




Artículo original

Variaciones morfométricas del género *Notocotylus* (Digenea: Notocotylidae), parásitos de aves acuáticas (Rallidae y Anatidae) en las ciénegas de Lerma, Estado de México


Morphometric variations of the genus *Notocotylus* (Digenea: Notocotylidae), parasite of waterfowl (Rallidae and Anatidae) in the Lerma marshes, Estado de México

¹ALEJANDRA AGUILAR-MORALES, ¹PETRA SÁNCHEZ-NAVA, ²CARLOS JORGE AGUILAR ORTIGOZA, ^{1*}FELIPE RODRÍGUEZ-ROMERO



OPEN ACCESS

*Autor corresponsal:

 Felipe Rodríguez-Romero
fjrr@uaemex.mx

Editor responsable: Gabriel A. Villegas-Guzmán

¹Laboratorio de Sistemas Biosustentables, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México. Campus Universitario "El Cerrillo" El Cerrillo Piedras Blancas, Carretera Toluca-Ixtlahuaca Km. 15.5, C.P. 50200, Toluca, Estado de México, México.

²Facultad de Ciencias. El Cerrillo, Universidad Autónoma del Estado de México. Carretera Toluca- Ixtlahuaca Km. 15.5, C.P. 50200, Toluca, México.

Cita:

Aguilar-Morales, A., Sánchez-Nava, P., Aguilar-Ortigoza, C. J., Rodríguez-Romero, F. (2022) Variaciones morfométricas del género *Notocotylus* (Digenea: Notocotylidae), parásitos de aves acuáticas (Rallidae y Anatidae) en las ciénegas de Lerma, Estado de México. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)*, 38, 1–16. 10.21829/azm.2022.3812402 eolocation-id: e3812402

Recibido: 19 marzo 2021

Aceptado: 10 junio 2022

Publicado: 14 julio 2022

RESUMEN. El género *Notocotylus* es un grupo de trematodos endoparásitos cosmopolitas en ciegos intestinales de aves y algunos mamíferos. Su identificación se basa en características anatómicas, morfométricas y hospedatorias. En este estudio utilizamos morfometría tradicional y análisis de morfometría geométrica en algunas especies del género *Notocotylus*, que parasitan aves residentes (Rallidae) y migratorias (Anatidae) de las Ciénegas de Lerma, México. Para el análisis, formamos grupos de acuerdo con la especie, hospedero y localidad. Para el estudio de la forma se analizaron 20 puntos de referencia distribuidos en la forma del organismo y estructuras internas. Los resultados de morfometría lineal sugieren que la discriminación de grupos se basa en el ancho total, ancho ovárico, longitud total y ancho testicular de los parásitos. La morfometría geométrica muestra diferentes morfotipos en los



parásitos de aves residentes y migratorias, así como un efecto en la localidad. Finalmente, la morfometría geométrica aporta resultados significativos y puede ayudar a mejorar la identificación de especies del género *Notocotylus*.

Palabras clave: Trematoda; morfotipo; endoparásitos; morfometría geométrica; hospederos; humedal

ABSTRACT. The genus *Notocotylus* is a group of cosmopolitan endoparasites trematodes hosted in the intestinal caeca of birds and some mammals. It's identification is based on anatomical, morphometric and host characteristics. In this study we used traditional lineal morphometry and geometric morphometry analysis in some species of *Notocotylus* genus, which parasitize resident (Rallidae) and migratory (Anatidae) birds of the Ciénegas de Lerma, Mexico. For analysis, we formed groups according to species, host and locality. For study of the form, 20 reference points were analyzed, distributed in the shape of the organism and internal structures. Linear morphometric results suggest that group discrimination groups is based on total width, ovarian width, total length, and testicular width of the parasites. Geometric morphometry shows different morphotypes in the parasites of resident and migratory birds, as well as, an effect of locality. Finally, geometric morphometry provides significant results and can help improve the identification of species of the *Notocotylus* genus.

Key words: Trematoda; morphotype; endoparasites; geometric morphometry; host; marshes

INTRODUCCIÓN

Los trematodos del género *Notocotylus* (Diesing, 1839; Digenea: Notocotylidae) son un grupo cosmopolita que incluye más de 63 especies endoparásitas (Boyce *et al.*, 2012). Difiere de otros géneros por la presencia de tres hileras de papilas ventrales de número variable (Barton & Blair, 2005). Los notocotylidos presentan un sistema de organización muscular fuerte y complejo que consta de tres capas musculares principales en su pared corporal, formada por haces de fibras longitudinales, circulares y diagonales que les permiten su movimiento, adhesión y mantener su forma; además posee fibras musculares para fijación de órganos internos (Krupenko & Gonchar, 2017). En su fase adulta, parasitan los ciegos intestinales y/o parte final del intestino delgado de aves incluidas Anseriformes (Anatidae) y Gruiformes (Rallidae; Stunkard, 1960; Kulisic *et al.*, 2004; Hinojosa-Sáez *et al.*, 2009), así como algunos mamíferos (Kinsella & Tkach, 2005).

Las claves taxonómicas para trematodos se basan en medidas lineales de diversos caracteres, entre ellos el largo y ancho total, longitud y número de ovarios y testículos, número de asas uterinas, así como la presencia o ausencia de espinas u otras estructuras (Yamaguti, 1971; Jones *et al.*, 2005). En estudios del género *Notocotylus*, se han registrado nuevas especies y sinonimizado otras a partir de diferencias en estructuras, por ejemplo, el número de papilas ventrales, la longitud relativa del metratermo con la bolsa del cirro, el tamaño del esófago, la extensión de la vitelaria en proporción al cuerpo y la lobulación de las gónadas (Behari Lal, 1935; Brooks & Heard III, 1977; Boyce *et al.*, 2012).

Besprozvannykh (2010) diferenció a *Notocotylus intestinalis* Tubangui, 1932 de *Notocotylus attenuatus* (Rudolphi, 1809) Kossack, 1911, por la presencia de espinas en el cuerpo, cantidad y magnitud de lobulaciones testiculares, diferencia entre cercarias, y género del primer hospedero intermediario. Mediante microscopía electrónica, otros investigadores incluyen la posición del poro genital respecto a la bifurcación de los ciegos (Kinsella & Tkach, 2005). Sin embargo, algunos trabajos consideran también el estado larvario, género del hospedero intermediario y distribución geográfica para el registro de nuevas especies (Flores & Brugni, 2005). En trabajos recientes sobre el género *Notocotylus*, se ha utilizado la información en conjunto, tamaño, forma y distancia entre estructuras mediante morfometría tradicional (Khan *et al.*, 2017). Lo anterior sugiere la necesidad de homologar los caracteres taxonómicos y buscar herramientas para mejorar la identificación de estas especies.

La morfometría geométrica es una herramienta moderna de gran utilidad para analizar las estructuras biológicas mediante la información geométrica de la forma y la relación espacial entre sus partes o configuración geométrica (Bookstein, 1991; Toro *et al.*, 2010). A partir de estos supuestos, es una herramienta eficaz en estudios de discriminación de especies, como en triatomíneos (Heteroptera) con base en la configuración geométrica del borde corial y del collar de huevos (Páez-Colasante & Aldana, 2008). También se ha demostrado su utilidad como resultado complementario en estudios cladistas, y ejemplo de ello es su uso en la determinación de especies de la tribu Rhodniini (Hemiptera) cuyo análisis se basó en la variación de la arquitectura alar y análisis cladísticos (Soto-Vivas *et al.*, 2011). Estos análisis también han sido eficazmente utilizados en grupos parásitos para determinar la modularidad interespecífica de órganos de adhesión de platelmintos (Vignon *et al.*, 2011) y la variación intraespecífica en las estructuras de fijación de acantocéfalos (Caballero-Viñas *et al.*, 2019), en los cuales se evidencian variaciones morfológicas que son inconsistentes con morfometría tradicional. En trematodos, se ha analizado la forma corporal de metacercarias con morfometría geométrica (Repkin *et al.*, 2020).

El objetivo del presente estudio fue analizar mediante análisis de morfometría tradicional y geométrica, las variaciones de organismos adultos del género *Notocotylus*, que parasitan aves acuáticas residentes y migratorias de las Ciénegas de Lerma.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio: colecta de hospederos y parásitos. Las aves se obtuvieron por donación de cazadores locales durante el periodo de marzo a diciembre de 2000 y 2013 de los humedales Chignahuapan (19° 11' 20" N; 99° 29' 30" O; Martínez-Haro *et al.*, 2012) en el municipio de Almoloya del Río, y de febrero de 2015 a marzo de 2017 de Chimaliapan (19° 14' 31.0" N; 99° 28' 53.9" O) en San Pedro Tultepec, del municipio de Lerma, ambos en el Estado de México (Fig. 1). La identificación taxonómica de las aves se realizó con guías de campo de Preston (1998) y Van Perlo (2006).

Las aves se trasladaron al laboratorio de Sistemas Biosustentables de la UAEMéx, donde se realizó la disección y el examen helmintológico de su aparato digestivo con ayuda de un microscopio estereoscópico modelo Olympus SZX7. Los organismos del género *Notocotylus* se

extrajeron y limpiaron de materia orgánica con el uso de pinceles y solución salina al 0.7 %, se aplanaron ligeramente entre dos portaobjetos para su fijación por capilaridad con formol caliente al 4 %, se tiñeron con paracarmín de Meyer y se montaron con bálsamo de Canadá (Lamothe-Argumedo, 1997).

La identificación de las especies parásitas se realizó mediante claves taxonómicas (Yamaguti, 1971; Barton & Blair, 2005) y descripciones específicas (Stunkard & Dunihue, 1931; Behari Lal, 1935; Eom *et al.*, 1984; Guillén & Morales, 2003) (Cuadro 1).

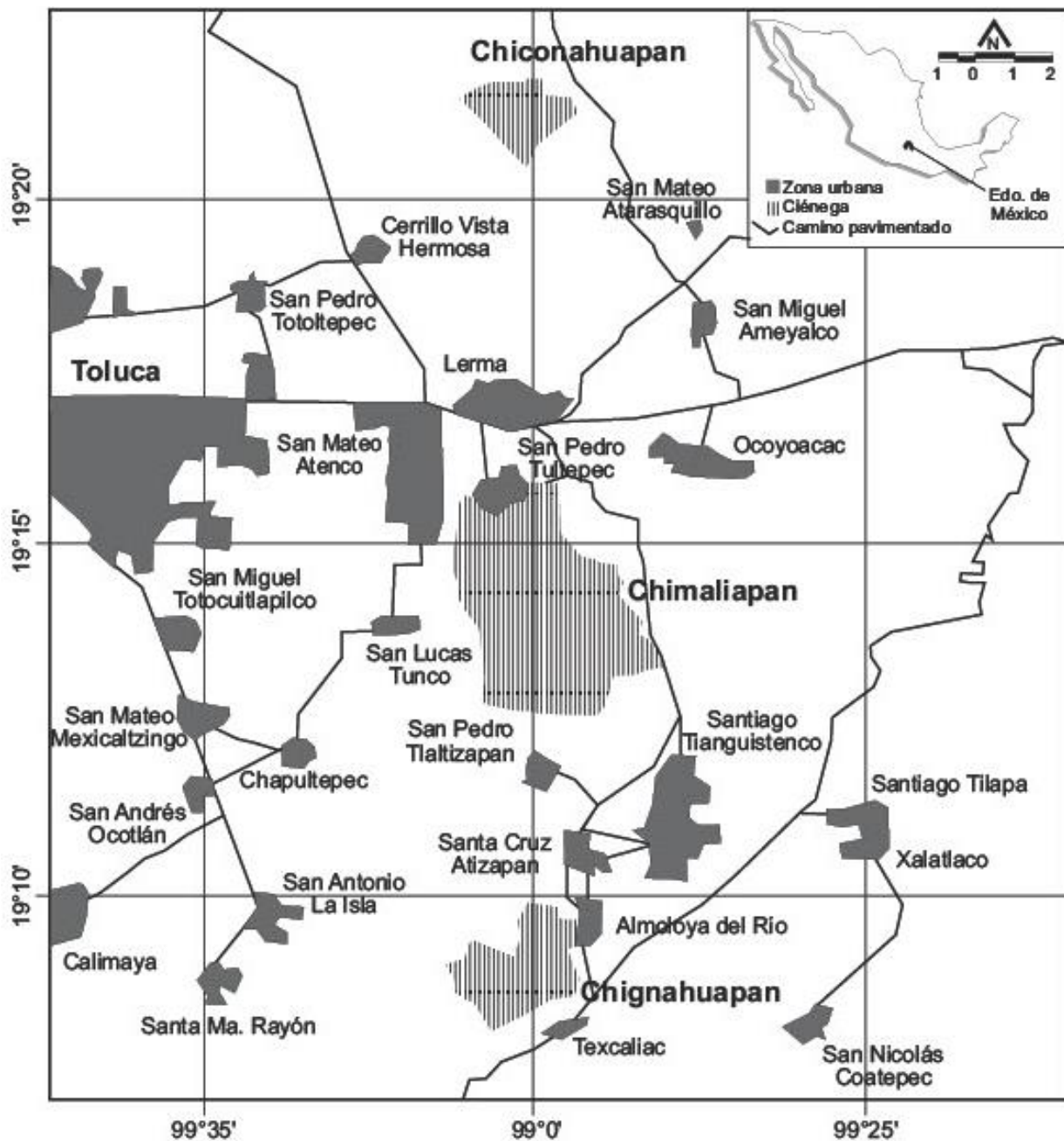


Figura 1. Ubicación de zona de estudio. Tomado de Zepeda-Gómez y col. (2012).

Cuadro 1. Morfometría comparativa (mínimo, máximo, media y desviación estándar) de adultos del género *Notocotylus* (n= núm. de individuos) en diferentes hospederos y localidades de México, e incluye descripciones de organismos de Norte América, Europa y Asia (Guillén & Morales, 2003; Eom *et al.*, 1984; Behari Lal, 1935; McDonald, 1981).

Referencia	Presente trabajo							Guillén & Morales, 2003	Eom <i>et al.</i> , 1984, Behari Lal, 1935	McDonald, 1981, Behari Lal, 1935
Especie	<i>N. pacifera</i> n=26	<i>N. pacifera</i> n=31	<i>N. seineti</i> n=20	<i>N. seineti</i> n=9	<i>N. seineti</i> n=15	<i>N. seineti</i> n=8	<i>N. attenuatus</i> n=8	<i>N. pacifera</i>	<i>N. attenuatus</i>	<i>N. seineti</i>
Hospedero	<i>Galinulla galeata</i>	<i>Fulica americana</i>	<i>A. clypeata</i>	<i>A. discors</i> Lerma	<i>A. cyanoptera</i>	<i>A. discors</i> Almoloya del Río	<i>Aythya affinis</i>	<i>F. ardesiaca</i> syn <i>F. americana</i>	<i>Anas platyrhynchos</i>	<i>Anas platyrhynchos</i>
Caracter adultos (mm)										
Longitud total	0.94-2.60 1.57 0.45	0.89-2.78 1.73 0.61	1.32-2.98 2.12 0.38	1.46-2.03 1.74 0.18	1.09-2.27 1.75 0.35	2.27-2.70 2.47 0.13	2.25-3.45 3.05 0.40	0.62- 2.1	2.65-3.5	2-3.4
Ancho total	0.44-1.21 0.73 0.21	0.44-1.55 0.90 0.39	0.31-0.87 0.60 0.12	0.38-0.64 0.48 0.07	0.33-0.70 0.54 0.11	0.60-0.72 0.65 0.04	0.66-1.17 0.94 0.14	0.38-1.42	0.6-1.2	0.6-1.1
Ventosa oral largo	0.07-0.21 0.13 0.03	0.07-0.24 0.14 0.04	0.07-0.12 0.09 0.01	0.06-0.12 0.12 0.08 0.01	0.08-0.11 0.095 0.007	0.12-0.14 0.13 0.007	0.09-0.17 0.13 0.02	0.07-0.10	0.09-0.14	
Ventosa oral ancho	0.08-0.22 0.13 0.03	0.07-0.22 0.14 0.04	0.07-0.14 0.14 0.11 0.01	0.08-0.13 0.13 0.09 0.01	0.07-0.14 0.11 0.01	0.11-0.15 0.13 0.01	0.11-0.18 0.15 0.02	0.075-0.125	0.11-0.18	

Referencia	Presente trabajo							Guillén & Morales, 2003	Eom <i>et al.</i> , 1984, Behari Lal, 1935	McDonald, 1981, Behari Lal, 1935
Longitud vitelaria	0.21-0.76 0.46 0.15	0.19-0.87 0.5 0.22	0.27-0.74 0.54 0.11	0.32-0.56 0.44 0.06	0.25-0.62 0.41 0.09	0.55-0.78 0.61 0.07	0.54-0.93 0.83 0.12	0.032 de una glándula	-	
Longitud uterina	0.29-1.05 0.57 0.18	0.23-0.90 0.54 0.21	0.57-1.29 0.89 0.17	0.51-0.83 0.70 0.09	0.38-0.98 0.70 0.16	0.84-1.12 0.97 0.08	0.89-1.48 1.24 0.17	0.017 de una glándula	-	
Ovario largo	0.06-0.19 0.12 0.03	0.07-0.26 0.13 0.05	0.07-0.23 0.14 0.03	0.07-0.17 0.12 0.02	0.07-0.20 0.12 0.03	0.12-0.21 0.17 0.03	0.17-0.26 0.22 0.03	0.1	0.17-0.22	
Ovario ancho	0.04-0.15 0.09 0.03	0.03-0.19 0.10 0.05	0.06-0.18 0.12 0.02	0.06-0.13 0.09 0.02	0.06-0.18 0.10 0.02	0.08-0.18 0.12 0.03	0.12-0.24 0.18 0.03	0.082	0.13-0.30	
Testículo largo	0.11-0.34 0.21 0.06	0.08-0.30 0.19 0.06	0.15-0.39 0.27 0.05	0.15-0.27 0.20 0.04	0.12-0.38 0.21 0.07	0.25-0.35 0.28 0.03	0.30-0.54 0.43 0.07	0.153	0.34-0.56	
Testículo ancho	0.05-0.18 0.10 0.03	0.05-0.18 0.10 0.04	0.07-0.18 0.13 0.03	0.07-0.11 0.09 0.01	0.03-0.17 0.09 0.03	0.13-0.18 0.15 0.01	0.17-0.28 0.21 0.03	0.095	0.13-0.24	
Núm. de papilas L:C:L	11-12:4:11	10:4:10	13:13-14:12	12-14:12-13:12-15	11-13:13:12-13	12-14:12-13:12-15	13:13:14	9-11:4:9-11	16:14:16	12-14:10-12:12-14

Se analizaron 117 individuos del género *Notocotylus*, todos obtenidos de ciegos intestinales de sus hospederos. Se formaron nueve subgrupos para su estudio bajo los siguientes criterios: especie parásita, hospedero y localidad (Cuadro 2). Se tomaron fotografías de cada ejemplar mediante un microscopio estereoscópico Olympus SZX7® conectado a una cámara Olympus E-620 IS® para su posterior análisis por morfometría lineal y geométrica. Los ejemplares se depositaron en la Colección Nacional de Helmintos (CNHE 8598-8599, 11156-11157, 11654-11658), Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México.

Cuadro 2. Agrupación de especies de *Notocotylus* del presente estudio de acuerdo con la especie parásita, hospedero y localidad.

Grupo de <i>Notocotylus</i>	n	Parásito	Hospedero	Localidad	Abreviatura
1	8	<i>Notocotylus attenuatus</i>	<i>Aythya affinis</i>	Almoloya del Río	N at_Ay af_Alm
2	19	<i>N. pacifera</i>	<i>Fulica americana</i>	Almoloya del Río	N pa_F am_Alm
3	12	<i>N. pacifera</i>	<i>F. americana</i>	San Pedro Tultepec (SPT), Lerma	N pa_F am_SPT
4	17	<i>N. pacifera</i>	<i>Gallinula galeata</i>	SPT, Lerma	N pa_G ga_SPT
5	20	<i>N. seineti</i>	<i>Anas clypeata</i>	SPT, Lerma	N se_An cl_SPT
6	9	<i>N. seineti</i>	<i>A. discors</i>	SPT, Lerma	N se_An di_SPT
7	15	<i>N. seineti</i>	<i>A. cyanoptera</i>	SPT, Lerma	N se_An cy_SPT
8	9	<i>N. pacifera</i>	<i>Gallinula galeata</i>	Almoloya del Río	N pa_G ga_Alm
9	8	<i>N. seineti</i>	<i>Anas discors</i>	Almoloya del Río	N se_An di_Alm
	117				

Morfometría lineal. Mediante la paquetería ImageJ 1.43u® se obtuvieron las siguientes variables: longitud total (LT), ancho total (AT), longitud de ventosa oral (LVO), ancho de ventosa oral (AVO), longitud de vitelaria (LVit), longitud del área uterina (LAUt), longitud de ovario (LO), ancho de ovario (AO), longitud testicular (LTest) y ancho testicular (ATest) (Fig. 2).

Los datos obtenidos se procesaron mediante Análisis de Componentes Principales para conocer el porcentaje de variación de los datos y reducir la dimensionalidad o número de variables. Para visualizar agrupaciones se realizó un Análisis de Funciones Discriminantes (McGarigal *et al.*, 2000). Todos los análisis se realizaron en el software Statgraphics Centurion XVI.I®.

Morfometría geométrica. Se analizó la forma para cada especie de *Notocotylus* con base en puntos de referencia de tipo III y semi-landmarks ubicados en estructuras anatómicas y el contorno de la forma, bajo los criterios de homología, consistencia, repetitividad y coplanaridad para cada organismo (Toro *et al.*, 2010). El análisis de la configuración de la forma se llevó a cabo mediante los diferentes módulos de la paquetería IMP8 (Integrated Morphometrics Package) y la serie TPS, la cual genera coordenadas (x,y) para cada punto de referencia (Zelditch *et al.*, 2004).

Se ubicaron en total 20 puntos en la forma de cada organismo (Fig. 2). Diez landmarks como se describe a continuación: 1.- bifurcación de los ciegos; 2.- límite del útero e inicio de metratermo; 3.- inicio de vitelaria; 4.- final o parte posterior de la vitelaria; 5.- borde anterior del testículo; 6.- borde posterior del testículo; 7.- borde anterior del ovario; 8.- borde posterior del ovario; 9.- ventosa oral y extremo anterior del organismo; 15.- extremo posterior del organismo. Los diez semilandmarks, enumerados del 10–14 y 16–20, están distribuidos en el perímetro de los organismos y homólogos en toda la muestra (Toro *et al.*, 2010), y se trazaron con apoyo de cinco peines transversales, ocho radios entre los dos peines extremos de la parte anterior y ocho radios entre los dos peines de la parte posterior de la forma mediante el módulo MakeFan8 de la paquetería IMP8. Los landmarks y semilandmarks fueron digitalizados en TPSdig. Se realizó el Análisis de Procrustes o ajuste de datos en Coordgen8 para eliminar el efecto del tamaño y rotación, y la alineación de landmarks y semilandmarks de toda la muestra en Semiland8. Para obtener el porcentaje de varianza de cada variable, se realizó un Análisis de Componentes Principales en el módulo PCAGen8 y la obtención de morfotipos con la herramienta de función de interpolación de placas delgadas o Thin Plate Spline (Bookstein, 1991). Se realizó un Análisis de Variables Canónicas para visualizar los subgrupos. Todos los análisis se efectuaron a un nivel de significancia menor o igual a 0.05.

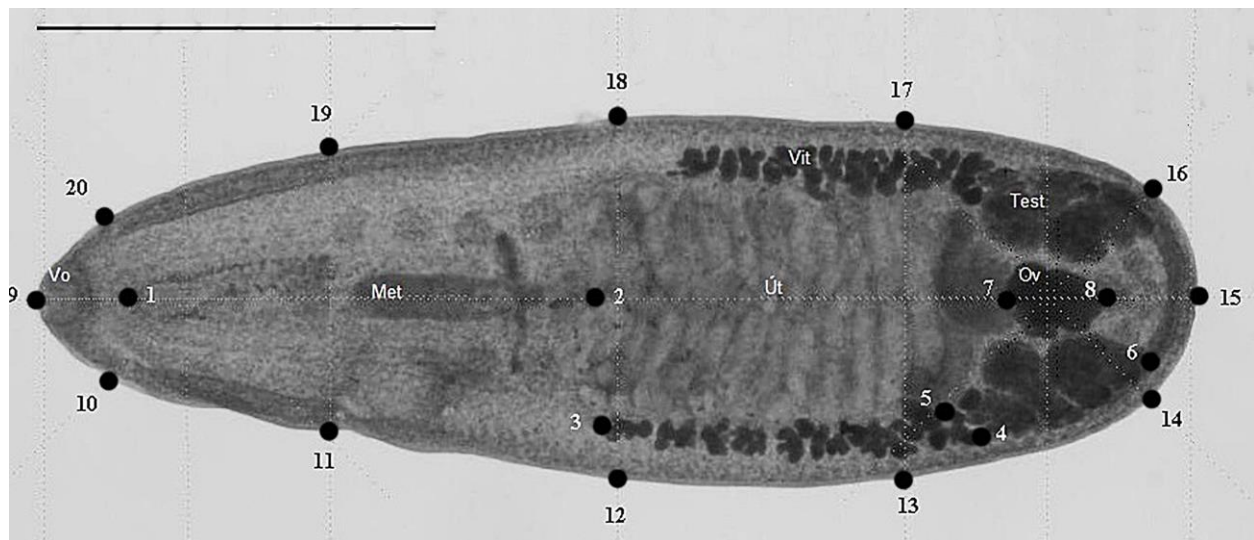


Figura 2. Ubicación de estructuras anatómicas y puntos de referencia 1–9 y 15; semimarcas 10–14 y 16–20. *Notocotylus attenuatus* (Vo: ventosa oral; Met: metratermo; Út: Útero; Vit: vitelaria; Ov: ovario; Test: testículo. Barra= 1 mm), hospedero *Aythya affinis*.

RESULTADOS

Morfometría lineal

Se identificaron tres especies del género *Notocotylus* en ciegos intestinales. Los organismos que parasitan a *Fulica americana* Gmelin, 1789 y *Gallinula galeata* Lichtenstein, 1818, se identificaron como *Notocotylus pacifera* (Noble, 1933) Harwood, 1939, de acuerdo con su forma ovalada, sin espinas, glándulas vitelógenas laterales extracecales, útero extendido desde la zona ecuatorial

hasta delante de los testículos, con número y arreglo de papilas ventrales 9–14:4:9–14 (L:C:L), y medidas lineales correspondientes al promedio de la especie (Cuadro 1). *Notocotylus attenuatus*, con forma ovalada alargada, arreglo de papilas 13:13:14, y medidas correspondientes a las de referencia, se obtuvo de *Aythya affinis* Eyton, 1838. Finalmente, los organismos parásitos de *Anas clypeata* Linnaeus, 1758, *Anas discors* Linnaeus, 1766 y *Anas cyanoptera* Vieillot, 1816, se identificaron como *Notocotylus seineti* Fuhrmann, 1919 de acuerdo con el arreglo de papilas ventrales 12–14:12–13:12–15 y medidas lineales promedio (Cuadro 1).

En el análisis de morfometría lineal se obtuvo 89.3 % de variación de los datos en los dos primeros componentes principales. Los organismos forman dos grupos principales de acuerdo con los siguientes caracteres: ancho total y ancho del ovario para la Función Discriminante 1 (FD1 79.75 %, Wilk's $\lambda = 0.008$, CANCOR = 0.96, $p < 0.0001$), mientras que la longitud total y la longitud testicular discriminan para la FD2 (8.65 %, Wilk's $\lambda = 0.114$, CANCOR = 0.748, $p < 0.0001$; Fig. 3). Los especímenes fueron clasificados correctamente en 70.94 % de acuerdo con las distancias de Mahalanobis.

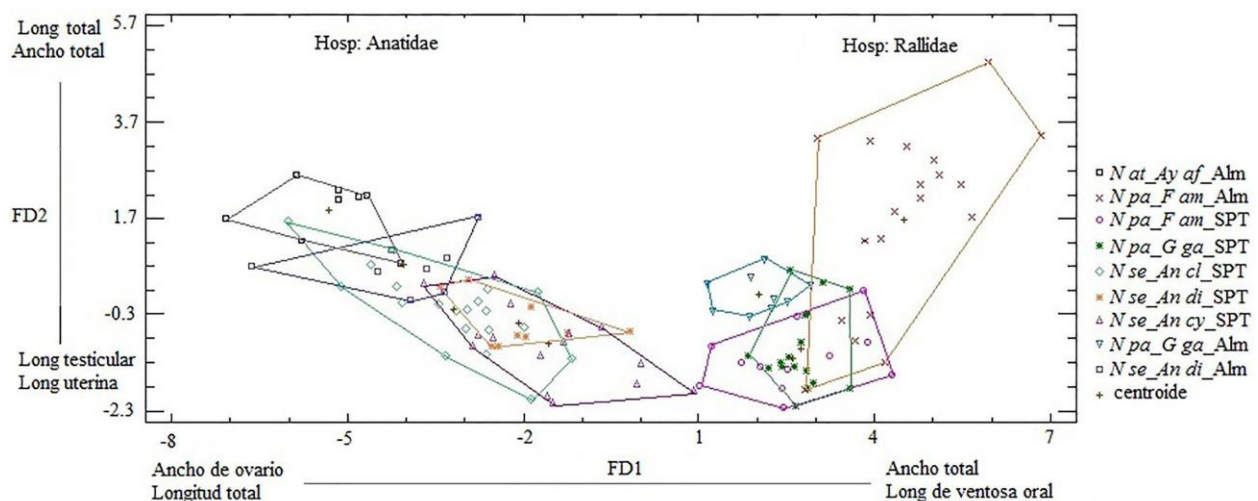


Figura 3. Discriminación de grupos con morfometría lineal. A la derecha subagrupación de *Notocotylus* en hospederos de la familia Rallidae, y del lado izquierdo subagrupación de *Notocotylus* en hospederos de la familia Anatidae.

Morfometría geométrica

En el análisis de la forma de las tres especies de *Notocotylus* se obtuvo 85 % de la variación de los datos en los dos primeros componentes. Los individuos se agruparon en dos nubes de puntos. Una nube que incluye a las especies *N. seineti* y *N. attenuatus*, y otra a *N. pacifera*, lo cual indica mayor variación en la forma (Fig. 4).

El Análisis de Variables Canónicas (VC1: 24.42 y VC2: 4.33; eje1: $\lambda = 0.0001$, $x^2 = 878.0277$, $df = 288$, $p < 2.22045e-16$; eje2: $\lambda = 0.0021$, $x^2 = 575.4695$, $df = 245$, $p < 2.22045e-16$) separa los nueve subgrupos de individuos en tres grupos principales. El grupo de *a*, a la derecha de VC1, que

incluye a *N. attenuatus* y *N. seineti* de diferentes hospederos anátidos y dos localidades. El grupo *b*, a la izquierda de VC1 y parte superior de VC2, donde se incluye a *N. pacifera* de dos especies hospederas de rálidos y dos localidades. El grupo *c*, a la izquierda de VC1 e inferior del eje VC2, que corresponde a *N. pacifera* de un hospedero rálido de San Pedro Tultepec, Lerma, notoriamente separado de *N. pacifera* del grupo *b* (Fig. 5).

El morfotipo *a*, de tipo elíptico, presenta la mayor variación en el contorno lateral, de manera uniforme y con una ligera ampliación en la zona del metratermo; el morfotipo *b* tiene una reducción anteroposterior en la zona del útero y a la vez un desplazamiento lateral hacia el exterior de la misma zona, proporcionándole forma ovoide al organismo, además del desplazamiento del ovario hacia la parte anterior; mientras que el morfotipo *c* presenta desplazamiento hacia la parte posterior de la ventosa oral, así como un ligero desplazamiento de los testículos y el ovario hacia la parte anterior del cuerpo, mayor desplazamiento del contorno lateral medio; asimismo, la última asa uterina (antes del metratermo) presentó menor desplazamiento en la forma en comparación con los morfos *a* y *b* (Fig. 6).

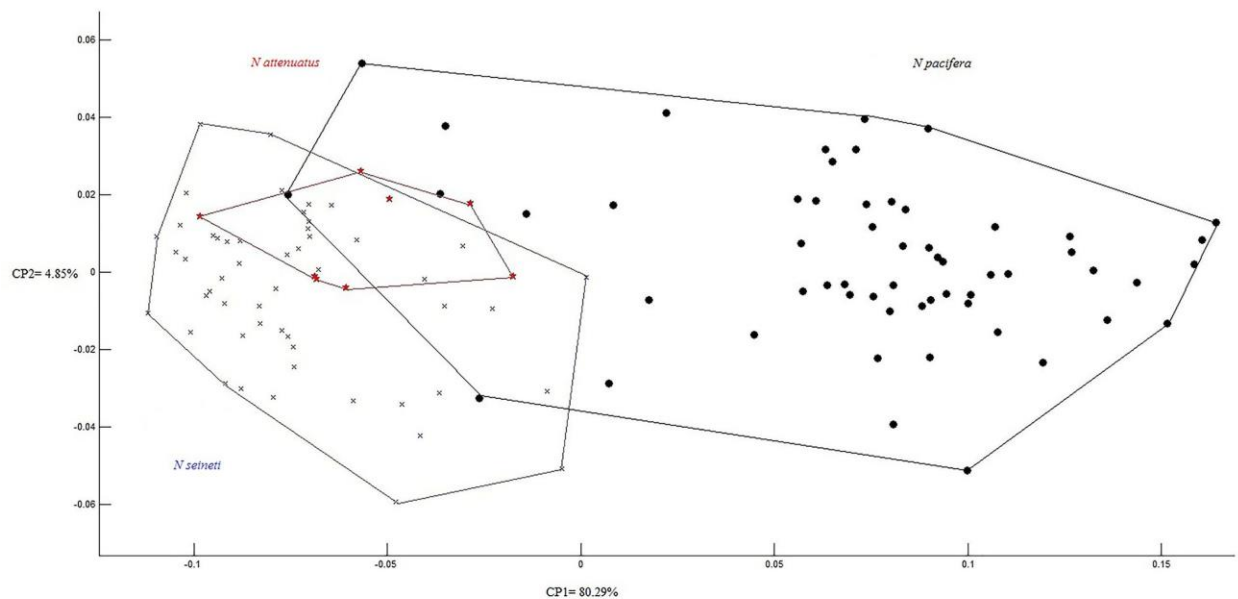


Figura 4. Variación de los datos de la forma de tres especies de *Notocotylus* de diferentes hospederos y localidades.

DISCUSIÓN

El presente estudio sugiere que las variaciones morfológicas en el género *Notocotylus* están determinadas por el grupo de hospedero y la localidad donde éste se distribuye. *Notocotylus seineti* y *N. attenuatus* que parasitan anátidos, presentan el mismo morfotipo aún en diferentes localidades, mientras que *N. pacifera* varía su forma intraespecífica de acuerdo con el hospedero específico y la localidad. Los anátidos corresponden al grupo de aves migratorias, mientras que los hospederos rálidos incluyen aves residentes.

Tradicionalmente se utilizan las medidas lineales para la identificación de especies, así como la presencia y ausencia de estructuras. Estudios recientes han incluido forma y tamaño de estructuras con morfometría tradicional para descripción de nuevas especies del género como es el caso de *Notocotylus sindhensis* Khan *et al.*, 2017; en otros análisis se ha confirmado la identificación con datos moleculares (Repkin *et al.*, 2020).

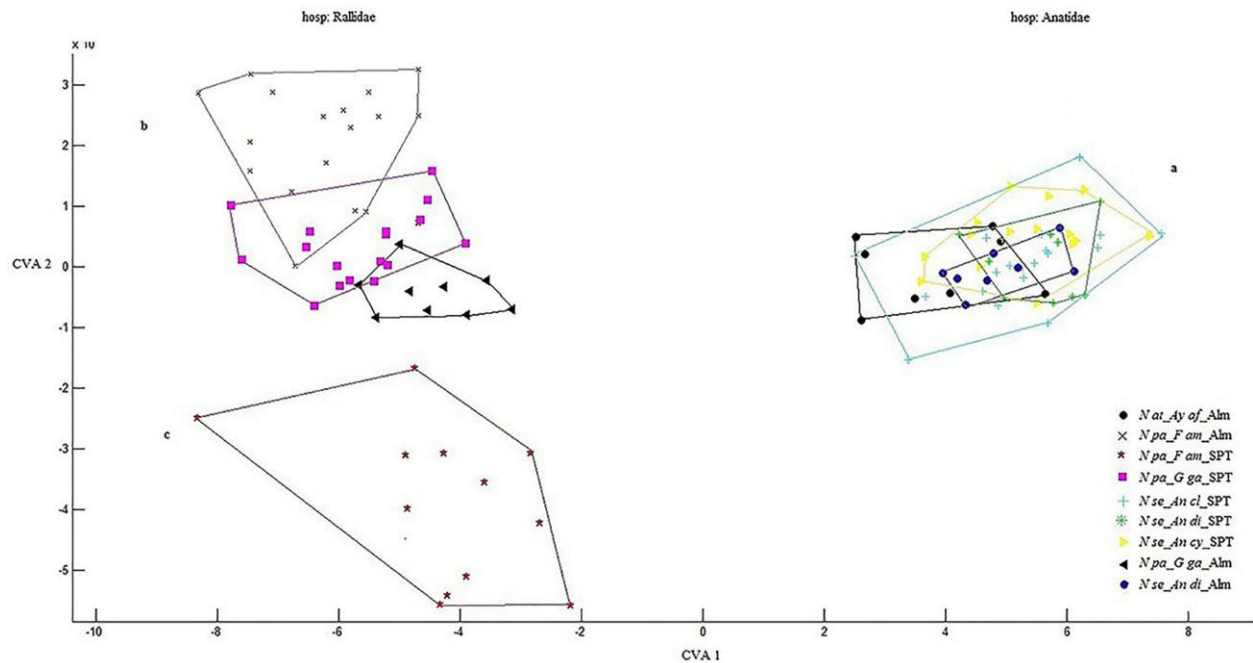


Figura 5. Análisis de Variación Canónica. a) es el conjunto de *Notocotylus* de hospederos Anátidos; b) y c) muestran la separación de grupos de *N. pacifera* de diferentes hospederos y localidades.

El ancho total del cuerpo y el ancho del ovario son los caracteres que aportan la mayor variación en los datos lineales para discriminar especies, lo que corresponde con lo propuesto por Falconer (1981; tomado de Soto-Vivas *et al.*, 2011), quién indica que los caracteres métricos son los primeros que cambian en el transcurso de la evolución como respuesta a la demanda del entorno y al genoma.

El análisis con morfometría geométrica es utilizado por primera vez en estos organismos. A partir de la variación de la forma de las tres especies de *Notocotylus*, se obtuvieron nubes de puntos de acuerdo con el hospedero que parasitan, lo que sugiere una similitud con los resultados obtenidos en el trematodo *Fasciola hepatica* (Valero *et al.*, 2012), que sugiere que el hospedero definitivo influye en el tamaño de la forma adulta y de los huevos. Las especies de *Notocotylus* que parasitan aves migratorias no presentaron variación morfológica interespecífica, mientras que *N. pacifera* presentó variaciones intraespecíficas con las variables hospedero y localidad, lo cual puede relacionarse al efecto que tiene la migración sobre la adaptación local (Morgan *et al.*, 2005).

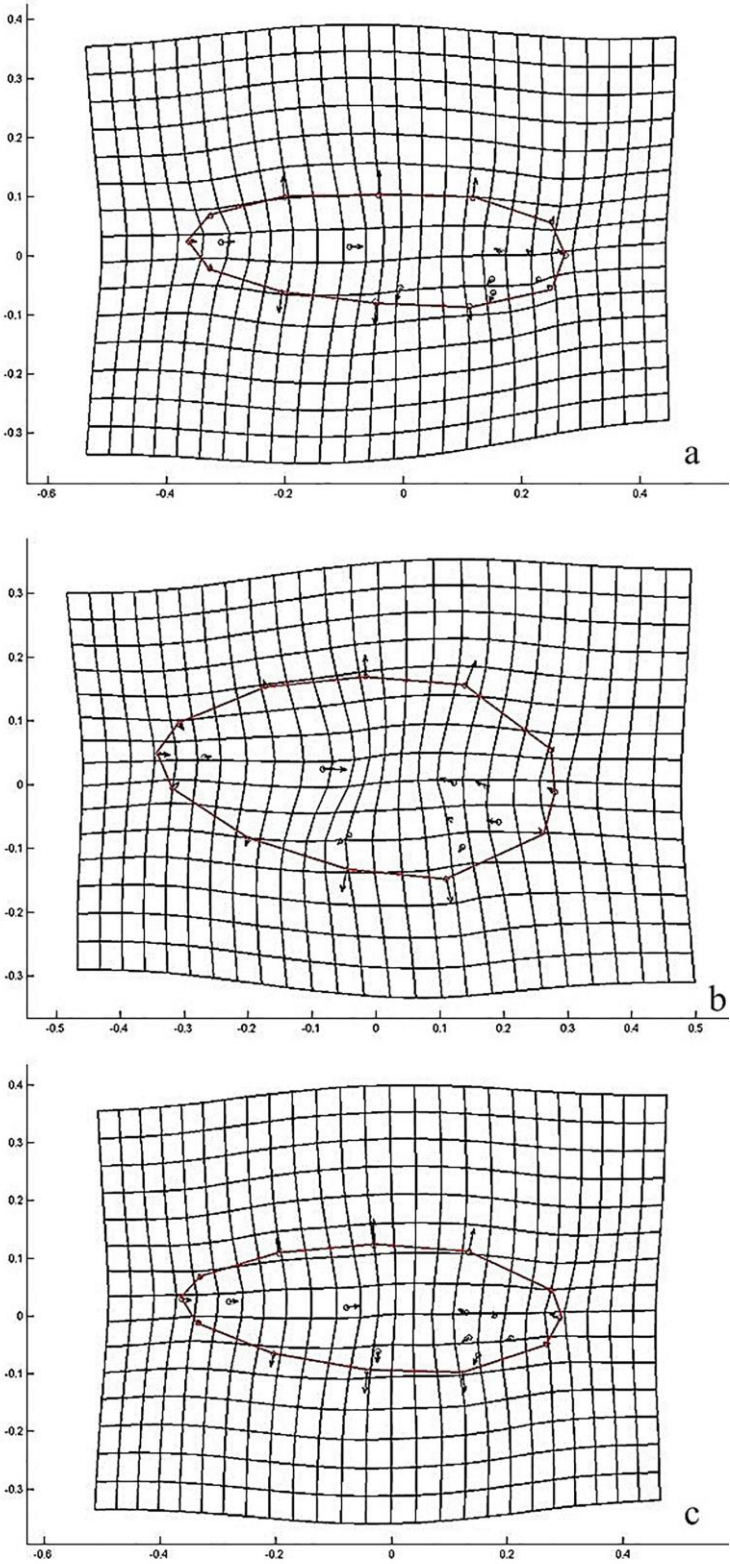


Figura 6. Gradillas de deformación de 3 morfotipos. a) *Notocotylus* en hospederos de Anátidos; b) *N. pacifera* de hospederos Rávidos; c) morfotipo de *N. pacifera*, hospedero *F. americana*, San Pedro Tultepec, Lerma. Los puntos indican el promedio y las flechas la dirección del desplazamiento de la forma.

La obtención de tres grupos y sus morfotipos involucra desplazamientos de landmarks relacionados con estructuras reproductivas. Las variaciones en el contorno lateral se extienden hacia los costados del organismo al nivel del área uterina y no hacia la parte anterior o posterior del mismo, lo cual podría ser explicado por la plasticidad fenotípica inducida por el microhábitat del parásito (Neves *et al.*, 2004), las condiciones de desarrollo y crecimiento de los organismos (Mackinnon, 1982), así como las adaptaciones interespecíficas de acuerdo con el arreglo muscular del género (Krupenko & Gonchar, 2017).

Lo anterior sugiere revisar las características histológicas, fisiológicas y nutricionales del microhábitat para obtener una visión más clara de la influencia que podría tener el hospedero definitivo y su hábitat sobre las variaciones morfométricas de los *Notocotylus* en fase adulta.

En conclusión, se propone incluir la metodología de morfometría geométrica en el estudio del género *Notocotylus* en otras poblaciones de aves residentes y migratorias para definir los morfotipos que presentan y estandarizar su uso para posteriores investigaciones.

AGRADECIMIENTOS. A la Universidad Autónoma del Estado de México por el financiamiento otorgado al Proyecto de investigación 3831/2014CIA, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada a la autora principal con beca núm 288637, al Dr. De Luna y Dra. Caballero por las observaciones y recomendaciones.

LITERATURA CITADA

- Barton, D. P., Blair, D.** (2005) "Family Notocotylidae Lühe, 1909". Pp. 383–396. *En:* A. Jones, R. A. Bray, D. I. Gibson (Eds.). *Keys to the Trematoda*. Vol. 2. CABI Publishing and the Natural History Museum. London, United Kingdom.
- Behari Lal, M.** (1935) A review of the genus *Notocotylus*, with description of a new trematode parasite of *Mareca penelope* from Lucknow. *Proceedings Indian Academy of Sciences*, 2, 457–466.
<https://doi.org/10.1007/BF03053032>
- Besprozvannykh, V. V.** (2010) Life cycle of the Trematode *Notocotylus intestinalis* (Digenea, Notocotylidae) under natural conditions in primorye region (Russia). *Vestnik zoologii*, 44 (3), 33–36.
<https://doi.org/10.2478/v10058-010-0016-8>
- Bookstein, F. L.** (1991) *Morphometric tools for landmarks Data: Geometry and Biology*. Cambridge University Press, Cambridge, 435 pp.
- Boyce, K., Hide, G., Craig, P. S., Harris, P. D., Reynolds, C., Pickles, A., Rogan, M. T.** (2012) Identification of a new species of digenean *Notocotylus malhamensis* n. sp. (Digenea: Notocotylidae) from the bank vole (*Myodes glareolus*) and the field vole (*Microtus agrestis*). *Parasitology*, 139, 1630–1639.
<https://doi.org/10.1017/S0031182012000911>
- Brooks, D. R., Heard, R. W., III** (1977) Parasites of the Clapper rail, *Rallus longirostris* Boddaert. III. Description of *Notocotylus schmidtii* sp. n. (Digenea: Notocotylidae). *The*

- Helminthological Society of Washington*, 44 (1), 63–65. Disponible en: <https://eurekamag.com/research/006/062/006062359.php>
- Caballero-Viñas, C., Sánchez-Nava, P., Aguilar-Ortigoza, C., Rodríguez-Romero, F.** (2019) Variación intraespecífica en la probóscide de *Polymorphus trochus* (Polymorphyda: Polymorphyidae) de dos especies de aves dulceacuícolas (Gruiformes: Rallidae) en el Estado de México. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)*, 35, 1–12. <https://doi.org/10.21829/azm.2019.3502057>
- Eom, K. S., Rim, H. J., Jang, D. H.** (1984) A study on the parasitic helminths of domestic duck (*Anas platyrhynchos* var. *domestica* Linnaeus) in Korea. *The Korean Journal of Parasitology*, 22 (2), 215–221. <https://doi.org/10.3347/KJP.1984.22.2.215>
- Falconer, D. S.** (1981) *Introduction to quantitative genetics*. 4th ed. Prentice Hall, England, 300 pp.
- Flores, V., Brugni, N.** (2005) *Notocotylus biomphalariae* n. sp. (Digenea: Notocotylidae) from *Biomphalaria peregrina* (Gastropoda: Pulmonata) in Patagonia, Argentina. *Systematic Parasitology*, 61, 207–214. <https://doi.org/10.1007/s11230-005-3166-2>
- Fuhrmann, O.** (1919) Notes helminthologiques suisses. *Revue Suisse de Zoologie*, 27 (11), 353–376.
- Guillén, G., Morales, E.** (2003) Primeros registros de helmintos parásitos en *Fulica ardesiaca* (Aves: Rallidae) para el Perú: Pantanos de Villa-Lima. *Revista Peruana de Biología*, 10 (2), 203–208. <https://doi.org/10.15381/RPB.V10I2.2504>
- Harwood, P. D.** (1939). Notes on Tennessee helminths. IV. North American trematodes of the subfamily Notocotylinae. *Journal of the Tennessee Academy of Science*, 14 (3), 332–340.
- Hinojosa-Sáez, A., González-Acuña, D., George-Nascimento, M.** (2009) Parásitos metazoos de *Anas georgica* Gmelin, 1789 (Aves: Anseriformes) en Chile central: especificidad, prevalencia y variaciones entre localidades. *Revista Chilena de Historia Natural*, 82 (3), 337–345. <https://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2009000300002>
- Jones, A., Bray, R. A., Gibson, D. I.** (2005) *Keys to the Trematoda*. Volume 2. Natural History Museum. CABI Publishing, United Kingdom, 745 pp.
- Khan, A., Waheed, S., Ghazi, R., Khatoon, N., Noor-Un-Nisa** (2017) *Notocotylus sindhensis* n. sp. (Trematoda: Notocotylidae) from mallard (*Anas platyrhynchos*) in Sindh, Pakistan. *FUUAST Journal of Biology*, 7 (2), 177–181. Disponible en: <https://fuuastjb.org/index.php/fuuastjb/article/view/30/28> (Consultado en junio 2022).
- Kinsella, J., Tkach, V.** (2005) *Notocotylus fosteri* sp. nov. (Trematoda, Notocotylidae) from the rice rat, *Oryzomys palustris* in Florida. *Acta Parasitológica*, 50 (3), 194–198. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/268399859_Notocotylus_fosteri_sp_nov_Trematoda_Notocotylidae_from_the_rice_rat_Oryzomys_palustris_in_Florida (Consultado en junio 2022).
- Krupenko, D., Gonchar, A.** (2017) Ventral concavity and musculature arrangement in notocotylid maritae (Digenea: Notocotylidae). *Parasitology International*, 66 (5), 660–665. <https://doi.org/10.1016/j.parint.2017.06.008>
- Kulisic, Z., Lepojevic, O., Aleksic-Bakrac, N., Jakic, D., Pavlovic, I., Milutinovic, M., Mistic, Z.** (2004) Trematodes of the Eurasian coot (*Fulica atra* L.) in the Belgrade area. *Acta Veterinaria (Beograd)*, 54 (5–6), 447–456. <https://doi.org/10.2298/AVB0406447K>

- Lamothe-Argumedo, R.** (1997) *Manual de técnicas para preparar y estudiar los parásitos de animales silvestres*. A. G. T. Editor S. A. UNAM. México, D.F., 43 pp.
- Mackinnon, B.** (1982) The development of the ventral papillae of *Notocotylus triserialis* (Digenea: Notocotylidae). *Zeitschrift für Parasitenkunde*, 68, 279–293.
<https://doi.org/10.1007/BF00927406>
- Martínez-Haro, M., Sánchez-Nava, P., Salgado-Maldonado, G., Rodríguez-Romero, F.** (2012) Helmintos gastrointestinales en aves acuáticas de la subcuenca alta del río Lerma, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83, 36–41.
- McDonald, M. E.** (1981) *Key to trematodes reported in waterfowl*. U.S. Fish and wildlife service, Washington D.C., 156 pp.
- McGarigal, K., Cushman, S., Stafford, S.** (2000) *Multivariate statistics for wildlife and ecology research*. Springer, New York, 283 pp.
- Morgan, A., Gandon, S., Buckling, A.** (2005) The effect of migration on local adaptation in a coevolving host-parasite system. *Nature*, 437 (8), 253–256.
<https://doi.org/10.1038/nature03913>
- Neves, R., Costa-Silva, M., Machado, E., Branquinho, T. B., Figueiredo de Oliveira, R. M., Lenzi, H., Gomes, D., Machado-Silva, J. R.** (2004) Phenotypic plasticity in adult worms of *Schistosoma mansoni* (Trematoda: Schistosomatidae) evidenced by brightfield and confocal laser scanning microscopies. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro*, 99 (2), 131–136.
- Noble, A. E.** (1933) Two new trematodes from the American coot. *Transactions of the American Microscopical Society*, 52 (4), 353–360.
- Páez-Colasante, X., Aldana, E.** (2008) Morfometría geométrica del borde corial y del collar de huevos de cinco especies del género *Rhodnius* Stal (Heteroptera, Reduviidae, Triatominae). *EntomoBrasilis*, 1 (3), 57–61.
<https://doi.org/10.12741/ebrasilis.v1i3.32>
- Preston, E.** (1998) *A field guide to the birds of México and adjacent areas Belize, Guatemala and El Salvador*. University of Texas, Austin, 209 pp.
- Repkin, E. A., Maltseva, A. L., Varfolomeeva, M. A., Aianka, R. V., Mikhailova, N. A., Granovitch, A. I.** (2020) Genetic and morphological variation of metacercariae of *Microphallus piriformes* (Trematoda, Microphallidae): Effects of paraxenia and geographic location. *IJP: Parasites and Wildlife*, 11, 235–245.
<https://doi.org/10.1016/j.ijppaw.2020.02.004>
- Rudolphi, K. A.** (1809) *Entozoorum sive vermium intestinalium historia naturalis*. Volume 2, part 1. Tabernae Librariae et Artium, Amsterdam, Netherlands, 457 pp. Disponible en: <https://www.biodiversitylibrary.org/page/14390677> (Consultado junio 2022).
- Soto-Vivas, A., Liria, J., De Luna, E.** (2011) Morfometría geométrica y filogenia en *Rhodniini* (Hemiptera, Reduviidae) de Venezuela. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)*, 27 (1), 87–102.
<https://doi.org/10.21829/azm.2011.271736>
- Stunkard, H. W.** (1960) Studies on the morphology and life-history of *Notocotylus minutus* n. sp., a digenetic trematode from Ducks. *The Journal of Parasitology*, 46 (6), 803–809.
<https://doi.org/10.2307/3275539>

- Stunkard, H. W., Dunihue, F. W.** (1931) Notes on trematodes from a Long Island duck with description of a new species. *The Biological Bulletin*, 60 (2), 179–186.
- Toro, I. M. V., Manriquez, S. G., Suazo, G. I.** (2010) Morfometría geométrica y el estudio de las formas biológicas: de la morfología descriptiva a la morfología cuantitativa. *International Journal of Morphology*, 28 (4), 977–990.
<https://doi.org/10.4067/s0717-95022010000400001>
- Valero, M. A., Perez-Crespo, I., Khoubbane, M., Artigas, P., Panova, M., Ortiz, P., Maco, V., Espinoza, J. R., Mas-Coma, S.** (2012) *Fasciola hepatica* phenotypic characterization in Andean human endemic areas: Valley versus altiplanic patterns analysed in liver flukes from sheep from Cajamarca and Mantaro, Peru. *Infection, Genetics and Evolution*, 12, 403–410.
<https://doi.org/10.1016/j.meegid.2012.01.009>
- Van Perlo, B.** (2006) *Birds of Mexico and Central America*. Princeton and Oxford. Princeton University Press, New Jersey, 336 pp.
- Vignon, M., Pariselle, A., Vanhove, M. P. M.** (2011) Modularity in attachment organs of African *Cichlidogyrus* (Platyhelminthes: Monogenea: Ancyrocephalidae) reflects phylogeny rather than host specificity or geographic distribution. *Biological Journal of the Linnean Society*, 102 (3), 694–706.
<https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.2010.01607.x>
- Yamaguti, S.** (1971) *Synopsis of Digenetic Trematodes of Vertebrates*. Vol. I. Keigaku Publishing Co., Japan, 1074 pp.
- Zelditch, M., Donald, L. Davis, S., William, L.** (2004) *Geometric Morphometrics for biologists: a primer*. Elsevier Academic Press, USA, 443 pp.
- Zepeda-Gómez, C., Lot-Helgueras, A., Nemiga, X., Madrigal-Uribe, D.** (2012) Florística y diversidad de las Ciénegas del río Lerma Estado de México, México. *Acta Botánica Mexicana*, 98, 23–49.
<https://doi.org/10.21829/ABM98.2012.1139>