Tabla de contingencia de los diferentes tipos de malformaciones y sus posibles causas.....	27
Tabla 4. Tabla de contingencia de los diferentes estados de desarrollo de los anfibios y el tipo de malformación.....	29

## Resumen

Los anfibios son un grupo de vertebrados que cumplen funciones ecológicas importantes y son excelentes indicadores del estrés ambiental. Los grupos de anfibios se encuentran en declive a nivel mundial y diversos son los factores asociados con la disminución de algunas de sus poblaciones y extinción de algunas especies. Un factor que afecta negativamente a los anfibios son las malformaciones; la documentación sobre estas ha ido en aumento desde 1990. Para este estudio se abordó el tema de malformaciones en anfibios desde la cienciometría. Se realizó una búsqueda en los buscadores generales Google Académico y Microsoft Academic. También se buscó en la Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal (REDALYC) y Web of Science (Thomson Reuters). En dichos buscadores se introdujeron las palabras clave: “Amphibian” “Malformation” “Deformity” “Abnormality” “Malform\*” “Deform\*” y el nombre de un país en Latinoamérica. Se obtuvieron 28 artículos en donde el año con más información sobre el tema fue en 2019; el buscador donde se encontró el mayor número de artículos fue Google académico. De las 14 malformaciones localizadas en los diferentes artículos, la braquidactilia es la más mencionada. Los anuros (ranas y sapos) son el grupo para el que más menciones se encontraron dentro de los artículos, Brasil es el país que registró mayor número de artículos sobre malformaciones. La etapa de vida adulta fue la que se registró mayor número de veces para casos de malformaciones. No se encontraron relaciones fuertes entre las posibles causas, países, taxa, tipo de malformación y etapas de desarrollo. Se evidencia que hacen falta muchas más observaciones y estudios con la temática de malformaciones en anfibios para el área de América Latina. Ello permitirá comprender mejor el nivel de riesgo que diferentes anfibios enfrentan ante el crecimiento del número de malformaciones y posiblemente mejorar las acciones de conservación hacia este grupo.

## 1. Introducción

Los anfibios cumplen funciones ecológicas importantes en la mayoría de los hábitats terrestres y dulceacuícolas (Blaustein y Wake, 1990) y por ello resultan ser excelentes indicadores de estrés ambiental (Pechmann y Wilbur, 1994). Cumplen funciones de conexión entre el medio terrestre y acuático (Vázquez *et al.*, 2017), se encuentran en posiciones diversas dentro de las cadenas tróficas y son indicadores por excelencia de la calidad del medio en donde se localizan (Bosch, 2003). En el mundo existen alrededor de 8,595 especies de anfibios (AmphibiaWeb,2023) distribuidas en casi todos los ambientes, estando ausentes solamente en los hábitats más fríos o secos del planeta (Flores-Villela y Canseco- Marquez, 2004).

A nivel mundial, el grupo de vertebrados más amenazado, son los anfibios. Muchas de sus especies se encuentran en declive debido principalmente a las actividades antropogénicas que han afectado a los hábitats donde los organismos satisfacen sus requerimientos biológicos y ecológicos durante su ciclo de vida (Aguillón, 2018). La dependencia que tienen de cuerpos de agua o zonas de alta humedad para completar sus ciclos de vida los hace muy sensibles a los cambios ambientales (Houlahan *et al.*, 2000). Diversos factores están asociados con la disminución de algunas de sus poblaciones y extinción de algunas especies. Entre ellos se encuentra la tala de bosques, la extracción de recursos hídricos, la pérdida de vegetación (Alford y Richards, 1999), el aumento en la radiación UV-B (Blaustein y Johnson, 2003), enfermedades como la quitridiomycosis (Mendoza *et al.*, 2015), la presencia de contaminantes como pesticidas, fungicidas y fertilizantes (Matton, 2000), la introducción de especies exóticas invasoras (Blaustein y Kiesecker, 2002), depredadores, patógenos y las enfermedades infecciosas emergentes (p.e., hongos, ranavirus; Young *et al.*, 2001; Collins y Storer, 2003).

En México, numerosas especies de anfibios han sufrido reducciones en sus poblaciones debido a que las causas antes mencionadas están operando en sinergia (Frías Alvarez *et al.*, 2010; Parra *et al.*, 2014). Sin embargo, estas reducciones están pobremente documentadas en México, mientras que en numerosos puntos de EUA, Canadá y Centro América se encuentra la mayor documentación de mortalidad en anfibios (Lips *et al.*, 2004).

De manera particular, las deformidades en el cuerpo de los anfibios se conocen como una de las causas que afectan negativamente a muchas especies. En los últimos años los informes sobre

deformidades han ido en aumento (Chilote *et al.*, 2018). Gracias a diversos estudios se sabe que existen numerosas causas que ocasionan malformaciones o deformidades en anfibios; estas incluyen infestación parasitaria (Mónico y Koch, 2019), presencia de depredadores (Ballengee y Sessions, 2009), la exposición a altas concentraciones de metales pesados y a sustancias químicas para el control de plagas (Piha *et al.*, 2006). Aunque malformaciones y deformidades pueden parecer sinónimos, existen diferencias entre ellas dependiendo su origen. Las malformaciones provienen de procesos celulares que afectan directamente el desarrollo de los individuos en una fase inicial, mientras que las deformidades surgen cuando las estructuras corporales son correctamente formadas de manera inicial, pero en algún punto de su ciclo de vida son modificados (Meteyer, 2000). Aunque se reconoce esta diferencia, en el contexto de este estudio cuantitativo ambos términos se utilizan de manera indistinta. La documentación sobre malformaciones en anfibios ha ido en constante aumento desde mediados de la década de 1990 (Johnson y Sutherland, 2003), cuando se percibieron aumentos importantes en su incidencia. Aunque se conocía ya de la existencia de malformaciones en poblaciones de anfibios a partir de observaciones previas, se cree que los cambios antropogénicos a nivel ecosistémico generaron situaciones para fomentar el aumento de su incidencia (Johnson y Sutherland, 2003).

El estudio de las malformaciones puede aproximarse desde la perspectiva de la cuantimetría, que es una rama de la ciencia que se utiliza para medir y analizar la producción científica entorno a un tema particular. Se basa en estudios cuantitativos de la producción científica, donde las unidades de estudio son generalmente registros bibliográficos (Araujo y Arencibia, 2002). Los estudios cuantimétricos ayudan a revelar el avance del conocimiento de algún tema en específico. Entre otros, los estudios cuantimétricos permiten 1) identificar el estado de avance de un tema científico particular, 2) comparar el estado de avance de la ciencia entre entidades (p.e., países, organizaciones, instituciones) y, de manera importante, 3) identificar áreas de oportunidad para desarrollar estudios científicos en un área particular (Jacobs, 2010; Morínigo, 2016, Cardona y Sánchez, 2017).

En el caso de los estudios de malformaciones en anfibios, se sabe que la elaboración de estudios científicos ha sucedido de manera desproporcional, al provenir un mayor número de estudios de países y regiones con menor diversidad de especies del grupo, mientras que, en los países megadiversos, los estudios científicos en torno al tema son relativamente pocos (Brito, 2008; Morínigo, 2016). Dicha situación podría dificultar el entendimiento de los impactos antrópicos sobre las poblaciones y comunidades de los anfibios de países megadiversos (Morínigo, 2016).

Ante la importancia de contar con la información que permita identificar tanto las lagunas de conocimiento como las áreas de oportunidad para la investigación científica entorno a la incidencia de malformaciones en anfibios de México y Latinoamérica, en este trabajo se realiza una revisión cuantitativa y se analiza la información disponible para diferentes grupos de anfibios y países de Latinoamérica. El estudio hace uso de diferentes buscadores electrónicos disponibles en la World Wide Web para identificar a) cual ha sido la malformación más comúnmente registrada en Latinoamérica en los últimos años, b) identificar el orden de anfibios para el que se presenta mayor incidencia de malformaciones, c) identificar cuáles son los agentes causantes de malformaciones más comúnmente mencionados, d) contrastar el número de estudios que se han llevado a cabo entre países de Latinoamérica y finalmente, e) identificar la etapa de desarrollo de los anfibios en la que se presenta la mayor cantidad de malformaciones estudiadas.

## 2. Marco teórico.

### 2.1. Anfibios: Generalidades

La palabra *amphibia* proviene del griego *amphi* (ambos) y *bio* (vida), haciendo referencia a las dos fases que los organismos pertenecientes a este grupo presentan durante su ciclo de vida, una en el agua y otra en la tierra (Señaris *et al.*, 2018). Estos organismos surgieron hace 350 millones de años, y fueron de los primeros vertebrados en conquistar la tierra, sobreviviendo a cambios climáticos, geológicos y biológicos (Weiler *et al.*, 2013). Los anfibios son un grupo dependiente de la humedad ambiental. Su distribución, comportamiento y su ecología están influenciados por la abundancia de agua (McDiarmin, 2001).

Los anfibios forman parte de un grupo monofilético que presenta atributos biológicos comunes como un huevo carente de membranas extraembrionarias que, al igual que la piel, es altamente permeable para evitar la desecación (Parra-Olea *et al.*, 2014). La mayoría de los anfibios ponen huevos que se desarrollan dentro del agua y de los cuales surgen larvas acuáticas conocidas como renacuajos. Existen cambios morfológicos y fisiológicos (en el proceso de metamorfosis) que transforman al renacuajo en un juvenil que puede ser muy similar al adulto. Sin embargo, algunas especies no presentan este desarrollo (Señaris *et al.*, 2018) y presentan un desarrollo directo, es decir, carecen de un estado larval y de sus huevos eclosionan pequeños adultos (McDiarmin, 2001). También presentan piel generalmente vascularizada, húmeda y con abundantes glándulas (Señaris *et al.*, 2018), lo que facilita el intercambio de gases (Parra *et al.*, 2014). La piel de los anfibios carece de escamas, pelo o plumas. Los anfibios son ectotermos, por lo que no son capaces de regular su temperatura corporal y su temperatura es similar con la temperatura del sustrato y aire (Cruz *et al.*, 2016).

Actualmente se conocen tres órdenes de anfibios: Gymnophiona, Caudata y Anura (Duellman y Trueb 1994; Luna *et al.*, 2017). En el mundo existen entre 8601 especies (AmphibiaWeb,2023) en todos los órdenes. El orden Gymnophiona (cecilas) tiene 215 especies (AmphibiaWeb, 2023). El orden Caudata (Salamandras y Tritones) es un grupo moderadamente diverso con entre 798 especies (AmphibiaWeb,2023). El orden Anura es el más abundante y diversificado, con entre 7588 especies (AmphibiaWeb,2023).

## 2.2. Enfermedades en anfibios

Los anfibios han sido afectados por la actividad de hombre a través del tiempo, su declive más grave se registra a partir de la década de los 1990 (Wake, 1991; Blaustein y Wake, 199; Mata, 2018). Actualmente, se ha comprobado que una de las causas más importantes es el de las enfermedades infecciosas, resultantes del cambio climático y las actividades humanas (Pechmann y Wilbur, 1994; Kiesecker et al., 2004; Hayes et al., 2010; Mata, 2018). Las enfermedades infecciosas son provocadas por agentes como las bacterias, hongos y virus (Bosch, 2003). Como ejemplo de estas se tiene a las enfermedades infecciosas producidas por el hongo quítrido, *Batrachochytrium dendrobatidis*, y virus del género *Ranavirus*. Existen estudios donde se comprueba que más de 40 especies de más de 30 géneros y 2 familias de tremátodos parasitan a los anfibios provocando malformaciones severas (Speare, 2001; Lobos et al., 2011). *Ribeiroia ondatrae* es un ejemplo de trematodo que parasita a los anfibios y utiliza las larvas como hospederos intermediarios (Bosch, 2003). Éstos en algunas ocasiones causan la muerte debido a que los organismos afectados presentan pocas probabilidades de resistir hambre o depredación (Santos, 2004). Las enfermedades infecciosas son relativamente de reciente identificación y algunas se caracterizan por ser epidémicas. También incrementan de manera rápida su área de distribución geográfica, hospederos o prevalencia, lo que representa una amenaza para la biodiversidad (Daszak et al., 1999; Basanta, 2019). La biología de los anfibios los hace aún más susceptibles a sufrir enfermedades provocadas por patógenos, ya que suelen presentar ciclos de vida complejos.

## 2.3. Malformaciones en anfibios

El termino anomalía hace referencia a cualquier desviación grave del rango normal en la variación morfológica (Lunde y Johnson, 2012) mientras que las malformaciones son anomalías estructurales que suelen estar relacionadas principalmente con el desarrollo anormal de las extremidades (Cruz M. et al., 2009). Las investigaciones o estudios de malformaciones en anfibios requieren de una correcta definición de la terminología utilizada. Anomalía, malformación y deformación, pueden ser palabras aparentemente similares, pero con definiciones estrictas bastante diferentes.

Por su parte, las deformidades son aquellas estructuras que se formaron correctamente pero que en el ciclo de vida tuvieron una desviación en el proceso de crecimiento. (Lunde y Johnson, 2012). Pese a esas diferencias y dado el objetivo del presente trabajo, para la realización de este estudio se utilizaron los términos de manera indistinta.

El aumento de enfermedades infecciosas ha provocado una gran cantidad de anfibios con malformaciones (Matton, 2000). Las malformaciones en poblaciones de anfibios son generalmente de baja frecuencia ya que no más del 5% de los individuos de la población las presenta (Aguillon, 2018). Sin embargo, en ocasiones este porcentaje aumenta (Piha *et al.*, 2006). Las malformaciones pueden ir desde extremidades faltantes o parcialmente faltantes, dedos adicionales, ojos y cola deforme, hasta malformaciones en todo el cuerpo (Blaustein y Johnson, 2003). Existen diversos términos para identificar las diferentes malformaciones que incluye la ausencia o duplicación de dígitos, falta de extremidades, mandíbulas ausentes o subdesarrolladas entre otras (Henle *et al.*, 2017.; Cuadro 1).

Cuadro 1	
<i>Terminología utilizada para la descripción de malformaciones en estudios de anfibios. Se incluye el termino con sinónimos utilizados en español y el significado de cada uno de los términos utilizados (derivado de Henle et al., 2017)</i>	
<b>Malformación</b>	<b>Significado</b>
Adactilia – Ectrodactila- Oligodactilia	Ausencia de todos los dígitos
Amelia- Ectromelia	Falta por completo una o varias extremidades
Braquidactilia- Braquifalanga	Dígitos anormalmente cortos
Hemimelia – Apodia	Pie (mano) falta parcial o total
Hipoplasia maxilar- Micrognatia- Displasia mandibular	Mandíbula superior ausente o subdesarrollada
Anoftalmia	Falta de un ojo
Sindactilia – Anquilodactilia	Fusión total o parcial de dos o más dígitos
Polidactilia-Esquizodactilia	Duplicación de dígito
Afaquia	Ausencia de cristalino
Macroftalmia	Ojo anormalmente pequeño
Polifagia	Duplicación de las falanges y metatarsianos
Cola atrofiada	Cola más corta de lo normal
Agnesia unilateral	Ausencia de glándula paratoidea
Polimelia	Duplicación de una extremidad o partes completas del mismo

Dependiendo su tipología, las malformaciones pueden tener diversas consecuencias a nivel individual. Las malformaciones pueden afectar la capacidad de un individuo para alimentarse o, a través de imposibilitar el libre movimiento, no les permite huir de los depredadores (Gutiérrez y Bautista, 2015). Pueden también reducir las posibilidades de adquisición de pareja con consecuencias sobre la aptitud (Soto *et al.*, 2017). Finalmente, pueden tener consecuencias energéticas sobre los individuos cuando estos deben gastar energía para reparar las malformaciones o para vencer las consecuencias de estas, en lugar de para otras funciones vitales (Soto *et al.*, 2017). Estas consecuencias a nivel individual presentan consecuencias a niveles más altos de organización biológica.

Conocer las causas de las malformaciones puede ayudar a conocer el estado de degradación del ambiente (Ballenge y Sessions, 2009). Como se mencionó anteriormente las malformaciones pueden ser causadas por hibridación y endogamia (Henle *et al.*, 2017) y mutaciones (Ouellet, 2000). También pueden producirse por efecto de la radiación UV que afecta el desarrollo de los anfibios (Piha *et al.*, 2006). Altas concentraciones de metales pesados, herbicidas, insecticidas, fungicidas y fertilizantes agrícolas han sido relacionadas con la presencia de malformaciones (Piha *et al.*, 2006). También la presencia de temperaturas extremas (Ouellet, 2000), la densidad de depredadores (Ballenge y Sessions, 2009) como sanguijuelas, peces y odonatos (Agostini *et al.*, 2013) y la presencia de parásitos (Sousa y Costa, 2017) pueden aumentar la incidencia de malformaciones. En el caso específico de los parásitos, se sabe que estos pueden tener mayor influencia sobre la incidencia de malformaciones dependiendo en la etapa de desarrollo que se encuentren los anfibios (Johnson y Sutherland, 2003).

#### 2.4. Antecedentes de estudios bibliográficos de malformaciones en anfibios.

Se han llevado a cabo diversos trabajos relacionados con malformaciones en anfibios en países donde dominan los climas templados (EUA y varios países de Europa; Agostini *et al.*, 2013), pero relativamente pocos en regiones tropicales. Aguillón-Gutiérrez (2018) realizó una revisión abordando malformaciones macroscópicas en larvas de anuros y las posibles causas. En ese trabajo se identificó que dentro de las posibles causas de malformaciones se encuentran los factores genéticos, agentes infecciosos, factores ambientales, e incluso existen anomalías para las que aún no se conoce su etiología. La revisión más reciente donde contemplan los estudios sobre el tema en

América Latina fue publicada en 2017 por Henle y colaboradores. En este trabajo se revisaron todos los estudios relacionados con anomalías de anfibios en poblaciones naturales publicados entre 1945 y 2017 con un resultado de 1175 documentos, dichos documentos informaron anomalías en poblaciones naturales de 98 países. Henle *et al* (2017) reportaron que en Europa y América del norte presentan un mayor número de estudios sobre las anomalías de los anfibios. Lunde y Johnson (2012) realizaron una guía para el estudio de anfibios malformados, revisando la información disponible en estudios de campo y laboratorio con la finalidad de proporcionar sugerencias para el desarrollo de métodos y análisis de datos de muestras con anfibios malformados. También presentaron una serie de sugerencias para posibles estudios sobre la identificación de las posibles causas, pero tomando en cuenta que muchas veces las causas están actuando en sinergia. Brito (2008) presento una revisión de 242 artículos de 10 revistas de conservación y herpetología con la finalidad de conocer si los herpetólogos presentan la debida atención a las especies de importancia y en dónde se encuentra la mayor parte de las investigaciones de conservación para los anfibios.

Como resultado en los índices de atención de Brito (2008) se documentó que los herpetólogos dan mayor interés al orden Caudata mientras que el orden Gymnophiona recibe menor atención. Ouellet (2000) realizó un capítulo en un libro sobre ecotoxicología de anfibios y reptiles dónde realiza una revisión de la bibliografía hasta principios de 1999 con la finalidad de conocer la sensibilidad de las especies a diversos factores ambientales y también las posibles causas de las malformaciones. Como resultado Ouellet (2000) encontró 202 artículos y qué, dentro de ellos las posibles causas de las malformaciones en anfibios incluyeron: regeneración anormal después de una lesión, pesticidas y fertilizantes, composición química del agua, convivencia con ciertos peces, enfermedades, elevadas densidades de renacuajos, extremas temperaturas, mecanismos hereditarios, deficiencia de nutrición, quistes parásitos, contaminación radiactiva, radiación ultravioleta B, entre otros. También enlisto a 67 especies de anuros y 26 especies de salamandras presentando enfermedades.

### **3. Justificación**

La literatura acerca de malformaciones presentes en anfibios puede ser extensa, pero pocos son los trabajos que abordan malformaciones en Latinoamérica. Estas investigaciones son de interés por el gran potencial que tienen los anfibios como indicadores de perturbación ambiental y también porque pueden ayudar a conocer mejor a factores que pueden estar afectando a otros organismos. En los últimos años se tienen pocos registros de estudios de revisión bibliográfica acerca de malformaciones en anuros para Latinoamérica. Es por ello que en el presente documento se lleva a cabo un estudio cuantitativo que identifica los trabajos desarrollados en Latinoamérica referentes a malformaciones en anfibios en años recientes. Este trabajo se enfocará en revisar la literatura primaria, generar una base de datos actualizada sobre los trabajos existentes e identificar áreas de estudio que pueden ser útiles para proponer estrategias de conservación e investigación en Latinoamérica.

## 4. Objetivos

### 4.1. General

Realizar un estudio cuantitativo de la literatura primaria que aborde el tema de la incidencia de malformaciones en anfibios de Latinoamérica.

### 4.2. Específicos

- Identificar cuál es la malformación más comúnmente registrada en Latinoamérica.
- Identificar qué orden de anfibios presenta mayor incidencia en malformaciones.
- Identificar cuáles son los agentes causantes más comúnmente mencionados para la presencia de malformaciones en anfibios.
- Contrastar el número de estudios que se han llevado a cabo entre países.
- Identificar cuáles etapas de desarrollo de los anfibios son las más comúnmente mencionadas que presentan malformaciones.
- Identificar posibles relaciones entre:
  - a) El tipo de malformación
  - b) El país donde se reporta un tipo de malformación
  - c) Las causas de sus malformaciones
  - d) El taxa que se presenta la malformación reportada.
  - e) La etapa de desarrollo en que se presenta una malformación.

## 5. Materiales y métodos

Para llevar a cabo este estudio cuantitativo, se hizo una revisión de la literatura primaria que abarca el tema de malformaciones en anfibios de Latinoamérica. El primer paso fue la identificación de los trabajos publicados que hayan sido revisados por pares académicos y que se encuentran ubicados en índices académicos. Para localizar estos trabajos el primer paso fue realizar una búsqueda de documentos en los buscadores Google Académico y Microsoft Academic. Al mismo tiempo, se utilizaron los siguientes buscadores académicos: Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal (REDALYC), Web of Science (Thomson Reuters). En cada una de estas bases se siguieron las siguientes estrategias de búsqueda para localizar los estudios pertinentes (ver Cuadro 2).

En la herramienta Web of Science (<https://clarivate.com/es/>) se introdujeron términos específicos para su búsqueda tanto en el título, como en el resumen, y/o palabras clave de artículos indizados. Los términos utilizados fueron en inglés: “Amphibian” “Malformation” “Deformity” “Abnormality” “Malform\*” “Deform\*” y el nombre de un país de Latinoamérica (de México, al sur hasta la Patagonia). Para términos prácticos en todas las búsquedas se colocó la palabra “Amphibian” + algunas de las palabras ya mencionadas (“Malformation” “Deformity” “Abnormality”) seguido del país. Con estos tres términos, el operador AND fue utilizado para encontrar registros que contuviesen las palabras en conjunto en dicha búsqueda. Para definir el periodo temporal de la búsqueda se utilizó la opción “todos los años” (el término se encuentra dentro del motor de búsqueda), dicho de otra manera, la opción utilizada nos dice que no se buscó en una fecha definida. Para el caso de las palabras que presentan asterisco (“Malform\*” “Deform\*”), estas no se buscaron para cada país, ya que el asterisco se colocó con la finalidad de que el buscador rastreara cualquier artículo que presentara la palabra relacionada a malformaciones o deformidades tanto en español como en inglés. Todas las búsquedas en Web of Science se realizaron en el periodo de octubre a diciembre del año 2020 (ver Cuadro 2).

En la herramienta REDALYC (<https://www.redalyc.org/>) se llevaron a cabo los siguientes pasos para la ubicar los trabajos relevantes al tema de esta investigación. En el apartado de búsqueda se aplicó la opción de “artículos” y se colocó las palabras clave “malformación” y “Anfibio”. Dada la manera de búsqueda que realiza esta herramienta no se llevó a cabo una búsqueda de artículos por país (ver Cuadro 2). En la búsqueda de artículos en esta herramienta se activó el filtro de “Disciplina”

donde se eligió “Biología” como el término del filtro. Es esta herramienta, los años de búsqueda abarcaron de 1996 a junio 2020. La búsqueda se llevó a cabo en septiembre 2020.

Para llevar a cabo las búsquedas de la literatura primaria en la plataforma Google Académico (<https://scholar.google.es/schhp?hl=es>). En el buscador se introdujeron las siguientes palabras clave: “Malform\* “Deform\*” + anfibio, “Malformación” +” Anfibio” y el nombre de cada uno de los países en la región de estudio. En la búsqueda se aplicó el término “cualquier momento” para delimitar el periodo de inicio de búsqueda; la búsqueda contempló hasta septiembre de 2020. La utilización de las palabras que presentan asterisco se realizó con la finalidad de que el buscador rastreara todas las palabras que contuviesen todo lo referido a malformación, deformidades o anomalías, relacionadas con anfibios en los contenidos (ver Cuadro 2).

De modo similar, en la plataforma Microsoft Académico (<https://academic.microsoft.com/home>) las palabras clave utilizadas fueron “Malformación” + “anfibio” y el nombre de cada uno de los países en la región de estudio. Dentro de la plataforma se implementaron los siguientes filtros temas principales= “Biología”, tipos de publicación = “Publicación en revistas”. El periodo de búsqueda dentro de la herramienta corrió desde la más antigua fecha disponible en la misma, hasta junio de 2020 (ver Cuadro 2). Las búsquedas en esta herramienta fueron llevadas a cabo en el periodo de septiembre 2020.

Los países en las búsquedas detalladas líneas arriba fueron: México, Argentina, El Salvador, Panamá, Colombia, Venezuela, Perú, Ecuador, Guatemala, Bolivia, Paraguay, Uruguay, Chile, Honduras, Anguila, Antigua y Barbuda, Bahamas, Barbados, Belice, Brasil, Cuba, Dominicana, Islas Caimán, Jamaica, Costa Rica, Puerto Rico, Trinidad y Tobago, Granada, Guayana, Guayana Francesa, Haití, Republica Dominicana, Santa Lucia, San Vicente y las Granadinas, Saint Kitts y Nevis, Montserrat y Guadalupe.

A partir de cada una de las búsquedas se llevó a cabo una recopilación de todos los documentos de literatura primaria encontrados. De los artículos encontrados se llevó a cabo una depuración bajo los siguientes criterios. Se descartaron de los análisis aquellos artículos que solamente mencionan la palabra malformación como uno de los factores que pueden afectar a los anfibios, sin ahondar en el tema; por ejemplo, cuando un artículo menciona “los anfibios pueden presentar diferentes tipos de malformación”, pero solamente eso, sin entrar en detalle de que tipo de malformación presentaron o cuantos ejemplares encontraron con dichas malformaciones.

En los análisis de los artículos resultantes de las búsquedas llevadas a cabo en las herramientas antes mencionadas, se consideraron estudios con registros tanto de poblaciones naturales como de poblaciones en cautiverio y en estudios tanto de observación como experimentales. En esta última categoría se incluyeron estudios, donde, por ejemplo, se expone a los organismos a contaminantes para intentar generar alguna deformidad en el individuo.

Una vez que se identificaron los estudios en las búsquedas mencionadas líneas arriba, se obtuvo una copia PDF de cada uno de ellos. A cada uno de los trabajos se le asignó una clave individual. De cada artículo se obtuvo información sobre: el año de publicación, el título del trabajo y su identificador de objeto digital (DOI). También se obtuvo la siguiente información: taxa observados en el estudio, presencia e identificación de alguna de las malformaciones mencionadas en el Cuadro 1, así como también la identificación de la etapa de desarrollo en que se encontraban los individuos que presentaban malformación.

Cuadro 2		
<i>Criterios para la búsqueda de la bibliografía sobre estudios de malformaciones en anfibios de Latinoamérica</i>		
<b>Fuente</b>	<b>Fecha</b>	<b>Palabras clave</b>
W.O.S.	Todos los años	Malformation AND amphibian AND País
W.O.S.	Todos los años	Deformity AND Amphibia AND País
W.O.S.	Todos los años	Malform* AND Amphibia AND País
W.O.S.	Todos los años	Abnormality AND Amphibia AND País
REDALYC	1996-2020	Malformación + anfibio
G. A	Cualquier momento	Malform* + Amphibian
G. A	Cualquier momento	Deform* + Amphibia
G. A.	Cualquier momento	Malformación + Anfibio + País
M. A.	Cualquier momento	Malformación + Anfibio + País
Nota: G. A: Google Académico M.A: Microsoft académico W.O.S: Web Of Science		

## 5.1. Análisis de la información

Para la mejor comprensión de los datos obtenidos se utilizaron aproximaciones de estadística descriptiva. La información extraída de los documentos encontrados a partir de las búsquedas descritas en la sección anterior fue recopilada de manera sistemática en una hoja de cálculo (Microsoft Excel). Con la información obtenida se llevaron a cabo análisis para cumplir los objetivos de la investigación. La información extraída de cada uno de los artículos fue la siguiente: clave del artículo (se le asignó la abreviatura del buscador y el número del artículo), año de la publicación del artículo, título completo del artículo, número de ejemplares revisados en forma general, número de ejemplares que presentaron malformación, identificación de la malformación (colocando un rango de 0 a 1, presencia/ ausencia), causa establecida (si el artículo hace mención solo de posibles causas y no se realizó un estudio de comprobación, se colocó un “no”; en caso de que si se haya realizado un estudio comprobando la causa se colocó un “sí”), causal (en el caso de que en la anterior columna se haya colocado “sí”), posibles causas (las que mencionan en el artículo) y área de estudio (país en donde se localizan los anfibios con malformaciones).

A partir de la hoja de cálculo y para identificar el número de artículos publicados sobre malformaciones en anfibios para cada año, se cuantificó y graficó el número de artículos publicados en cada año en el periodo 2002 al 2020. El mismo procedimiento se llevó a cabo cuantificando solamente los artículos encontrados en cada uno de los buscadores. Con eso se pudo comparar la cantidad de artículos encontrados entre las plataformas de búsqueda.

Para identificar la malformación más comúnmente registrada en Latinoamérica se cuantificó el número de menciones que cada una de las malformaciones (siguiendo el cuadro 1) tuvo entre los artículos. Por mención, se hace referencia a que un artículo contiene algún informe a las malformaciones (y no al número de ocasiones que en un artículo menciona la palabra que identifica a la malformación). Por ejemplo, si un artículo menciona o trata de “sindactilia”, se contabiliza como una mención, sin importar cuantas veces la palabra sindactilia se repite en el documento. En caso de que existan 2 o más individuos que presentan la misma malformación se contabilizó solo una vez.

Para identificar cual es el orden taxonómico (Anuros, Caudata o Gymnophiona) que se registra con mayor frecuencia en la literatura sobre malformaciones en anfibios, se extrajo de cada artículo a los taxa que en él se mencionaban como sujetos a una malformación. En el caso específico de los anuros, el orden fue dividido para representarlo en forma gráfica en sus dos grupos (ranas y sapos).

Aunque estos no son grupos científicamente reconocidos, se decidió hacer esta distinción (siguiendo a Parra *et al.*, 2014) para obtener una mejor representación de qué grupo de anuros es el que presenta mayor susceptibilidad. Es importante mencionar que en algunos artículos se menciona más de un grupo. Por ejemplo, en un artículo se visualizaron tanto ranas como sapos con malformaciones. En este caso, se extrajeron a todos los taxones mencionados, se les agrupó en un orden y se procedió a su análisis. A partir de los datos obtenidos se realizó una tabla de frecuencias con la finalidad de obtener el porcentaje de cada uno de los grupos mencionados utilizando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Menciones} = \frac{n * 100}{T}$$

Dónde:

% de menciones= porcentaje de las menciones en las que aparece algún grupo taxonómico.

n= número de ocasiones en que se mencionan a un ejemplar de algún grupo taxonómico (ranas, sapos, caudados o Gymnophiona).

T= total de artículos encontrados en las búsquedas.

Para identificar a los agentes causales de malformaciones más comúnmente mencionados en los artículos localizados se implementó el siguiente procedimiento. Primero se ubicó la mención a una malformación (según el cuadro 1) y después a su agente causal. El número de ocasiones en que un agente causal fue mencionado se cuantificó y luego se le comparó contra el número de menciones de otros agentes causales. Es importante mencionar que, en algunas ocasiones, los artículos revisados se mencionaron más de una posible causa y se consideró a cada una de ellas en las cuantificaciones que se llevaron a cabo. Es importante también mencionar que dentro de la causa de contaminantes químicos se englobaron contaminantes pesticidas y agroquímicos.

Para explorar y contrastar el número de artículos con respecto a malformaciones en anfibios generados entre los países de estudio se realizó lo siguiente. De cada artículo se extrajeron los nombres de los países en donde se realizaron los estudios (país en donde se localizaron los individuos con las malformaciones). Con base en el número de artículos encontrados para cada país se generó un análisis de frecuencias.

Por último, se analizaron y compararon las etapas de desarrollo de los anfibios (larva, juvenil y adulto) en las que se presentaron la mayor o menor cantidad de malformaciones. Para obtener esta información se realizó lo siguiente. A partir de la descripción de cada artículo, se obtuvieron las diferentes etapas en las que se encontraban los anfibios y en los que se observaron malformaciones, calculando su frecuencia de aparición en la literatura. En algunas ocasiones los artículos mencionaron la revisión de malformaciones y existían dos o más individuos en diferentes etapas; cuando esto sucedió, se cuantificó cada una de las menciones que se llevaron a cabo en el artículo para el cálculo de las frecuencias. Las frecuencias se calcularon utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Frecuencia de menciones de estados de desarrollo: } \frac{n*100}{\text{Total de observaciones}}$$

Dónde:

n= Etapa de desarrollo en el que se encontraban los anfibios (Adultos, juveniles, larvas).

## 5.2 Relaciones entre variables

Para complementar este estudio, se realizaron 2 diferentes pruebas para identificar la posible relación entre las variables a) país, b) orden de anuros, c) tipos de malformación, d) etapa de desarrollo y e) posibles causas. Para ello se llevaron a cabo pruebas en las siguientes combinaciones: posibles causas – país, posibles causas – orden de anuros, posibles causas- tipo de malformación y, por último, tipo de malformación – etapa de desarrollo. Las pruebas se llevaron a cabo a través de análisis de  $X^2$  y el cálculo del coeficiente de Cramer (V) (Isea *et al.*, 2018).

El análisis de  $X^2$  es una prueba no paramétrica que permite establecer el grado de asociación entre variables, midiendo la diferencia entre una distribución de frecuencias esperadas y observadas. (Mendivelso y Rodríguez, 2018). La  $X^2$  se estima a partir de la siguiente ecuación:

$$(x^2) = \sum \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

En dónde:

O<sub>i</sub>= Valor observado

E<sub>i</sub>= Valor esperado

Derivado del análisis de X<sup>2</sup>, El coeficiente (V) de Cramer es una herramienta de análisis, donde se mide la intensidad que puede existir entre dos o más variables de escala nominal, utilizando tablas de contingencia (Aguilar, 2017). La interpretación del coeficiente se puede llevar a cabo siguiendo los criterios que se presentan en el Cuadro 3.

Para el cálculo de este coeficiente se prosiguió a utilizar la formula:

$$V = \sqrt{\frac{X^2}{n(\min[r,c] - 1)}}$$

Dónde:

N= número total de frecuencia

Min= menor número de categorías entre filas (r) y columnas (c), menos 1

<i>Cuadro 3</i>	
<i>Valores de interpretación para el coeficiente (V) de Cramer.</i>	
<b>Tipo de asociación</b>	<b>Valores</b>
Asociación baja	≤ 0.3
Asociación media	<0.3 a ≤ 0.6
Asociación alta	≥ 0.6

Para llevar a cabo los análisis mencionados líneas arriba se construyeron tablas de contingencia con filas y columnas basadas en las variables nominales mencionadas líneas arriba. En 3 de las 4 tablas de contingencia, las columnas correspondieron a las posibles causas, mientras que para las hileras se colocaron los diferentes países, el orden y tipo de malformación. Por último, la cuarta tabla estuvo integrada con las columnas para el tipo de malformación y las hileras para la etapa de desarrollo. Para el llenado de dichas tablas se prosiguió a revisar nuevamente los artículos encontrados sobre malformaciones en anfibios; esto con la finalidad de contabilizar las menciones de cada una de las variables en conjunto. Los análisis estadísticos se llevaron a cabo utilizando el programa R ver. 2022.07.

## 6. Resultados

En el periodo de estudio que se consideró para este trabajo (23 años 9 meses) se contabilizaron 28 artículos, en los que se detallan malformaciones en anfibios. El primer trabajo encontrado para Latinoamérica fue de 2004. Del 2005 al 2009 no presentaron trabajos publicados. Solo hasta los años 2010 y 2011 se publicaron 3 nuevos artículos. Es en el año 2014 cuando se presentó un crecimiento importante de trabajos realizados (Figura 1), que siguió hasta el 2019. Para el año 2020 no se localizaron trabajos publicados.

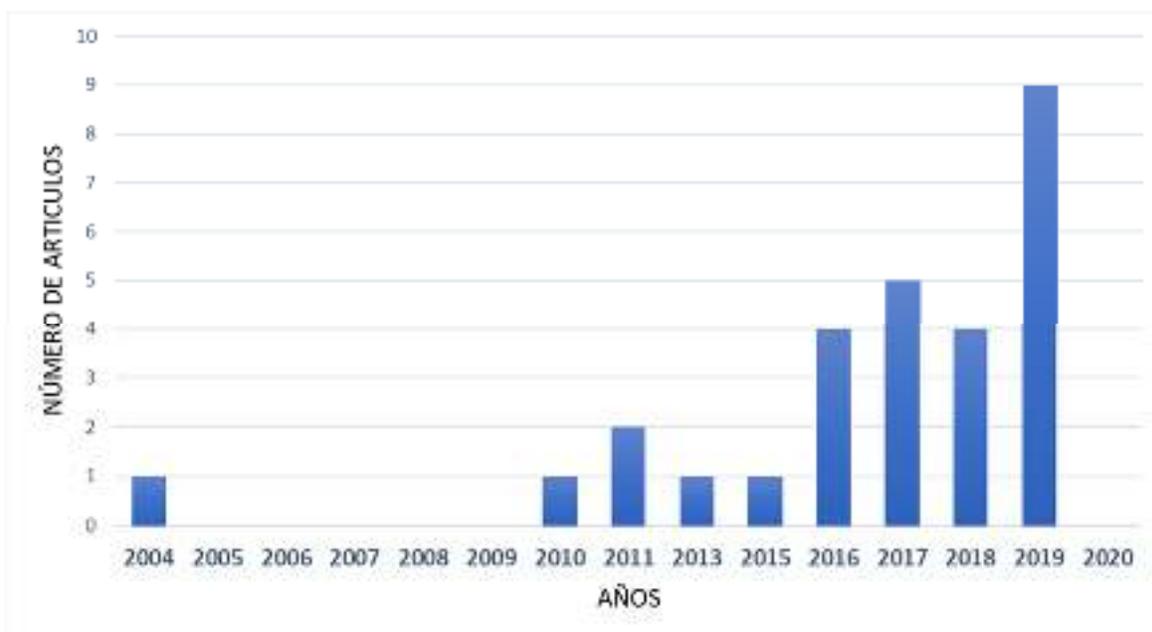


Figura 1: Número de artículos publicados relacionados con malformaciones en anfibios de Latinoamérica en un periodo de 2004- junio 2020.

El mayor número de artículos fueron encontrados en el buscador general Google Académico, 20 publicaciones que equivalen al 72.4%. Los buscadores académicos Web of Science, REDALYC arrojaron el 25% (7 publicaciones) y 3.5% (1 publicación) de los artículos respectivamente. El buscador Microsoft Académico no arrojó resultados en las búsquedas realizadas (Figura 2).

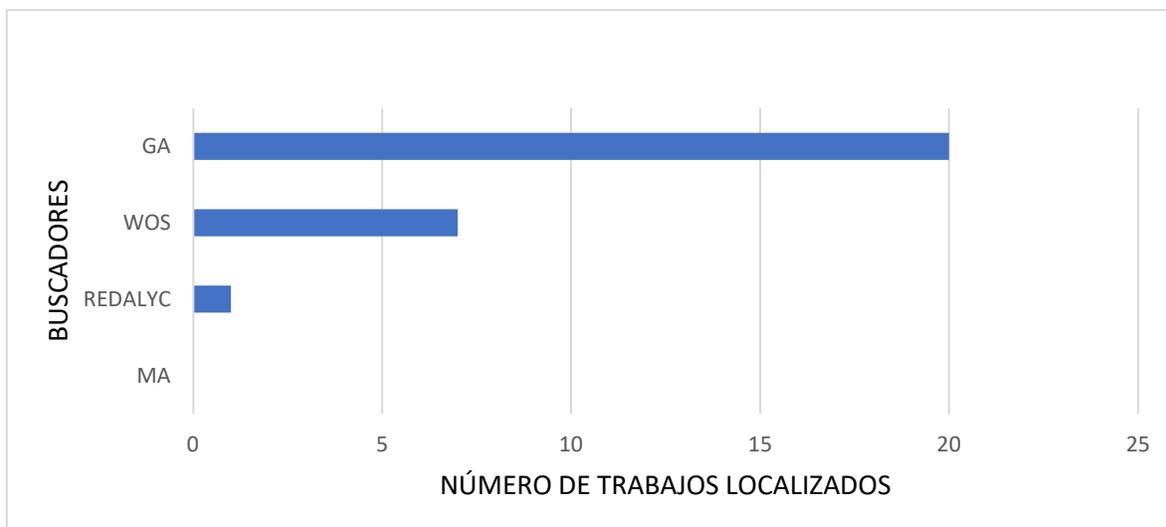


Figura 2: Número de artículos relacionados con malformaciones en anfibios encontrados en diferentes buscadores bibliográficos. Microsoft Académico (M.A.), Red de Revistas Científicas de Latinoamérica y el Caribe, España y Portugal (REDALYC), Web of Science (WOS), Google Académico (GA).

Se identificaron 14 malformaciones diferentes en los artículos consultados. La braquidactilia fue la malformación que presentó mayor incidencia, con diecinueve menciones en la literatura (16.5% de todas las menciones a malformaciones que encontraron). Amelia y Anoftalmia fueron también malformaciones comúnmente mencionadas en la literatura; la primera fue mencionada en 18 ocasiones y la segunda en 16 ocasiones. Las malformaciones con baja incidencia en su mención fueron, polifalagia, cola atrofiada y agnesia unilateral; estas tuvieron solo una mención en la literatura consultada con una repetición (Figura 3).

La mayor cantidad de menciones a una malformación se presentó en el orden Anura (93%). Subdividiendo a este grupo, las ranas presentaron un 55.17% de las menciones mientras que los sapos tuvieron un 37.93%. El orden Caudata tuvo solamente un 6.90% de menciones. Para el orden Gymnophiona no se presentaron documentos relacionados con malformaciones (Figura 4).

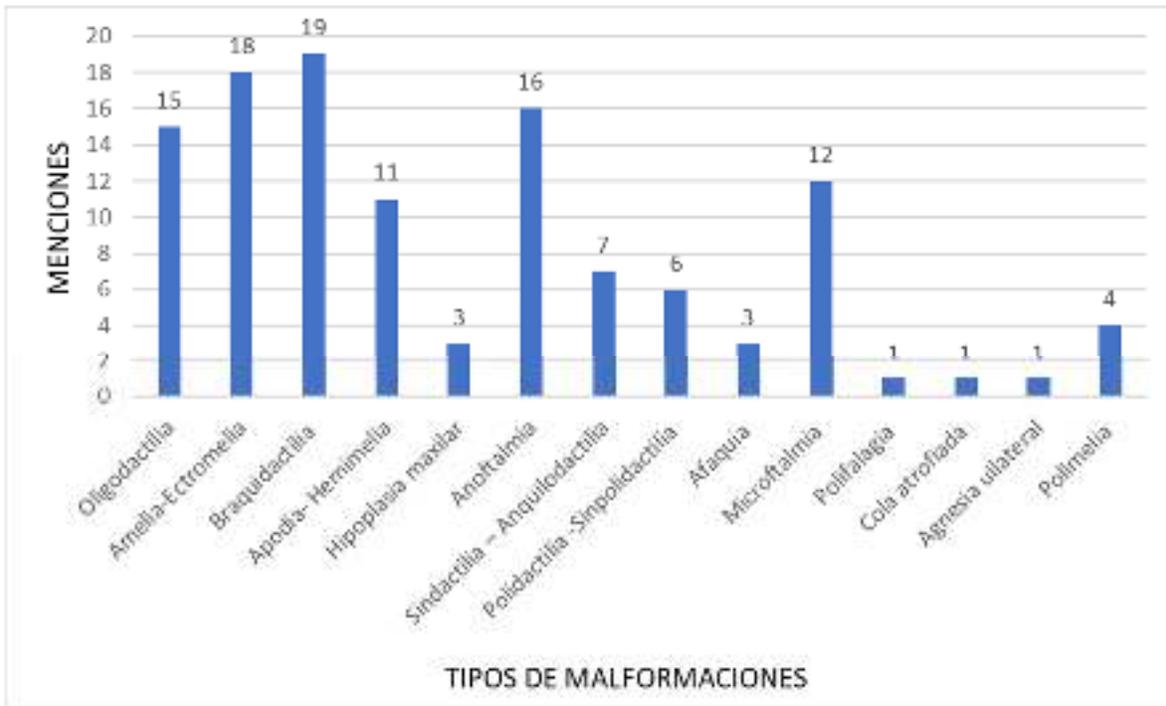


Figura 3: Grafica de la representación del número de veces que se repiten las malformaciones en anfibios que se presentaron en los artículos encontrados para Latinoamérica. Las definiciones de cada uno de los términos se presentan en el cuadro 1.

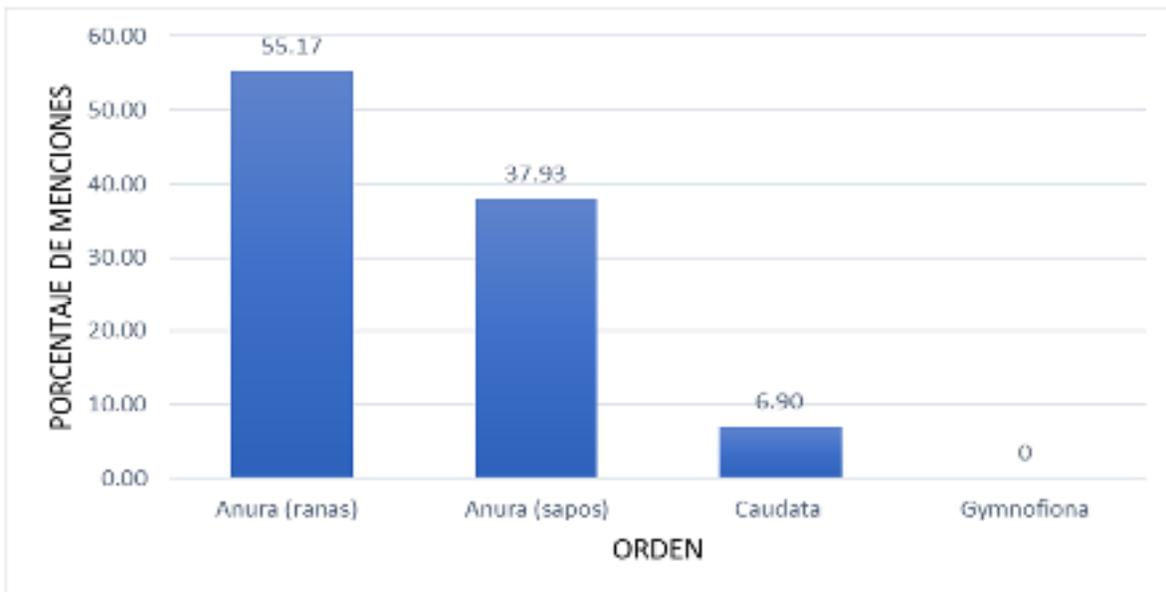


Figura 4: Representación gráfica de porcentajes de taxa que presentaron malformaciones esto de acuerdo con los artículos encontrados para Latinoamérica.

De las causas que generan malformaciones en anfibios en los artículos revisados, con una mayor proporción se encuentran los contaminantes químicos (15 menciones), seguidos de la radiación UV-B y parásitos, con 10 y 12 respectivamente. Las causas mencionadas con menor frecuencia fueron “proximidad a la carretera y “errores en el desarrollo”, con una sola mención (Figura 5).

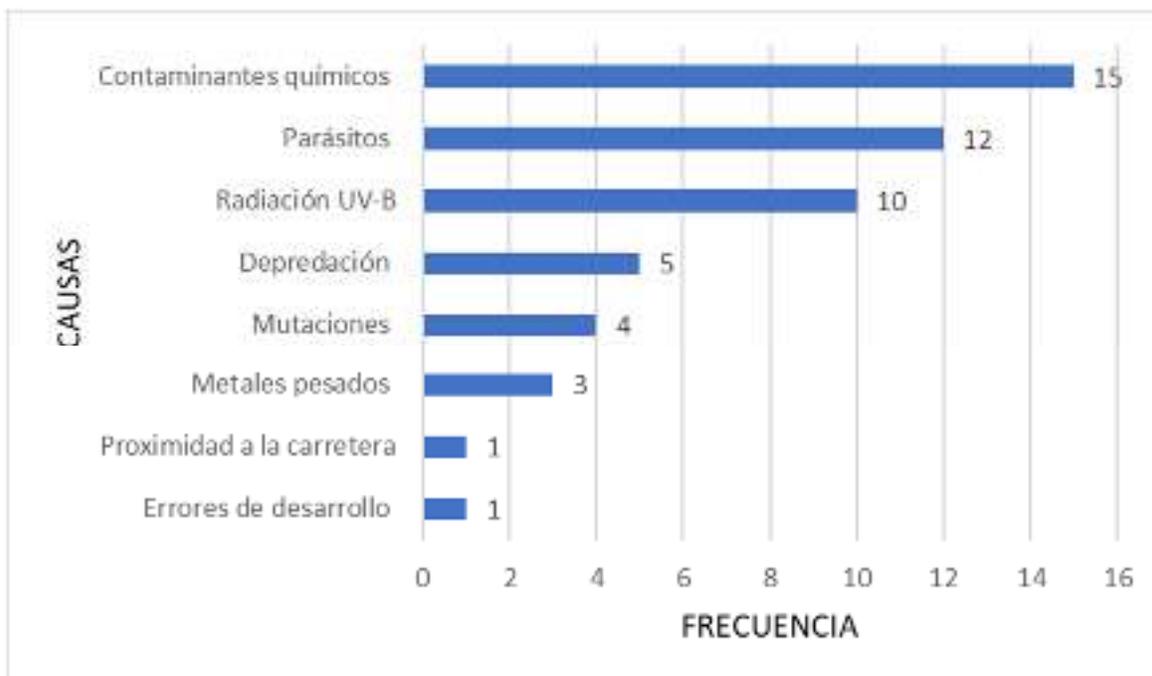


Figura 5: Frecuencias (número de veces que se repite) las posibles causas por las que los anfibios presentan malformaciones, esto de acuerdo con los artículos encontrados para América Latina.

Entre los 28 artículos encontrados, Brasil es el país donde mayor número (10) de artículos relacionados con malformaciones en anfibios se han reportado. El siguiente país con más malformaciones reportadas en artículos es Argentina (6), seguido de México (5). Colombia y Ecuador presentan reportes de malformaciones en dos artículos. Finalmente, Venezuela y Costa Rica presentaron reportes de malformaciones en un artículo cada uno (Figura 6). En los demás países de Latinoamérica no se han identificado malformaciones en artículos durante el periodo de estudio.

La etapa de vida con mayor frecuencia de mención de estado de desarrollo en la literatura analizada fue la adulta, con un 75%. Los trabajos que identificaron a juveniles (21.88%) y larvas (3.3%) fueron mucho menos numerosos (Figura 7).

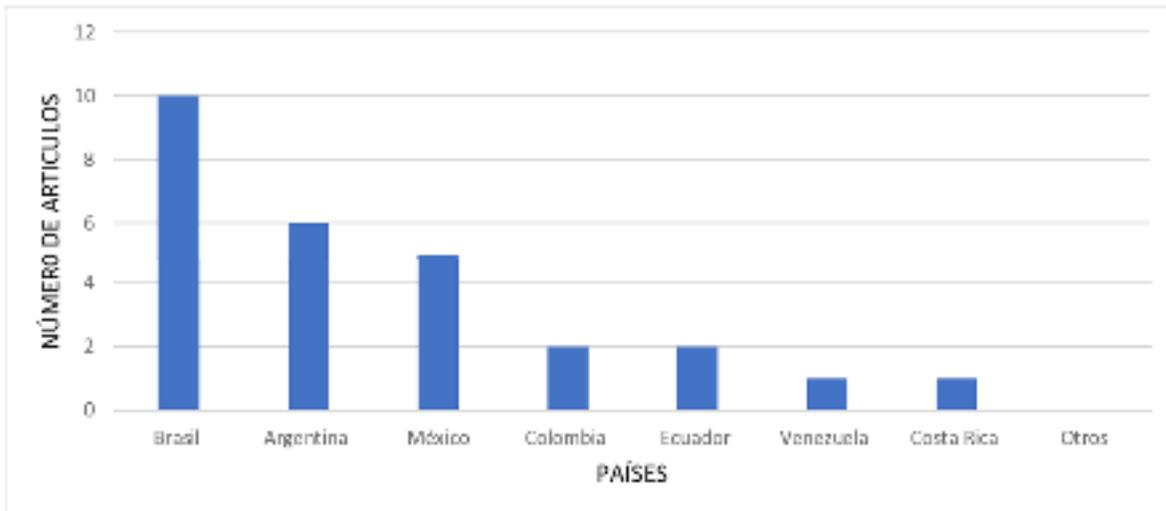


Figura 6: Número de artículos encontrados para países en América Latina en donde se identificaron malformaciones en anfibios.

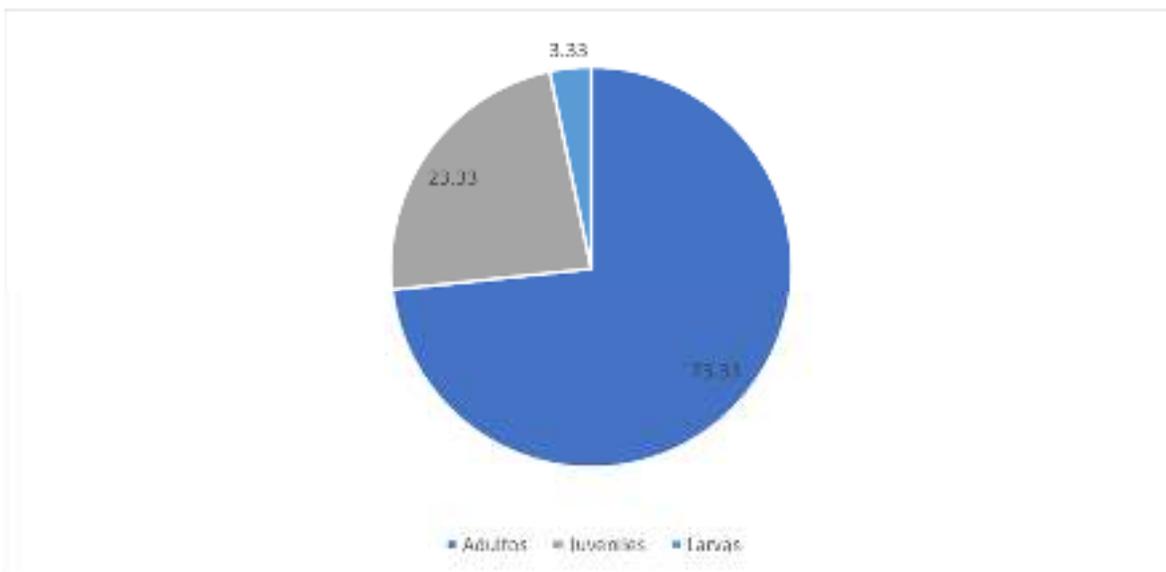


Figura 7: Porcentaje de las diferentes etapas de desarrollo en anfibios que presentaron malformaciones y que fueron mencionadas en los artículos encontrados para Latino América. Ver sección de análisis de datos para ver detalles del cálculo.

## 6.1 Relaciones entre variables

Para los seis países en los que se encontraron trabajos que reportan malformaciones, los parásitos y los contaminantes químicos son considerados como la posible causa mientras que la radiación UV-B se manifestó en 5 países, ya que en Ecuador no lo consideran una posible causa. A través del procedimiento de  $X^2$  se encontró que no hay relación significativa entre las variables analizadas, la relación entre país y posibles causas arrojó una  $X^2 = 16.749$ ,  $df = 30$ ,  $p\text{-value} = 0.9755$  (ver tabla de contingencia 1 para los datos de origen para esta prueba). De manera similar los resultados del coeficiente V de Cramer, en la prueba realizada para la variable país y posibles causas arrojó un valor de 0.222 y de acuerdo con los valores de interpretación (ver Cuadro 3) la asociación de estas variables es una asociación baja.

*Tabla 1*

*Tabla de contingencia de los diferentes países en Latinoamérica y las posibles causas de los cuales podrían estar presentando malformaciones esto de acuerdo con los artículos para América Latina*

Países	Posibles Causas						
	PC	MUT	CQ	PAR	DEP	UV-B	MP
B	0	2	6	6	2	5	3
A	0	0	6	3	1	3	0
M	1	0	4	6	3	3	1
C	0	0	3	2	0	3	0
E	0	0	1	1	0	0	0
CR	0	0	1	1	0	1	0

NOTA: La abreviatura utilizada fue la siguiente: B: Brasil, A: Argentina, M: México, C: Colombia; E: Ecuador, CR: Costa Rica. Para las columnas; PC: Proximidad a la carretera, MUT: Mutaciones, CQ: contaminantes químicos, PAR: parásitos, DEP: depredación, UV-B: radiación UV-B, MP: Metales Pesados.

En la exploración de las relaciones entre el orden y las posibles causas se encontró que en el grupo de las ranas sus posibles causas de malformaciones mayormente son por contaminantes químicos y parásitos, mientras que para las variables proximidad a la carretera y mutaciones solo se presenta para dos grupos ranas y caudata. Los resultados para la relación de las variables mediante el procedimiento  $X^2$  se encontró que no hay relación significativa entre las variables analizadas. La relación entre el orden taxonómico y posibles causas arroja una  $X^2 = 14.284$ ,  $df = 12$ ,  $p\text{-value} = 0.2829$  (ver tabla de contingencia 2 para los datos de origen para esta prueba). De manera similar los resultados del coeficiente V de Cramer en la prueba la relación entre orden taxonómico y posibles causas arrojó un valor de 0.222 y de acuerdo con los valores de interpretación (ver Cuadro 3) la asociación de estas variables es una asociación baja.

*Tabla 2*

*Tabla de contingencia de los diferentes órdenes de anfibios y las posibles causas de los cuales podrían estar presentando malformaciones, esto de acuerdo con los artículos para América Latina*

Orden	Posibles Causas						
	PC	MUT	CQ	PAR	DEP	UV-B	MP
R	0	1	17	11	3	9	3
S	0	0	9	6	2	6	1
C	1	0	1	2	1	1	0

NOTA: La abreviatura utilizada fue la siguiente: R: Rana, S: Sapo, C: Caudata. Para las columnas; PC: Proximidad a la carretera, MUT: Mutaciones, CQ: contaminantes químicos, PAR: parásitos, DEP: depredación, UV-B: radiación UV-B, MP: Metales Pesados.

Para la variable tipo de malformación y posibles causas, braquidactilia presenta una alta incidencia en las posibles causas por contaminantes químicos y parásitos, mientras que para las mutaciones es una posible causa que solo se presenta en las malformaciones macroftalmia y braquidactilia. Los resultados para la relación de las variables mediante el procedimiento  $X^2$ , se encontró que no hay relación significativa. La relación entre el tipo de malformación y las posibles causas arrojó una  $X^2 = 66.223$ ,  $df = 96$ ,  $p\text{-value} = 0.9912$  (ver tabla de contingencia 3 para los datos de origen para esta prueba). De manera similar los resultados del coeficiente V de Cramer arrojó un valor de 0.2519 y de acuerdo con los valores de interpretación (ver Cuadro 3) la asociación de estas variables es una asociación baja.

Tabla 3

Tabla de contingencia de los diferentes tipos de malformaciones que presentaron los anfibios y sus posibles causas de los cuales podrían estar presentando malformaciones, esto de acuerdo con los artículos para América Latina.

Tipo de malformación	Posibles Causas						
	PC	MUT	CQ	PAR	DEP	UV-B	MP
AM	0	0	4	2	1	2	0
CI	1	0	1	1	1	1	0
MM	1	0	1	1	1	1	0
SUB	0	0	1	0	0	0	0
AQ	0	0	1	0	0	0	0
MT	0	1	2	1	0	0	1
BD	1	1	12	11	9	4	1
HM	0	0	6	3	1	2	0
PF	0	0	1	0	0	0	0
PD	1	0	4	4	2	3	1
AT	0	0	5	1	0	1	0
OD	1	0	9	5	2	4	0
SD	1	0	4	4	2	2	0
AU	0	0	1	1	1	1	0
PM	1	0	4	3	3	4	0
EM	1	0	4	4	2	5	0
HIM	0	0	1	1	1	1	1

NOTA: La abreviatura utilizada fue la siguiente: Para las filas AM: Amelia, CI: Cola incompleta, MM: Micromelia, SUB: Subdesarrollado, AQ: Afaquia, MT: Microftalmia, BD: Braquidactilia, HM: Hemimelia, PF: Polifalagia, PD: Polidactilia, AT: Anoftalmia, OD: Oligodactilia, SD: sindactilia, AU: Agnesia unilateral, PM: Polimelia, EM: Ectromelia, HIM: Hipoplasia mandibular. Para las columnas; PC: Proximidad a la carretera, MUT: Mutaciones, CQ: contaminantes químicos, PAR: parásitos, DEP: depredación, UV-B: radiación UV-B, MP: Metales Pesados.

Según la etapa de desarrollo los adultos presentan mayor incidencia de braquidactilia, oligodactilia y sindactilia; de los 17 tipos de malformación los juveniles solo tienen presencia de 7 de ellas, mientras que las larvas solo en 6 tipos de malformaciones. Los resultados para la relación de las variables mediante el procedimiento  $X^2$ , se encontró que no hay relación significativa, la relación entre etapa de desarrollo y tipo de malformación arrojó una  $X^2 = 44.567$ ,  $df = 32$ ,  $p\text{-value} = 0.06898$  (ver tabla de contingencia 4 para los datos de origen para esta prueba). De manera similar los resultados del coeficiente V de Cramer arrojó un valor de 0.5525 y de acuerdo con los valores de interpretación (ver Cuadro 3) la asociación para estas variables es media o moderada.

*Tabla 4*

*Tabla de contingencia de las diferentes etapas de desarrollo de los anfibios y las malformaciones que se contabilizaron, esto de acuerdo con los artículos para América Latina.*

<b>Edo. desarrollo</b>	<b>Tipo De malformación</b>																
	AM	CI	MM	SB	AQ	MT	BD	HM	PF	PD	AT	OD	SD	AU	PM	EM	HIM
Adulto	2	1	1	0	0	1	11	5	1	6	3	10	7	1	3	3	2
Juvenil	0	0	0	0	0	1	2	2	0	0	1	2	0	0	1	2	0
Larva	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0

NOTA: La abreviatura asignada para las columnas es la siguiente AM: Amelia, CI: Cola incompleta, MM: Micromelia, SUB: Subdesarrollado, AQ: Afaquia, MT: Microftalmia, BD: Braquidactilia, HM: Hemimelia, PF: Polifalagia, PD: Polidactilia, AT: Anoftalmia, OD: Oligodactilia, SD: sindactilia, AU: Agnesia unilateral, PM: Polimelia, EM: Ectromelia, HIM: Hipoplasia mandibular

## 7. Discusión

Las investigaciones sobre malformaciones en anfibios son de importancia ya que estos organismos cumplen un importante papel como indicadores de perturbación ambiental y se encuentran entre los vertebrados con el mayor número de especies en alguna categoría de riesgo (por ejemplo, la lista roja de la UICN y la Norma oficial mexicana NOM 059 SEMARNAT-2010. Aunque la cantidad de estudios relacionados con la incidencia y causas de malformaciones ha aumentado alrededor del mundo, este estudio ha identificado que la información que se tiene para América Latina aun es escasa. Los 28 artículos que se encontraron para Latinoamérica contrastan con los relativamente numerosos trabajos que Ouellet 2000 y Henle y colaboradores en 2017 registraron para Europa, Estados Unidos y Canadá. Estos son los países o regiones que presentan mayor número de estudios relativos a la presencia de malformaciones en anfibios.

Los resultados de Henle y colaboradores en 2017 arrojaron un mayor número de artículos encontrados en comparación con este proyecto. Esto es debido a que en aquel estudio se abarcó un mayor rango geográfico de 93 países, mientras que para este proyecto solo se aplicó la búsqueda para América Latina. Habría que añadir que también Henle et al. (2017) realizaron búsquedas en 3 plataformas de búsqueda de información diferentes a las de este proyecto (por ejemplo, el North America Reporting Centre for Amphibian Malformations), en registros de zoológicos y en la literatura sobre herpetología de campo compilada por Scriften Schaw. Esto permitió a los autores el acceso tanto a literatura primaria como a trabajos no publicados y reportes de proyectos específicos relacionados con la temática de malformaciones en anfibios. De todas las fuentes consultadas por Henle et al. (2017), la plataforma que coincide con la de este proyecto es la Web of Science. Aun habiendo usado esta misma plataforma los artículos no coinciden con los encontrados en este trabajo, por lo que podría haber algunas diferencias en la metodología de búsqueda. Hay que mencionar además que los autores en esta plataforma aplicaron un rango de tiempo de 1945 a 1985 y 1996 a 1999, mientras que en nuestra metodología se aplicó en un rango de “cualquier momento”. Estas diferencias en la metodología de búsqueda pueden haber contribuido a que en este documento se encontraran diferentes números de publicaciones sobre la temática.

En este proyecto no se incluyeron reportes de proyectos específicos o tesis académicas que tocaran el tema sobre malformaciones en anfibios. Generalmente, existe una relativamente mayor cantidad de trabajos realizados en torno a un tema particular que son documentados o publicados a través de reportes de proyecto, en forma de libro blanco (documento que abunda en un tema pero que no necesariamente tiene una revisión por pares o atraviese un comité de revisión; denominado *whitepaper* en inglés), o como tesis de algún grado académico. Aunque algunos de estos tipos de documentos pueden haber tenido algún proceso de revisión por pares o por parte de un comité especializado, muchas veces son difíciles de encontrar y no están compilados en los repositorios de literatura acerca de un tema. Es posible que, de haber incluido estos documentos, el número de observaciones de malformaciones en un mayor número de poblaciones de anfibios hubiera aumentado. Por ejemplo, haciendo una búsqueda focalizada sobre tesis de grado en instituciones de Latinoamérica, se pueden encontrar documentos que no han sido publicados en la literatura primaria. Salinas, en 2019, presenta un trabajo ecotoxicológico en anuros para el área de Córdoba, Argentina, en donde evalúa y determina los efectos producidos por la agricultura, dentro de los resultados presentan ejemplares con malformaciones tanto como en etapa larvaria y en etapa adulta, este es un ejemplo de tesis que no se encuentra publicada en alguna revista científica, y que presentan registro de malformaciones que no se contabilizaron en este trabajo.

En el trabajo de Henle y colaboradores en 2017 dentro de sus búsquedas encontraron trabajos con presencia de malformaciones en fósiles de anfibios (esto para el año 1554), mientras que para este trabajo no se encontraron trabajos de malformaciones en anfibios hasta el año 2004 en adelante, esto quizá se deba a que ellos obtuvieron registros de zoológicos, que pueden tener mayor antigüedad.

Por otro lado, Ouellet en 2000 realizó un estudio de revisión bibliográfica de malformaciones en anfibios y de igual forma obtuvo como resultado un mayor número de artículos; esto debido al mayor rango geográfico en el que se aplicó la búsqueda para malformaciones, en su revisión presentó reportes de Estados Unidos, Canadá, Italia, Francia, China, Rusia entre otros. Dentro de los países para los que Ouellet encontró documentación sobre las malformaciones en América se encontraron Costa Rica, Puerto Rico, Venezuela y México. Para este trabajo solo se encontraron reportes de México, Venezuela y Costa Rica. Otra razón posible para la falta de concordancia entre lo encontrado en Ouellet y este trabajo es el rango de tiempo utilizado en las búsquedas. En los resultados de este trabajo no se encontró literatura antes del 2004. Es posible también que haya contraste debido a la utilización, en Ouellet de términos adicionales, como “monstruosidades”

Las diferencias en el número de casos de malformaciones identificados en este estudio para Latinoamérica con los que se han encontrado para las otras regiones puede deberse a otras razones adicionales. Es posible que exista un mayor número de investigadores activos en países de Norteamérica y Europa ya que probablemente exista una mayor inversión en investigación más desarrollo (I+D) o bien la mayoría de los investigadores de América Latina se encuentren publicando artículos en revistas nacionales o regionales que no se encuentran indexadas. Ríos y Herrero en 2005, realizaron una revisión bibliográfica de la producción científica de América Latina y presentaron el siguiente resultado, el Institute for Scientific Information (ISI) informa que para América Latina solo recoge 53 títulos y principalmente son de los siguientes países; Brasil, Chile, Argentina, México y Venezuela tomando en cuenta que la disciplina “ciencias naturales” es una de las últimas en producción de artículos indexados. Así como también lo menciona Crespo *et al.* (2019) América Latina presenta un porcentaje muy bajo en producción científica dedicada a los recursos naturales, o efectivamente haya un déficit comparativo en el número de observaciones de malformaciones entre las regiones.

Henle y colaboradores (2017) presentan países de América Latina como puntos críticos, esto hace referencia a los países que presentan más del 5% del rango “normal” de malformaciones en sus poblaciones de anfibios. Entre los países que estos autores identifican están Argentina, Brasil, Costa Rica y Guatemala. Con base en los resultados de este proyecto, dos de estos países, Brasil y Argentina, son los países que presentaron mayor número de informes de malformaciones en anfibios. reforzando la necesidad de ampliar los estudios en estas regiones, pero también haciendo notar que puede ser se estén atendiendo las necesidades de investigación sugeridas en Henle *et al.* (2017).

Aunque las causas de las malformaciones que se pueden detectar en poblaciones de anfibios alrededor del mundo pueden tener diferentes causalidades, es importante mencionar la posible fuerte relación entre la contaminación y su incidencia. Es difícil hacer una relación causal del término contaminación (*sensu lato*) y las malformaciones, pues este término puede involucrar una gran cantidad de agentes causantes. Componentes orgánicos, inorgánicos (p.e., metales pesados, agentes organoclorados, entre otros) suelen ser presentados en conjunto en algunos estudios, lo que dificulta el proceso de saber cuál es el posible agente causal de manera precisa. Bustos y colaboradores en 2009 presentaron un trabajo sobre contaminación en América Latina y parte de sus resultados es que los países que presentan mayor descarga de contaminación son Brasil, Argentina y México. Es por ello, quizás, que en los tres trabajos (Henle y colaboradores en 2017, Ouellet en 2000 y el presente

trabajo) se puede observar los mismos países presentando reportes de malformaciones en anfibios y también recordando que una de las posibles causas para que los anfibios presenten malformaciones es la contaminación.

En la comunidad herpetológica de Latinoamérica es relativamente baja la atención para la búsqueda de malformaciones de anfibios en etapa larvaria, ya que, de acuerdo con este proyecto, sólo el 3.3% de los artículos hablan acerca de larvas. Aguillón Gutiérrez (2018), elaboró una revisión bibliográfica, pero no contabilizó cuantos estudios encontró sobre el tema de malformaciones en larvas de anfibios de Latinoamérica. La baja atención que presentan las investigaciones de este tema podría ser debido a la dificultad que puede tener la identificación de las diferentes etapas larvarias.

Así como la etapa larval presenta una baja atención, en términos de la identificación de malformaciones, existe el orden Gymnophiona para el cual no se presentan resultados en la búsqueda. En este trabajo, al igual que en Brito (2008), se sugiere que el orden Gymnophiona es el menos estudiado por los herpetólogos. Por otro lado, los anuros (ranas y sapos) presentan un mayor interés de investigación. Otra consideración a la falta de resultados para el orden Gymnophiona podría ser que los anuros pueden presentarse en lugares donde es más común la actividad humana y los organismos que forman parte del orden Gymnophiona son específicos a lugares más conservados.

Dentro de los resultados de este trabajo se pudo apreciar que el tipo de malformaciones más frecuente es la braquidactilia, seguida de la amelia y anoftalmia. Esto contrasta con lo presentado por Henle y colaboradores en 2017. Ellos obtuvieron resultados en donde polidactilia fue la malformación en anfibios que se presenta más comúnmente. Como ya se ha estado mencionado, estas diferencias pueden deberse a los diferentes motores de búsqueda y a los rangos geográficos que tienen registrados.

Factores antropogénicos como la contaminación son las que más comúnmente se relacionan con el número de malformaciones encontradas en poblaciones de anfibios. Este factor ha sido identificado también por Henle et al (2017) y Ouellet (2000). Esta causalidad es preocupante, pues la expansión de agroecosistemas que ocurre en Latinoamérica puede traer consigo una mayor incidencia de deformidades en anfibios.

En este trabajo no se encontraron relaciones estadísticamente significativas entre las variables etapas de desarrollo, tipo de malformación, posibles causas, países y el orden. La falta de

una relación puede deberse a los pocos estudios que se encontraron para Latinoamérica. De acuerdo con los resultados de los coeficientes no existe una asociación entre las diferentes etapas de desarrollo y los tipos de malformación. Además de la baja cantidad de estudios realizados, esta falta de relación también podría darse porque muchas veces los estudios se centran en etapas de desarrollo en donde el organismo logra sobrevivir (usualmente son de etapa adulta) a dicha malformación. Un claro ejemplo es el que se presenta en la tesis de doctorado de Natale en 2006, en donde a través de bioensayos con cromo, confirma que las larvas de anfibios sufren alteraciones en las tasas de crecimiento, presentan una malformación y seguido de eso ocurre la muerte del organismo.

La exploración de las variables posibles causas de malformaciones dio como resultado una asociación negativa, esto quizá se debe a que los “contaminantes químicos” y “parásitos”. A nivel laboratorio, como en campo son los más estudiados, esto de acuerdo con las observaciones que se realizaron durante la búsqueda de artículos para este proyecto. Reeves en 2010, menciona que Ribeiroia es una de las causas mejor establecida. Es posible que muchas de las “posibles causas” que se mencionan en este trabajo estén actuando en sinergia, y que por lo tanto el tipo de malformación no este asociado a solo un tipo de posible causa.

También las investigaciones para establecer causales, que estén asociadas a un solo país, es un proceso difícil de definir como lo menciona Lunde en 2012 que, para establecer una causal, se necesita largos periodos de estudio y monitoreo tanto en campo como en laboratorio. Todas estas observaciones se relacionan con los resultados del presente trabajo que de acuerdo con los coeficientes las variables “posibles causas” y “países” no existe una asociación.

La falta de asociación en los coeficientes de  $X^2$  y de Cramer de las variables “tipo de malformación” podría llegar a ser por un sesgo, ya que posiblemente cierto tipo de malformación puede llegar a ser más detectable o puede llegar a llamar más la atención de los investigadores. Esto también lo menciona Ouellet en 2000 en el capítulo del libro “Ecotoxicology of amphibians and reptiles” en donde hace mención que la polimelia era la malformación que los investigadores citaban más y que esto podría ser una generalización por ser una malformación “vistosa”.

## 8. Conclusión

En esta tesis se realizó un estudio cuantitativo de la literatura primaria que abordó el tema de la incidencia de malformaciones en anfibios de Latinoamérica, ya que son de interés por el gran potencial que tienen como indicadores de perturbación ambiental.

De todas las especies que se tienen registradas, gran parte de los estudios encontrados sobre este tema son para Estados Unidos o Canadá. Con esto se evidencia que existe una enorme carencia de información para Latinoamérica ya sea como investigación de laboratorio o de campo. Así se refuerza la idea de que se necesitan llevar a cabo más estudios como estos, pero en lugares con mayor biodiversidad, esto con la finalidad de proponer mejores estrategias de conservación.

Por otro lado, también es de importancia reforzar la investigación hacia las malformaciones y deformaciones en anfibios, sobre todo en etapas de desarrollo tempranas. Es de importancia ya que probablemente muchas de las especies que presentan deformaciones no lleguen a un estado adulto, entonces esta es una oportunidad considerablemente importante para la realización de los estudios a futuro con dicho tema.

Un estudio que se podría considerar para futuras investigaciones es el relacionado con la utilización de eDNA ambiental, ya que este podría ayudar a la comunidad herpetológica a realizar estudios, obteniendo muestras genéticas del sedimento o agua. El eDNA ambiental suele ser muy eficiente para evaluar organismos como lo son los anfibios e incluso sus parásitos; con esto se podría monitorear el posible riesgo a alguna enfermedad e incluso conocer si alguna de las posibles causas de malformaciones podría estar actuando en sinergia. El estudio eDNA presenta algunas ventajas como que no es invasivo y así la integridad de los organismos de estudios (en este caso los anfibios) no se ve comprometida. Otra ventaja de este tipo de metodología es que cubre áreas más extensas y con menos esfuerzo de muestreo comparado con los muestreos convencionales, también con esta misma técnica se puede describir y analizar la distribución y diversidad de las especies o identificar organismos que hayan estado de tránsito y que con el muestreo convencional no se haya detectado. Esta no es una aproximación de estudio que podría resolver completamente la deficiencia de estudios sobre malformaciones en anfibios, pero sí podría ayudar a resolver y contestar las preguntas acerca de las posibles causas sobre las malformaciones en estos organismos.

Se considera que también es de importancia realizar una investigación similar a la presente en donde se integren trabajos de tesis y literatura gris, ya que esta investigación se centró solamente en artículos indexados. La conclusión de estas fuentes de información permitirá integrar los datos e información de documentos que tal vez no han logrado ser publicadas en revistas y pueden ser de importancia para el conteo de nuevos registros de malformaciones en anfibios de Latinoamérica.

Las malformaciones, deformaciones o anomalías siguen siendo un desafío para los científicos debido a que es un área muy compleja y también amplia. Se necesita de mucho tiempo y recursos, para que la ciencia siga avanzando en este tema y con ello la comprensión que se encuentran detrás de los efectos de las malformaciones, deformidades o anomalías y con esto favorecer al camino de la protección de los ecosistemas.

## 9. Bibliografía

- Agostini, M. G., Kacoliris, F., Demetrio, P., Natale, G. S., Bonetto, C., y Ronco, A. E. (2013). Abnormalities in amphibian populations inhabiting agroecosystems in northeastern Buenos Aires Province, Argentina. *Diseases of Aquatic Organisms*, 104(2), 163-171.
- Aguilar Apolo, W.E. (2017) V de cramer: patrón de relación entre variables, de acuerdo con la frecuencia de datos. (Examen Complexivo). Universidad Técnica de Machala, Machala, Ecuador.
- Aguillón-Gutiérrez, D. R. (2018). Anomalías macroscópicas en larvas de anfibios anuros. *Revista Latinoamericana de Herpetología*, 1(1), 8-21.
- Alford, R. A., y Richards, S. J. (1999). Global amphibian declines: a problem in applied ecology. *Annual review of Ecology and Systematics*, 30(1), 133-165
- Amphibiaweb.org. (2020). Amphibiaweb Database Search. [online] Available at: <<https://amphibiaweb.org/search/index.html>> [Accessed 20 marzo 2023].
- Araújo Ruiz, Juan A, y Arencibia Jorge, Ricardo. (2002). Infometría, bibliometría y cienciometría: aspectos teórico-prácticos. *ACIMED*, 10(4), 5-6. Recuperado en 30 de diciembre de 2020, de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S102494352002000400004&lng=es&tlnq=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S102494352002000400004&lng=es&tlnq=es)
- Ballengue, B., y Sessions, S. K. (2009). Explanation for missing limbs in deformed amphibians. *Journal of Experimental Zoology Part B: Molecular and Developmental Evolution*, 312(7), 770-779.
- Basanta, M. D. Ecología y evolución de enfermedades emergentes en anfibios: una revisión de ranavirus y quitridiomycosis. *Revista Latinoamericana de Herpetología*, 2(01), 9-25.
- Blaustein, A. R., y Johnson, P. T. (2003). The complexity of deformed amphibians. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 1(2), 87-94.
- Blaustein, A. R., y Kiesecker, J. M. (2002). Complexity in conservation: lessons from the global decline of amphibian populations. *Ecology letters*, 5(4), 597-608.
- Blaustein, A. R., y Wake, D. B. (1990). Declining amphibian populations: a global phenomenon.
- Bosch, J. (2003). Nuevas amenazas para los anfibios: enfermedades emergentes. *Munibe*, 16, 56-73.
- Cardona-Román, D. M., y Sánchez-Torres, J. M. (2017). Análisis cuantitativo de la producción científica acerca de la investigación sobre la evaluación de la implementación del e-learning en el periodo 2000-2015. *Educación*, 26(51), 7-34.
- Chilote, P. D., Bozzolo, L. E., Gutierrez, F. R., y Moreno, L. E. (2018). Description of Morphological Abnormalities in *Rhinella arenarum* (ANURA: BUFONIDAE). *Journal of Morphological Sciences*, 35(01), 44-47.

- Collins, J. P., y Storfer, A. (2003). Global amphibian declines: sorting the hypotheses. *Diversity and distributions*, 9(2), 89-98.
- Crespo-Gascón, S., Tortosa, F. S., y Guerrero-Casado, J. (2019). Producción de revistas científicas en América Latina y El Caribe en Scopus, Journal Citation Reports y Latindex en el área de los recursos naturales: su relación con variables económicas, ambientales y de inversión en investigación. *Revista española de documentación científica*, 42(1), e224-e224.
- Cruz Rodriguez, Erika Ximena y Galindo Martínez, Carlos y Bernal, Manuel. (2016). Dependencia térmica de la salamandra endémica de Colombia *Bolitoglossa ramosi* (Caudata, *Plethodontidae*). *Iheringia. Série Zoologia*. 106. 10.1590/1678-4766e2016018.
- Cruz-Pérez, M. S., Rangel-Hernández, J. A., Roldan-Padron, O. C. T. A. V. I. O., Soto-Alonso, G. A., Padilla-García, U. L. I. S. E. S., y García-Vázquez, U. O. (2009). Presencia de malformaciones en *Ambystoma tigrinum* en Alameda del Rincón, Querétaro, México. *Boletín de la Sociedad Herpetológica Mexicana*, 17(2), 92-96.
- Flores-Villela, O. y L. Canseco-Márquez. (2004). Nuevas especies y cambios taxonómicos para la herpetofauna de México. *Acta Zoológica Mexicana* 20: 115-144
- Gutiérrez, D. R. A., y Bautista, A. R. (2015). Anomalías frecuentes en una población de *Hyla plicata* (Anura: Hylidae) expuesta a plomo y hierro durante el desarrollo postembrionario. *Biocyt: Biología, Ciencia y Tecnología*, 8(29), 515-529.
- Henle, K., & Dubois, A. (2017). Studies on Anomalies in Natural Populations of Amphibians. *MERTENSIELLA*, 25, 185-242.
- Houlahan, J. E., Findlay, C. S., Schmidt, B. R., Meyer, A. H., & Kuzmin, S. L. (2000). Quantitative evidence for global amphibian population declines. *Nature*, 404(6779), 752-755
- Isea, R., Ojeda, V., Fernandez, J., Gutierrez, A., & Salazar, V. (2018). COEFICIENTE V DE CRAMER (V). *Facultad de Humanidades y Educación*, V.
- Johnson, P. T., y Sutherland, D. R. (2003). Amphibian deformities and *Ribeiroia* infection: an emerging helminthiasis. *Trends in parasitology*, 19(8), 332-335.
- Lips, K. R., Mendelson Iii, J. R., Munoz-Alonso, A., Canseco-Márquez, L., y Mulcahy, D. G. (2004). Amphibian population declines in montane southern Mexico: resurveys of historical localities. *Biological conservation*, 119(4), 555-564.
- Lobos, G., Vidal, M., Labra, A., Correa, C., Rabanal, F., Díaz-Páez, H., ... & Soto, C. (2011). Protocolo para el control de enfermedades infecciosas en Anfibios durante estudios de campo. *Red Chilena de Herpetología (Recuperado de <http://www.herpetologiadechile.cl/index.html>)*.
- Luna-Reyes, R., Cundapí-Pérez, C., Pérez-López, P. E., López-Villafuerte, A., Rodríguez-Reyes, M. Á., & Luna-Sánchez, J. A. (2017). Riqueza y diversidad de anfibios y reptiles en Nuevo San Juan Chamula y Veinte Casas, Reserva de la Biosfera Selva El Ocote. *Vulnerabilidad social y biológica ante el cambio climático en la Reserva de la Biósfera Selva El Ocote*, 395-448.

- Lunde, K. B., y Johnson, P. T. (2012). A practical guide for the study of malformed amphibians and their causes. *Journal of Herpetology*, 46(4), 429-441.
- Mata, R. (2018). Anfibios y Reptiles: enfermedades, hospederos y vectores. Departamento de biología evolutiva, Facultad de Ciencias, UNAM. México. *Revista Latinoamericana de Herpetología*, 1(01).
- Mattoon, A. (2000). El declive de los anfibios. *Worldwatch Institute*, 23, 11-21.
- McDiarmid, R. W. (2001). Diversidad e Historia Natural de los Anfibios: Una Síntesis. En Donnelly, Maureen A, McDiarmid, Roy W, Hayek, Lee Ann C, Lavilla O., Esteban (Ed.), *Medición y monitoreo de la diversidad biológica: métodos estandarizados para anfibios* (pp. 5–16). Editorial Universidad de la Patagonia.
- Mendivelso, F., y Rodríguez, M. (2018). Prueba Chi-Cuadrado de independencia aplicada a tablas 2xN. *Revista Médica Sanitas*, 21(2), 92-95.
- Mendoza-Almeralla, C., Burrowes, P., y Parra-Olea, G. (2015). Chytridiomycosis in amphibians from Mexico: A revision. *Revista mexicana de biodiversidad*, 86(1), 238-248.
- Meteyer, C. U. (2000). *Field guide to malformations of frogs and toads: with radiographic interpretations* (No. 2000-0005). US Geological Survey.
- Mônico, A. T., Silva-Soares, T., y Koch, E. D. (2019). Malformation in three anuran species from a preserved remnant of Atlantic Forest in southeastern Brazil. *Neotropical Biology and Conservation*, 14, 213.
- Morínigo Egusquiza, G. M. (2016). Ecotoxicología en anfibios: un análisis cuantitativo (Bachelor's thesis)
- Natale, G. S. (2006). *Análisis ecotoxicológico de una comunidad de anuros de la Región Pampeana* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata).
- Ouellet, M. (2000). Amphibian deformities: current knowledge. *Ecotoxicology of Amphibians and Reptiles*, 617-661.
- Parra-Olea, G., Flores-Villela, O., y Mendoza-Almeralla, C. (2014). Biodiversidad de anfibios en México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 85, 460-466.
- Pechmann, J. H., y Wilbur, H. M. (1994). Putting declining amphibian populations in perspective: natural fluctuations and human impacts. *Herpetologica*, 65-84.
- Piha, H., Pekkonen, M., & Merilä, J. (2006). Morphological abnormalities in amphibians in agricultural habitats: a case study of the common frog *Rana temporaria*. *Copeia*, 2006(4), 810-817.
- Rico Hernández, G. (2004). Implicaciones de enfermedades infecciosas en la conservación de fauna silvestre de vida libre.

- Ríos Gómez, C., y Herrero Solana, V. (2005). La producción científica latinoamericana y la ciencia mundial: una revisión bibliográfica (1989-2003). *Revista interamericana de Bibliotecología*, 28(1), 43-61.
- Salinas, Z. A. (2019). Estudios ecotoxicológicos sobre anfibios anuros asociados a cuerpos de agua bajo distintos tipos de manejo agrícola en agroecosistemas del sureste de la provincia de Córdoba.
- Santos Barrera, G. 2004. Enfermedades infecciosas y su papel en la declinación mundial de las poblaciones de anfibios. CONABIO. *Biodiversitas* 56:1-6
- Señaris, J. C., Padrón, M. M. A., Gil, H. R., y Rojas-Runjaic, F. J. M. (2018). Guía ilustrada de los anfibios y reptiles del valle de Caracas, Venezuela. Caracas-Venezuela: *Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC)*. Consultado, 30.
- Soto-Rojas, C., Suazo-Ortuño, I., Montoya Laos, J. A., y Alvarado-Díaz, J. (2017). Habitat quality affects the incidence of morphological abnormalities in the endangered salamander *Ambystoma ordinarium*. *PloS one*, 12(8), e0183573.
- Sousa, J. C., y Costa-Campos, C. E. (2017). Records of ocular anomaly in two species of anurans in Eastern Amazon. *Herpetology Notes*, 10, 413-415
- Vázquez, L. A., Rendón, M. Á., Díaz-Paniagua, C., y Mestre, I. G. (2017). Variaciones entre especies de anfibios en sus respuestas morfológicas a la presencia de depredadores nativos e introducidos. *Revista Ecosistemas*, 26(3), 32-38.
- Weiler, A., Nuñez, K., Airaldi, K., Lavilla, E., Peris, S., y Baldo, D. (2013). Anfibios del Paraguay. [Universidad Nacional de Asunción], Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.